



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO DE
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

EFECTOS AMBIENTALES EN LA AGRICULTURA POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANAL CHILHUACÁN, ATLIXCO, PUE.

EFRAÍN NERI RAMÍREZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

Puebla, Puebla
2008

La presente tesis intitulada: **“Efectos ambientales en la agricultura por el uso de aguas residuales del canal Chilhuacán, Atlixco, Pue.”** realizada por el alumno: **Efraín Neri Ramírez**; bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

Consejero

Dr. Mario Alberto Tornero Campante

Asesor

Dr. Alberto Paredes Sánchez

Asesor

M.C. Ma. Noemí Bonilla y Fernández

Puebla, Pue. 8 de Julio, 2008

EFFECTOS AMBIENTALES EN LA AGRICULTURA POR EL USO DE AGUAS
RESIDUALES DEL CANAL CHILHUACÁN, ATLIXCO, PUE.

Efraín Neri Ramírez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2008

La zona agrícola del canal Chilhuacán se riega con aguas residuales provenientes del río Nexapa, es altamente productiva en hortalizas, forrajes y ornamentales, pero con un riesgo implícito para suelos y cultivos, debido a que las aguas tienen contaminantes, principalmente metales pesados y alta salinidad. El objetivo de esta investigación fue: “Evaluar los efectos ambientales y sociales de la agricultura de riego ocasionados por el uso de aguas residuales del canal Chilhuacán derivadas del río Nexapa”. Para lo cual se llevaron a cabo muestreos y análisis de agua, suelo y cultivos, para determinar el nivel de contaminación. En el caso del agua, se realizaron tres muestreos en el 2007 en época de estiaje, encontrándose que la concentración total de metales pesados en orden decreciente fue: Fe>Mn>Zn>Ni>Pb>Cu>Cd. Con relación a la calidad del agua, los resultados permiten clasificarla como C3S1, es decir, altamente salina y con la presencia de un alto contenido de contaminantes microbiológicos. En el caso de los suelos muestreados, se encontró que los metales pesados disponibles en la solución de suelo en orden decreciente fue: Fe>Mn>Zn>Cu>Cd>Ni>Pb. En cuanto a los cultivos analizados; alfalfa, cebolla y cilantro los resultados mostraron que el contenido de metales pesados en ellos fue: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni, presentando concentraciones consideradas como normales, excepto en el casos de cilantro y alfalfa que registraron valores excesivos de Pb y Cd. Finalmente se llevó a cabo una caracterización de los productores de la región, que permitió identificar siete tipos de productores que se diferencian por los cultivos que siembran (forrajes, hortalizas y flores) y por el tamaño de la explotación agrícola con que cuentan. Se encontró que la mayoría de los productores tiene conocimiento de la contaminación de las aguas y de los riesgos que implica el producir con ellas, pero no tienen otra alternativa a corto plazo, como no sea el abandonar su tierra para emigrar hacia otras entidades o país.

Palabras clave: Contaminación microbiológica, metales pesados, cultivos hortícolas.

ENVIRONMENTAL EFFECTS IN THE AGRICULTURE BY THE USE OF WASTE
WATER TO THE CHILHUACÁN CHANNEL, ATLIXCO, PUE.

Efraín Neri Ramírez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2008

The agricultural zone of the Chilhuacán channel its irrigated with waste water from the Nexapa river, is highly productive in vegetables, forages and ornamentals, but with an implicit risk for soils and crops, due to the fact that the waters have pollutants, principally heavy metals and high salinity. The objective of this research was to evaluate the environmental and social effects of the agriculture of irrigation caused by the use of waste water of the Chilhuacán channel derived from the Nexapa river. Three samplings were realized, in the different months of the year 2007. Thinking that the trend of the heavy total metals in water was in diminishing order: Fe> Mn> Zn> Ni> Pb> Cu> Cd. And it was found a bad quality of water type C3S1 and a high content of microbiological pollutants After analyzing samples consisted of the soils of the zone of study one thought that the heavy available metals that they found in the solution of soil in diminishing order in the sampled places it was of the order of: Fe> Mn> Zn> Cu> Cd> Ni> Pb. As for the analyzed crops that were: alfalfa, onion and coriander thought that the content of metals weighed in them was: Fe> Mn> Zn> Cu> Ni> Cd> Pb, presenting concentrations considered like normal in most cases, though in the cases of the crops of coriander and alfalfa they registered excessive values both of Pb and of Cd. Finally there was carried out a characterization of the producers of the region, thinking that there exist seven types of producers who differ for the type of crops (forages, vegetables and flowers) in which they specialize themselves and for the size of the agricultural development (<5ha y> 10 ha) that they possess and it was possible to observe that the great majority of them has knowledge it brings over of the degree of pollution of the waters and of the risks of producing with them. So that soils and crops of the zone present effects of pollution by heavy metals owed to the use of waste water in his irrigation.

Index words: Heavy metals. Waste water.

DEDICATORIA

A mis padres:

Profra. Irma Ramírez Valdivia e Ing. Efraín Neri Jiménez

Por el gran amor, cuidado, confianza y apoyo sin reservas en todas las etapas de mi vida, por que gracias a su entereza, dedicación y enseñanza me brindaron las herramientas suficientes para conseguir una meta más en el camino. Por que me enseñaron que si eres una persona de éxito, es posible que dejes una herencia a otros, pero si se desea crear un legado, se debe dejar algo en los demás.

“Con amor, respeto y gran admiración por ustedes, los quiero con todo mi corazón”

“Adquirimos fuerza, valor y confianza con cada experiencia en la que nos detenemos y miramos de frente al temor, por lo que siempre es necesario hacer aquello que pensamos que no podemos”

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme la vida, el entendimiento y capacidades para poder lograr un grado académico más en mi vida profesional y por las ricas bendiciones que me brinda día a día.

A mis padres

Por que gracias a sus esfuerzos permitieron que pudiera emprender y terminar un estudio de posgrado, gracias por creer en mí, apoyarme, aconsejarme, cuidarme y regalarme su cariño y comprensión en todo momento. Los quiero mucho y no hay día que no agradezca por tenerlos como padres.

A los millones de mexicanos (as) que pagan impuestos, quienes, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados, han financiado parte de mi formación.

A la Secretaria de Desarrollo Rural del estado de Puebla (SDR-PUE), encabezada por el Ing. Alberto Jiménez Merino por el financiamiento a este trabajo de investigación, apoyo sin el cual no hubiera sido posible este trabajo.

A los integrantes de mi Consejo Particular: El Dr. Mario A. Tornero Campante, a la M.C. Noemí Bonilla y Fernández y el Dr. Alberto Paredes Sánchez

Les agradezco sinceramente por su amistad, dirección, apoyo y dedicación en la elaboración y revisión de este proyecto de investigación. Y de forma especial al Dr. Luciano Aguirre Álvarez, por su dirección en la elaboración del aspecto social de este trabajo investigación.

A mis hermanos Daniel, Iván, Lina y Mayarí

Por que su compañía, cariño, cuidados y apoyo han sido una constante en mi vida, los quiero mucho, gracias por todo su amor y comprensión.

Ana Lilia Chacón Aguayo

Gracias por todo tu amor, amistad, compañía, comprensión y consejos que me brindaste desde el primer día que tuve la fortuna de iniciar una relación contigo, eres un gran apoyo en mi vida, te quiero y amo.

A mis amigas y amigos: Concepción, Guadalupe, Katia, Rubí, Paulina, Griselda, Martha, Ada, Gabriel, Marco, René, Marco Antonio, Oscar y Miguel Ángel.

Por que gracias a su apoyo, consejos y amistad sin reservas, me brindaron un aliciente más para esforzarme y terminar un estudio de postgrado, los quiero mucho y me siento honrado por tenerlos como mis amigas y amigos.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS	3
2.1. Objetivo general.	3
2.2. Objetivos específicos.	3
2.3. Hipótesis general.	3
2.4. Hipótesis específicas.	3
III. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA	4
3.1. Contaminación de agua.	6
3.2. Agua residual.	6
3.3. Uso de aguas residuales en la agricultura.	11
3.4. Riesgos a la salud por metales pesados.	12
3.5. Contaminación por metales pesados en agua.	13
3.6. Contaminación de suelo.	14
3.7. Contaminación por metales pesados en suelo.	16
3.7.1. Niveles críticos de metales pesados permisibles en suelos.	17
3.8. Metales pesados en los cultivos.	19
3.8.1. Efecto de los metales pesados en la morfología de la planta.	21
3.8.2. Concentraciones tóxicas de metales pesados en plantas.	22
3.8.3. Absorción de los metales pesados por las plantas.	22
3.8.4. Translocación de los metales pesados en la planta.	23
3.8.5. Toxicidad iónica en las plantas.	24
3.8.6. Cultivos sujetos a estudio.	26
3.9. Contaminantes microbiológicos.	27
3.9.1. Coliformes fecales.	27
3.9.2. Huevos de helminto.	27

3.10. Estudios sobre metales pesados en México.	28
3.11. Literatura citada.	31

IV. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES 40

4.1. Ámbito de la zona de estudio.	40
4.1.1. Topografía.	41
4.1.2. Tipos de suelo.	41
4.1.3. Clima.	43
4.1.4. Hidrología.	43
4.1.5. Padrón de cultivos de la zona.	44
4.1.6. Población.	44
4.2. Fuentes de obtención de información.	45
4.2.1. Variables y factores estudiados.	45
4.3. Definición de variables.	48
4.4. Metales pesados.	49
4.4.1. Cadmio (Cd).	49
4.4.2. Cobre (Cu).	50
4.4.3. Níquel (Ni).	51
4.4.4. Manganeso (Mn).	52
4.4.5. Plomo (Pb).	53
4.4.6. Zinc (Zn).	53
4.4.7. Hierro (Fe).	54
4.5. Operacionalización de variables.	55
4.6. Literatura citada.	60

V. EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES 61

Resumen.	61
Abstract.	62
5.1. Introducción.	63
5.2. Materiales y métodos.	65

5.3. Resultados y discusión.	70
5.4. Conclusiones.	102
5.5. Literatura citada.	103

VI. DETERMINACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES EN SUELO Y PLANTA POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA 104

Resumen.	104
Abstract.	105
6.1. Introducción.	106
6.2. Materiales y métodos.	108
6.3. Resultados y discusión.	113
6.4. Conclusiones.	138
6.5. Literatura citada.	140

VII. CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES QUE UTILIZAN AGUAS RESIDUALES DEL CANAL CHILHUACÁN PARA EL RIEGO DE HORTALIZAS, FLORES Y FORRAJES 142

Resumen.	142
Abstract.	143
7.1. Introducción.	144
7.1.1. Objetivo e hipótesis.	145
7.2. Materiales y métodos.	146
7.2.1. Ámbito de la investigación.	146
7.2.2. Fuentes de obtención de información.	148
7.2.3. Tamaño de muestra.	148
7.2.4. Descripción del cuestionario.	149
7.3. Resultados y discusión.	151
7.3.1. Caracterización de los productores.	151
7.3.2. El productor y su núcleo familiar.	151
7.3.3. Tamaño de explotación y tipo de tenencia.	153

7.3.4. Factor agua.	154
7.3.5. Maquinaria agrícola e insumos.	155
7.3.6. Producción de cultivos.	155
7.3.7. Costos de producción de cultivos.	156
7.3.8. Establecimiento y utilización de tipologías.	163
7.3.9. Tipología de los productores de la zona de influencia del canal Chilhuacán.	165
7.3.10. Nivel de conocimiento de la contaminación de las aguas residuales por los usuarios.	169
7.3.11. Actitud de los productores ante los daños ocasionados por esta práctica.	171
7.4. Conclusiones.	177
7.5. Literatura citada.	180
VIII. CONCLUSIONES GENERALES	181
IX. ESTRATEGIA PROPUESTA	183

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
1	Conductividad en $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25° C en aguas de riego.	8
2	Efectos potenciales de metales pesados en plantas, animales y humanos.	13
3	Fuentes típicas contaminantes de sustancias inorgánicas y orgánicas en aguas superficiales.	14
4	Rangos de concentraciones totales de metales pesados en suelos superficiales calculados en la escala mundial (ppm).	19
5	Criterios de evaluación de metales pesados en suelos (mg kg^{-1}).	19
6	Rangos de concentración de los metales pesados en plantas.	20
7	Contenido de metales pesados en pesticidas recomendados en Ontario, Canadá; periodo 1892-1975.	21
8	Estándares de evaluación por metales pesados para hortalizas	24
9	Valores de tolerancia de la salinidad umbral.	26
10	Padrón de cultivos de la zona de influencia del canal Chilhuacán	44
11	Volumen de agua requerido por sitio de muestreo.	67
12	Variable analizada, norma y método.	69
13	Concentración de metales pesados totales en agua encontrados en febrero (mg l^{-1}).	70
14	Concentración de metales pesados totales en agua, encontrados en marzo (mg l^{-1}).	73
15	Concentración de metales pesados totales en agua, encontrados en abril (mg l^{-1}).	77
16	Análisis de varianza de los metales pesados, en función del mes de muestreo.	81
17	Análisis de varianza de los metales pesados, en función de los sitios de muestreo.	82
18	Análisis de medias en metales pesados, en función del mes de muestreo.	83

19	Análisis de medias en metales pesados en función de los sitios de muestreo.	84
20	Clasificación de la calidad del agua utilizada para el riego agrícola (febrero).	86
21	Clasificación de la calidad del agua utilizada para el riego agrícola (marzo).	89
22	Clasificación de la calidad del agua utilizada para el riego agrícola (abril).	91
23	Análisis de varianza en los factores físicos y químicos del agua, en función de los sitios y meses de muestreo.	93
24	Comparación de medias en los factores físicos y químicos del agua, en función de los meses de muestreo.	94
25	Comparación de medias en los factores físicos y químicos del agua, en función de los sitios de muestreo.	95
26	Resultados de los análisis bacteriológicos en el agua utilizada para riego agrícola y su comparación con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.	97
27	Secuencia de análisis químico de muestras de suelos.	110
28	Secuencia de análisis químico de muestras de tejido vegetal.	113
29	Variación de propiedades químicas de suelo.	114
30	Clasificación textural por sitio estudiado.	118
31	Concentración de metales pesados disponibles en suelo (mg kg^{-1})	119
32	Concentración de metales pesados (mg kg^{-1}) en plantas de alfalfa, cilantro y cebolla (en base húmeda).	123
33	Concentración de elementos químicos en cultivos regados con aguas residuales.	128
34	Análisis de correlación de Pearson para los metales pesados y materia orgánica en suelo y planta.	133
35	Análisis de correlación de Pearson de los parámetros químicos en suelo.	134

36	Análisis de correlación de Pearson de los parámetros químicos en planta.	137
37	Unidades de riego del canal Chilhuacán y número de usuarios en cada una de ellas.	147
38	Número de cuestionarios por unidad de riego.	149
39	Clasificación de las explotaciones por superficie.	153
40	Tipo de tenencia de las explotaciones de la zona de influencia del canal.	153
41	Costo de establecimiento del cultivo de alfalfa por hectárea.	157
42	Costo de cultivo de alfalfa, producción por 3 años (2006-2009) por hectárea.	158
43	Análisis económico del cultivo de alfalfa por hectárea.	159
44	Costo de establecimiento y desarrollo por hectárea del cultivo de cebolla (ciclo de desarrollo de 90 días).	160
45	Análisis económico del cultivo de cebolla por hectárea.	161
46	Costo de establecimiento y desarrollo por hectárea del cultivo de cilantro.	162
47	Análisis económico por hectárea del cultivo de cilantro.	163
48	Tipología de explotaciones a partir de las variables seleccionadas.	165
49	Alternativas al uso de aguas residuales en la agricultura para las explotaciones Tipo 1 a 5.	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Titulo	Pagina
1	Proceso de contaminación por metales pesados en suelo.	18
2	Ubicación geográfica de la zona de estudio.	40
3	Ubicación geográfica del municipio de Atlixco y zona de riego.	65
4	Sitios de muestreo de agua en el canal Chilhuacán.	65
5	Huevos de helminto por litro en el mes de febrero, comparado con el límite máximo permisible (LMP) establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.	99
6	Coliformes fecales en agua en el mes de marzo, comparado con el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.	100
7	Huevos de helminto por litro en el mes de marzo, comparado con el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.	100
8	Coliformes fecales en agua en el mes de abril, comparado con el LMP que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.	101
9	Huevos de helminto por litro en el mes de abril, comparado con el LMP que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.	101
10	Ubicación geográfica de la zona de estudio.	108
11	Sitios de muestreo de suelo.	109
12	Contenido de materia orgánica en suelos regados con aguas residuales.	115
13	Valores de CE en suelos de la zona de Atlixco regados con aguas residuales.	116
14	Textura de los suelos estudiados en la región de Atlixco regados con aguas residuales.	119
15	Concentración de metales pesados disponibles en suelos de la zona de riego del canal Chilhuacán.	122
16	Contenido de N, P, K, Ca y Mg en cultivos regados con aguas residuales.	131
17	Contenido de B en cultivos regados con aguas residuales.	132
18	Área de influencia del canal Chilhuacán.	147

INTRODUCCIÓN GENERAL

El uso de aguas residuales (negras) en la agricultura de riego, es una práctica que se ha llevado a cabo desde hace mucho tiempo, sobre todo en zonas donde se tienen restricciones de aguas superficiales y subterráneas, sin embargo, no es hasta tiempos recientes que se ha intensificado el estudio sobre los efectos que ocasiona al ambiente, a la salud humana y la de los animales.

Los volúmenes de aguas residuales de origen *urbano, industrial y agroindustrial* han crecido de manera exponencial en los últimos años, siguiendo un patrón equivalente al aumento de población, de manera que a pesar de los esfuerzos hechos por brindar un tratamiento a esas aguas, solo un porcentaje muy bajo pueden ser realmente depuradas, por lo que la mayoría de éstas son incorporadas a cuerpos receptores como ríos, lagos, lagunas y presas, contaminando los causes y a la postre son utilizadas por los campesinos en el riego de sus cultivos (Scott *et al.*, 2002).

El uso generalizado de aguas residuales para riego en la agricultura es un grave problema, que no ha sido estudiado con profundidad en Puebla. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos ambientales que provoca en el suelo y en los cultivos, el uso de estas aguas. Debido al origen antropogénico de los contaminantes, se identificó la presencia de metales pesados y agentes microbiológicos y una alta concentración de sales disueltas, los cuales ocasionan efectos negativos en los suelos y cultivos de la zona de riego.

Una vez evaluados los efectos en los estratos antes mencionados, fue posible establecer comunicación con los productores que son los que están en contacto con el agua. Se conoció su opinión e se identificó que tan concientes están de la contaminación que viene en el agua, sus efectos y los riesgos sobre la salud de ellos, sus familias, sus animales y se propone una estrategia que pretende pueda reducir su uso en la agricultura o en su caso mejorar la calidad de las mismas. Con ello, se busca que esta investigación aporte un conocimiento con respecto al impacto real que representa para la zona de influencia del canal Chilhuacán, el uso de las aguas residuales en las actividades de producción agrícola.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La zona agrícola de riego con aguas del canal Chilhuacán depende exclusivamente de aguas negras sin tratamiento, las cuales provienen de una derivación del río Atoyac y que en su trayecto a la región de Atlixco desde la ciudad de Puebla recibe en su cauce una infinidad de descargas de aguas residuales de origen industrial y urbano. Estas se incorporan al cauce del río Nexapa sin ningún tipo de tratamiento con lo cual aumentan el riesgo de contaminar en gran manera a las aguas del río. Finalmente esta agua es utilizada en la región de Atlixco para la producción de cultivos tales como hortalizas, forrajes, cultivos básicos, frutales y flores principalmente (Silva, 2002).

A la fecha no se aplican las medidas marcadas de control en los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales para uso agrícola NOM-001-SEMARNAT-1996, que excluyen a las hortalizas de ser regadas con estas aguas, ya que representan un peligro para la salud. De tal manera que la aplicación de aguas residuales en zonas de producción agrícolas por periodos largos de tiempo puede llegar a ser considerada de alto grado de incidencia en la contaminación del suelo y planta.

Para determinar el grado de afectación ambiental que se da en estos entornos, fue necesario conocer la calidad de las aguas, de manera que se pudiera investigar sobre los contaminantes que podrían encontrarse en los suelos y plantas de la zona de estudio. Dentro de los factores externos que se consideraron en esta investigación para explicar la persistencia en el uso de aguas residuales para irrigación, fue el indicador de tipo social, para conocer el papel que juegan los productores en esta problemática. Con base en lo anterior se pueden plantear las siguientes preguntas:

¿En que grado se encuentran contaminadas por metales pesados y agentes microbiológicos las aguas del canal Chilhuacán y como pueden afectar al ambiente (suelo y planta)?

¿Qué papel desempeñan los actores sociales (productores) en el uso de aguas negras para la irrigación de cultivos?

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Evaluar los efectos ambientales y sociales de la agricultura de riego, cuando se utilizan las aguas residuales del canal Chilhuacán derivadas del río Nexapa.

2.2. Objetivos específicos

1. Determinar la concentración total de metales pesados (Fe, Pb, Mn, Cu, Ni, Zn y Cd), la calidad del agua y la contaminación por agentes microbiológicos (coliformes fecales y huevos de helminto), en el agua de riego del canal Chilhuacán.
2. Evaluar la concentración de metales pesados disponibles en los suelos y en los cultivos cebolla, cilantro y alfalfa, regados con aguas residuales del canal Chilhuacán.
3. Identificar el papel del productor como factor determinante ante la problemática del uso de aguas residuales en la producción agrícola.

2.3. Hipótesis general

Las aguas residuales con que se riegan los cultivos de la zona de influencia del canal Chilhuacán, representan un riesgo para el suelo, planta y salud de los productores, por sus niveles de contaminación.

2.4. Hipótesis específicas

1. La concentración total de metales pesados (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb y Cd), y agentes microbiológicos (coliformes fecales y huevos de helminto) exceden los límites máximos permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la calidad del agua no tiene limitantes para su uso.
2. La concentración de metales pesados disponibles en el suelo y los cultivos son altas y representan un riesgo de toxicidad de cultivos y contaminación del suelo.
3. Los productores desconocen la problemática que se genera y los riesgos que conllevan para él, su familia y sus animales el regar sus cultivos con aguas residuales del canal Chilhuacán.

3. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

El uso de aguas residuales en agricultura es una práctica de siglos que está recibiendo renovada atención debido a la escasez de recursos de agua dulce en muchas regiones áridas y semi-áridas del mundo. Impulsado por la rapidez de la urbanización y los crecientes volúmenes de aguas residuales, el uso de esta agua es una alternativa de bajo costo comparada con el agua de riego convencional: sostiene empleos y es de considerable valor en la agricultura urbana y peri-urbana, a pesar de los riesgos asociados con la salud humana y el medio ambiente. Aunque omnipresente, esta práctica en su mayor parte no está reglamentada en los países de bajos ingresos y hay poca comprensión de los costos y beneficios asociados.

Algunas ciudades de países en vías de desarrollo están experimentando un problema por la cobertura, abastecimiento y el saneamiento del agua, sin considerar de manera colateral el crecimiento y el rápido aumento de la contaminación que ocasionará volúmenes cada vez mayores de aguas residuales. Ya que las aguas residuales crudas o parcialmente tratadas se utilizan para irrigar cultivos que a la postre serán utilizadas para consumo en las ciudades y para irrigar espacios verdes (Mohan, 2003).

Los campesinos de la zona de influencia del canal Chilhuacán han usado las aguas residuales sin tratamiento durante años, pero en mayores dimensiones en la actualidad, debido a que ahora dependen de su uso, para asegurar su sustento; de manera que esta necesidad ha llevado a implementar una gama de nuevas prácticas del uso de las aguas residuales.

La irrigación con aguas residuales sin tratamiento puede representar una amenaza importante a la salud pública (de seres humanos y ganado), seguridad del alimento y calidad ambiental.

La calidad microbiana de las aguas residuales es medida generalmente por la concentración de las dos fuentes primarias de infección flotante - los coliformes fecales y los huevos helminto. Una gama de virus y protozoos plantean riesgos de salud adicionales. Además, la irrigación con aguas residuales en vegetales y forraje puede servir como una ruta de transmisión para los metales pesados en la cadena de

alimentación humana. Las aguas residuales se utilizan cada vez más para irrigar el forraje que provee una fuente de riesgo en cadena ganadera, basada en la producción urbana y peri-urbana.

La calidad ambiental de suelos, agua subterránea y agua superficial, la biota y las condiciones ecológicas en base a lo indicado por la biodiversidad del efluente de aguas residuales- o del cuerpo de recepción del agua, son a menudo las causantes de muertes de algunos de los factores antes mencionados, si disponen de las aguas residuales de manera indiscriminada (Swarup *et al.*, 1997).

En la actualidad en el campo de México existen graves problemas, pero sin lugar a dudas, uno que por su importancia sobresale de los demás es el deterioro ambiental. Un componente notable de este fenómeno es la contaminación del agua de los ríos, manantiales e incluso la extraída de los pozos por bombeo, lo que genera graves problemas para la salud humana, en forma directa o a través de la cadena trófica.

En el caso específico del municipio de Atlixco, y en forma particular del canal Chilhuacán en el cual recae el peso de esta investigación, el origen de las aguas que se conducen a través de él, provienen de los ríos Atoyac y Nexapa, los cuales a vez, son objeto de innumerables descargas de aguas residuales, principalmente de origen industrial y urbano; dichas aguas no reciben tratamiento alguno, lo cual hace que lleguen al cauce del río completamente crudas. El agua de los ríos Atoyac y Nexapa se mezcla con aguas residuales y recoge gran cantidad de basura.

El agua que conduce el canal Chilhuacán se deriva directamente del río Nexapa, lo cual hace pensar que la mayor parte del agua que se utiliza para la agricultura de irrigación en el área de impacto del canal se encuentra contaminada en un alto grado (Vogel y Rivas, 1997).

La problemática del agua no solo tiene que ver con que esté contaminada, sino también con su escasa disponibilidad, por lo que la población de la región recurre a aguas residuales para regar sus cultivos.

3.1 Contaminación de agua

Es la presencia en el agua de agentes físicos y químicos que causan un desequilibrio ecológico en ella. La contaminación del agua con metales pesados es un serio problema ambiental, siendo las principales fuentes de esta contaminación las aguas procedentes de industrias metalúrgicas y mineras. A diferencia de otros contaminantes, una característica preocupante de los metales pesados es la tendencia a persistir indefinidamente en el ambiente, circulando a través de la cadena trófica y acumulándose eventualmente en los organismos superiores. La persistencia media de los metales pesados en el suelo varía desde 70 hasta 3000 años, y de acuerdo a factores como la temperatura y el clima (Armon *et al.*, 2002)

3.2 Agua residual

Las aguas residuales son resultados de la mezcla de diversos compuestos, se puede realizar una clasificación de acuerdo a sus constituyentes en:

1. Materiales orgánicos y minerales disueltos, biodegradables o no, que pueden ser inhibitorios a la microflora y microfauna del cuerpo receptor.
2. Materiales coloidales o emulsiones (grasas, aceites solubles) o incluso asociado a películas superficiales (hidrocarburos) o de espumas (detergentes).
3. Sustancias en suspensión decantables, minerales u orgánicas (microorganismos), algunas biodegradables (Ramos *et al.*, 2003).

Según la NOM-001-SEMARNAT-1996, las aguas residuales son aquellas aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Las aguas residuales de cualquier origen, antes de volver a ser utilizadas o de ingresarse a los ríos deben cumplir con los límites máximos permisibles de

concentraciones de sus compuestos contaminantes, por lo que es necesario someter a una serie de análisis físicos, químicos y microbiológicos para determinar el grado de contaminación de los afluentes.

Las variables físicas a ser consideradas son: la conductividad eléctrica, sólidos totales, y temperatura. Las variables químicas a determinar son: potencial de hidrogeno (pH), nitrógeno total, fósforo total, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- y metales pesados, de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Las variables microbiológicas que indican la contaminación de este tipo son: los coliformes fecales y los huevos de helminto.

El agua residual generalmente se califica como agua con algún grado de contaminación. Por las fuentes de generación, se define como la combinación de los residuos líquidos procedentes de residencias, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales que se agregan a las aguas residuales, eventualmente aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf *et al.*, 1996).

Debido al origen de las aguas, la materia contenida en ellas es variable. En el caso de las aguas de *origen urbano* pueden contener materia en suspensión, materia orgánica, microelementos y patógenos (los más frecuentes son las *Salmonellas*). Las aguas de *origen industrial* pueden variar en contenido de acuerdo al tipo de industria, entre las industrias que descargan mayores cantidades de aguas residuales se encuentran la textil, de celulosa y la petrolera. Por último las aguas de *origen agroindustrial* contienen en la mayoría de los casos contaminación esencialmente orgánica y biodegradable, entre las agroindustrias las que más se destacan son: crianza de cerdos, rastros, productos lácteos, conservas y destilerías entre otros (Méndez *et al.*, 2000).

Variables físicas de las aguas residuales

Temperatura. Es un parámetro que influye en la solubilidad de las sales y gases, en la disociación de las sales disueltas, y por lo tanto en la conductividad eléctrica y en el pH

del agua. Existe una estrecha relación entre la densidad del agua y su temperatura, por lo que cualquier alteración de ésta modifica los movimientos de la mezcla de diferentes masas de agua. Es una variable de gran utilidad, desde el punto de vista industrial, para calcular los intercambios térmicos que tienen lugar en el medio (Seaóñez, 1999a).

Conductividad eléctrica (CE). Mide la resistencia eléctrica que hay en el agua principalmente debida a la concentración de sales solubles, entre mayor es la CE mayor es la salinidad del agua, varía en función de la temperatura. En el cuadro 2 se presentan los intervalos del agua para riego.

Cuadro 1. Conductividad en $\mu\text{mhos/cm}$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$ en aguas de riego

Calidad del agua	Conductividad eléctrica ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)
Excelente	<250
Buena	250-750
Permisible	750-2000
Dudosa	2000-3000
Inservible	>3000

Fuente: Seaóñez, 1999a

Variables químicas

Potencial hidrógeno (pH). Mide la actividad de iones hidrógeno en el agua. Un pH elevado indica una baja concentración de iones H^+ , y por lo tanto una alcalinización del medio. Por el contrario, un pH bajo indica una acidificación del medio. Estas variaciones tienen una repercusión muy importante sobre las biocenosis existentes (CEMCAS, 2005).

Cloruros (Cl^-). Su fuente en el agua se debe, a la disolución de rocas y suelo; se presenta por contaminación de desperdicios y desagües. Antiguas salmueras, agua de mar y salmueras industriales, contienen grandes cantidades de este elemento (Chávez, 1987).

El cloro en estado gaseoso es altamente reactivo. Es un elemento que se presenta en forma natural. Los mayores consumidores de cloro son las compañías que producen

dicloruro de etileno y otros disolventes clorinados, resinas de cloruro de polivinilo (PVC), clorofluorocarbonados (CFCs) y óxido de propileno. Las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan el cloro para reducir los niveles de microorganismos que pueden propagar enfermedades entre los humanos, las aguas residuales domésticas contienen cloro debido a los usos de este elemento dentro del hogar.

El ión cloruro se utiliza como trazador del movimiento del agua por lo que se mueve a través del suelo y es probable que se incorpore a aguas subterráneas. El cloro provoca daños ambientales a bajos niveles. El cloro es especialmente dañino para organismos que viven en el agua y el suelo.

De acuerdo a los límites permisibles de calidad para las aguas de uso agrícola, la concentración permitida de cloruros (Cl^-) es 150 mg l^{-1} y la concentración deseable es de $< 70 \text{ mg l}^{-1}$ (Seoáñez, 1999b)

Calcio (Ca^{2+}). La distribución del calcio es muy amplia, se encuentra en casi todas las áreas terrestres del mundo. Este elemento es esencial para la vida de las plantas y animales, ya que está presente en el esqueleto de los animales, en los dientes, en la cáscara de los huevos, en el coral y en muchos suelos. El cloruro de calcio se halla en el agua del mar en un 0.15%.

Los iones calcio disueltos en el agua forman depósitos en las tuberías y calderas cuando el agua es dura, es decir, cuando contiene demasiado calcio o magnesio. Esto se puede evitar con los ablandadores de agua. Los efectos ambientales del Ca^{2+} se observan en la precipitación de compuestos como es el fostafo de calcio el cual resulta tóxico para los organismos acuáticos.

Magnesio (Mg^{2+}). El magnesio se conoce desde hace mucho tiempo como el metal estructural más ligero en la industria, debido a su bajo peso y capacidad para formar aleaciones mecánicamente resistentes. Los iones magnesio disueltos en el agua

forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura, esto se puede evitar con los ablandadores de agua.

El magnesio no ha sido sometido a pruebas, pero no es sospechoso de ser cancerígeno, mutagénico o teratógeno. La exposición a los vapores de óxido de magnesio producidos por los trabajos de combustión, soldadura o fundición del metal pueden resultar en la producción de vapores metálicos con los siguientes síntomas temporales: fiebre, escalofríos, náuseas, vómitos y dolores musculares. Estos se presentan normalmente de 4 a 12 horas después de la exposición y duran hasta 48 horas. Los vapores de óxido de magnesio son un subproducto de la combustión del magnesio.

Nitrógeno (N). El nitrógeno se encuentra en las aguas lacustres y de ríos, cuyas fuentes de enriquecimiento natural reside en la atmósfera y por las precipitaciones. El nitrógeno orgánico presente en el agua se encuentra formando parte de compuestos tales como proteínas, polipéptidos y aminoácidos. El nitrógeno total es la suma del nitrógeno presente en los compuestos orgánicos aminados y en el amoníaco.

Los compuestos minerales y orgánicos de nitrógeno y fósforo constituyen los elementos nutritivos más importantes y considerados generalmente como los factores principales de la eutrofización de cuerpos de agua (Pesson, 1979), proceso que ocurre en lagos donde algas o plantas acuáticas crecen sin control originando plagas y muerte de organismos que viven en el agua.

3.3 Uso de aguas residuales en la agricultura

Se ha observado que a largo plazo el uso de aguas residuales en la irrigación de cultivos, incrementa el nivel de cinc, cobre, níquel, cromo, plomo, cadmio y mercurio en los suelos (Hussein, 1999).

La evaluación de un proceso de aportes de metales es muy compleja, ya que las respuestas vegetales no siempre son coherentes. Algunas especies son tolerantes selectivas, es decir, tolerantes a unos elementos y sensibles a otros.

Otras presentan exclusividad en sus respuestas, siendo siempre tolerantes, semitolerantes o sensibles. La respuesta de una especie no debe verse a nivel de individuo sino poblacional, ya que puede existir una amplia variación en la sensibilidad individual al contaminante (Galdámez, 2000).

En México, el uso de aguas residuales para la agricultura de irrigación inicio en el valle del Mezquital en 1886. Los niveles altos de contaminantes y de patógenos encontrados en agua, productos agrícolas y suelo, en parcelas continuamente regadas por aguas residuales han provocado problemas de salud a los usuarios de las mismas (Rowe, 1995).

La asociación causal entre el uso humano de agua biológicamente contaminada y la aparición de gastroenteritis es un hecho bien establecido, así como la asociación entre el uso de agua químicamente contaminada e intoxicaciones, y la relación entre el uso de agua contaminada por metales pesados y el desarrollo de cáncer (Finkelman, 1990). Investigadores del estado de Puebla han hecho estudios de contaminación de aguas, plantas y suelo (Bonilla *et al.*, 1995; Romero *et al.*, 1995; Tamariz, 1996; Silva, 2002) en la región atlixquense relacionados con el río Nexapa, afluente del Atoyac. Encontrando altas concentraciones de Cu, Cr, Co, Ni, Cd, Pb y Fe.

Algunos metales pesados como el cobre, el cinc o el hierro son elementos esenciales para el metabolismo de algunos animales y éstos se extraen del agua, de los alimentos o de los sedimentos. A través de las mismas vías de entrada se adsorben otros

metales que no tienen ningún rol biológico como el mercurio, el cadmio o el plomo. Numerosos estudios muestran que la acumulación de metales puede afectar el desarrollo de los organismos, sobre todo en las primeras etapas del crecimiento. Además, su acumulación en los niveles superiores de la cadena trófica puede ser un peligro para la salud humana (Cornish y Lawrence, 2001).

Ahora bien en la región estudiada la degradación y contaminación del suelo obedece principalmente al uso intensivo de la tierra, al mal manejo de los residuos industriales y municipales y a la irrigación con aguas residuales. Al respecto existen reportes de estudios en los que se observa que ese riego contribuye al aporte de macro y micro nutrimentos, incremento de materia orgánica y sitios de intercambio iónico, sin embargo también se han reportado efectos negativos tales como: acumulación de metales pesados, tendencias de salinización, contaminación por patógenos y acumulación de sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas tanto en agroecosistemas como en mantos freáticos (Reyes y García, 2000).

Es un hecho que el uso de insumos artificiales para incrementar la productividad agrícola y mejorar los cultivos, ha cambiado la estructura económica del sector, como también es un hecho que la contaminación del suelo repercute en la calidad de los productos agrícolas, y por consecuencia, en la aceptación de los mismos en el mercado, y que los contaminantes en exceso pueden afectar la salud humana a través de la cadena trófica (Boehm y Burton, 1997).

3.4 Riesgos a la salud por metales pesados

La EPA ha establecido estándares de seguridad para más de 80 contaminantes que pueden encontrarse en el agua y presentan un riesgo a la salud humana (EPA, 2004). Estos contaminantes se pueden dividir en dos grupos de acuerdo a los efectos que pueden causar. Los efectos agudos ocurren dentro de unas horas o días posteriores al momento en que la persona consume el contaminante. Casi todos los contaminantes pueden tener un efecto agudo si se consume en niveles extraordinariamente altos.

Los efectos crónicos ocurren después de que las personas consumen un contaminante a niveles sobre los estándares de seguridad de la EPA, durante muchos años. Entre los ejemplos de efectos crónicos de los contaminantes por metales pesados están: el cáncer, problemas de hígado o riñones o inclusive dificultades en la reproducción. El riesgo a la salud por contaminación de metales pesados depende principalmente de su nivel de acumulación en el cuerpo. Los riesgos son mayores si el tiempo de exposición del organismo a dicho contaminante es prolongado. La peligrosidad de los metales pesados en plantas, animales y humanos se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Efectos potenciales de los metales pesados en plantas, animales y humanos

Elemento	Plantas	Animales Esenciales	Humanos	Plantas	Animales Tóxicos	Humanos	Comentarios
B	si	no	no	si	n/d*	n/d	Fototoxicidad en zonas áridas
Cd	no	no	no	si	si	si	Es cancerígeno, se bioacumula y es fitotóxico
Cu	si	si	si	si	n/d	n/d	Forma complejos en suelo y relativamente no tóxico
Fe	si	si	si	n/d	n/d	si	Fitotóxico en condiciones ácidas
Mn	si	si	si	si	n/d	n/d	Fitotóxico en condiciones ácidas
Ni	si	si	si	si	si	si	Cancerígeno y mucha movilidad en suelo y planta
Pb	no	no	no	si	si	si	Inmovil en suelo y relativamente no fitotóxico
Zn	si	si	si	si	n/d	n/d	Forma complejos en suelo y es semejante al Cd

Fuente: Adriano, 2001. * no disponible

3.5 Contaminación por metales pesados en agua.

La mayor parte de la contaminación por metales pesados en agua, tiene como fuente principal las descargas industriales en las aguas superficiales, sin embargo existen otras fuentes de metales pesados. En el Cuadro 3, se muestran las vías principales de incorporación de estos contaminantes al agua.

Cuadro 3. Fuentes típicas contaminantes de sustancias inorgánicas y orgánicas en aguas superficiales

Fuente	Contaminantes inorgánicos	Contaminantes orgánicos
Áreas agrícolas	Metales pesados, sales (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})	Pesticidas
Áreas urbanas	Metales pesados (Pb, Cd, Zn) y sales	Aceite (petróleo), hidrocarburos biodegradables
Sitios industriales	Metales pesados, metaloides y sales	Hidrocarburos, aromáticos policíclicos, Hidrocarburo clorado y petróleo
Sitios mineros	Metales pesados, metaloides	Xenobioticos
Líneas de comunicación (carreteras y vías ferreas)	Metales pesados (Cd, V, Pb) y sales	Hidrocarburos aromáticos policíclicos, productos de petróleo y pesticidas

Fuente: Kabata-Pendias y Pendias, (1992)

3.6 Contaminación de Suelo

Es la presencia de cualquier agente externo al suelo tanto físico como químico que pueda ocasionar afectaciones al estado normal del mismo. La contaminación del suelo ocurre principalmente en las regiones industriales y dentro de estos factores que la provocan están, los vehículos y desechos municipales los cuales son las principales fuentes de metales pesados.

Sin embargo otras fuentes igualmente generadoras son: los fertilizantes, pesticidas y todas las aguas residuales que entran en contacto con el suelo. A largo plazo el uso de fosfatos inorgánicos presentes como fertilizantes aumenta sustancialmente el nivel de cadmio y flúor en el suelo, mientras que otros elementos tales como el arsénico, cromo, plomo y vanadio no incrementan significativamente (Fredman, 1989).

Caracterización de suelos

Suelos no salinos: Son aquellos que no presentan problemas agronómicos, cuyo pH en extractos saturados es inferior a 8.5 y CE es inferior a 4 dS m^{-1}

Fósforo en suelo.

El aumento de pH, junto a la solubilidad del calcio, hace precipitar parte de este fósforo y por tanto reducir su valor. Se optó hace algunos años a determinar el fósforo en forma de fósforo soluble en el extracto saturado del suelo. Con temperaturas bajas en el suelo, la capacidad de absorción de P por parte del sistema radicular es mínima. Uno de los problemas que se pueden presentar es la acumulación de fósforo soluble en el suelo, el cual estaría a disposición de la planta al aumentar la temperatura del suelo.

Sulfato en suelo

Es un ion que siempre se acumula en el suelo y su nivel estará en función del contenido que tenga el agua de riego, así como los aportes de fertilizantes en forma de SO_4^{2-} .

Los excesos de sulfatos son generalmente el mayor problema y no su deficiencia, aunque afortunadamente la tolerancia a los niveles altos de sulfatos es superior a la de cloruros (Bunt, 1988).

Bicarbonatos y carbonatos

No es frecuente encontrar iones carbonato en los suelos, ya que estos aparecen cuando el pH es mayor de 8.2. La existencia de pequeñas concentraciones de calcio hace precipitar al ion carbonato en forma de carbonato cálcico. Si el pH del suelo es superior a 8.5 se pueden encontrar cantidades considerables de este ion y generalmente esta ligado al ion sodio. A veces la existencia de pH elevados y por tanto de la presencia de iones carbonato en el suelo, viene motivada por la aplicación de enmiendas orgánicas, estiércoles, que ya de por si poseen un pH elevado, mayor de 8.5-9.0. Las concentraciones normales de ion bicarbonato en el extracto saturado oscilan entre 0.5-1.5 me l⁻¹. Se consideran altas por encima de 5.0 me l⁻¹ en este último caso es conveniente la utilización de una enmienda ácida, tipo azufre, para que disminuya.

Boro

En los suelos de cultivo el contenido de boro es por lo general, función del existente en agua de riego. Por ello, es fundamental conocer los niveles de partida de esta. La tolerancia al B varía en función del cultivo, variedad, clima y suelo (Bunt, 1988).

3.7 Contaminación por metales pesados en suelo.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

De hecho esto sucede debido a los vertidos de origen antropogénico, procedentes de vertidos industriales, de actividades mineras, de la aplicación de plaguicidas o también del tráfico rodado. Como resultado, se emiten grandes cantidades de partículas que, después de un cierto tiempo de permanencia en la atmósfera, precipitan en los suelos lejos del lugar donde han sido vertidas.

La cantidad de metales disponibles en el suelo esta en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio cationico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Kimberly y William, 1999; Sauve *et al.*, 2000). A excepción del molibdeno, selenio y arsénico, la movilidad de los metales pesados disminuye con el incremento de pH, debido a la precipitación de estos en forma de hidróxidos, carbonatos o en la formación de complejos orgánicos no-disponibles (Smith, 1996).

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental debido a que no son biodegradables ni termodegradables, generalmente no percolan a las capas inferiores de los suelos y pueden acumularse sutilmente a concentraciones tóxicas para las plantas y animales (Bohn *et al.*, 1985). La duración de la contaminación por metales pesados en los suelos, puede ser por cientos o miles de

años. El tiempo que le toma al Cd, Cu y Pb alcanzar la mitad de su actual concentración en suelos es de 15-1100, 310-1500 y de 740-5900 años, respectivamente, dependiendo del tipo de suelo y de sus parámetros fisicoquímicos (Alloway y Ayres, 1993). Los metales pesados que ingresan en pequeñas cantidades en los suelos encuentran lugares específicos de adsorción, donde son retenidos fuertemente en los coloides orgánicos e inorgánicos (Sauve *et al.*, 2000). Adiciones continuas de metales pesados pueden acumularse en los suelos hasta alcanzar niveles tóxicos para el crecimiento de las plantas (Chang *et al.*, 1992). Los suelos arenosos contienen menores concentraciones de metales pesados que los suelos arcillosos (Ross, 1994).

3.7.1 Niveles críticos de metales pesados permisibles en suelos

En casos de valores críticos de metales pesados especialmente en Pb la norma del ministerio del medio ambiente de Québec, Canadá, considera que hasta 50 mg kg^{-1} , no representa problema para el medio ambiente.

La concentración de Ni puede considerarse crítica según los límites fijados por el mismo ministerio en rangos superiores a 100 mg kg^{-1} , niveles en los cuales puede ocasionar problemas sobre algunos recursos, y Kabata-Pendias y Pendias (1992) consideran concentraciones de 100 mg kg^{-1} como críticas.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 marca los límites de concentraciones de 5.0 mg l^{-1} en agua, y solamente Ni y Pb, aunque no se conocen los criterios utilizados para fijación de la norma (Bock, 1996).

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- A) Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- B) Pueden ser adsorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas
- C) Pueden pasar a la atmósfera por volatilización
- D) Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas

Tal y como se esquematiza en la Figura 1 (adaptado por Rovira, 1996).

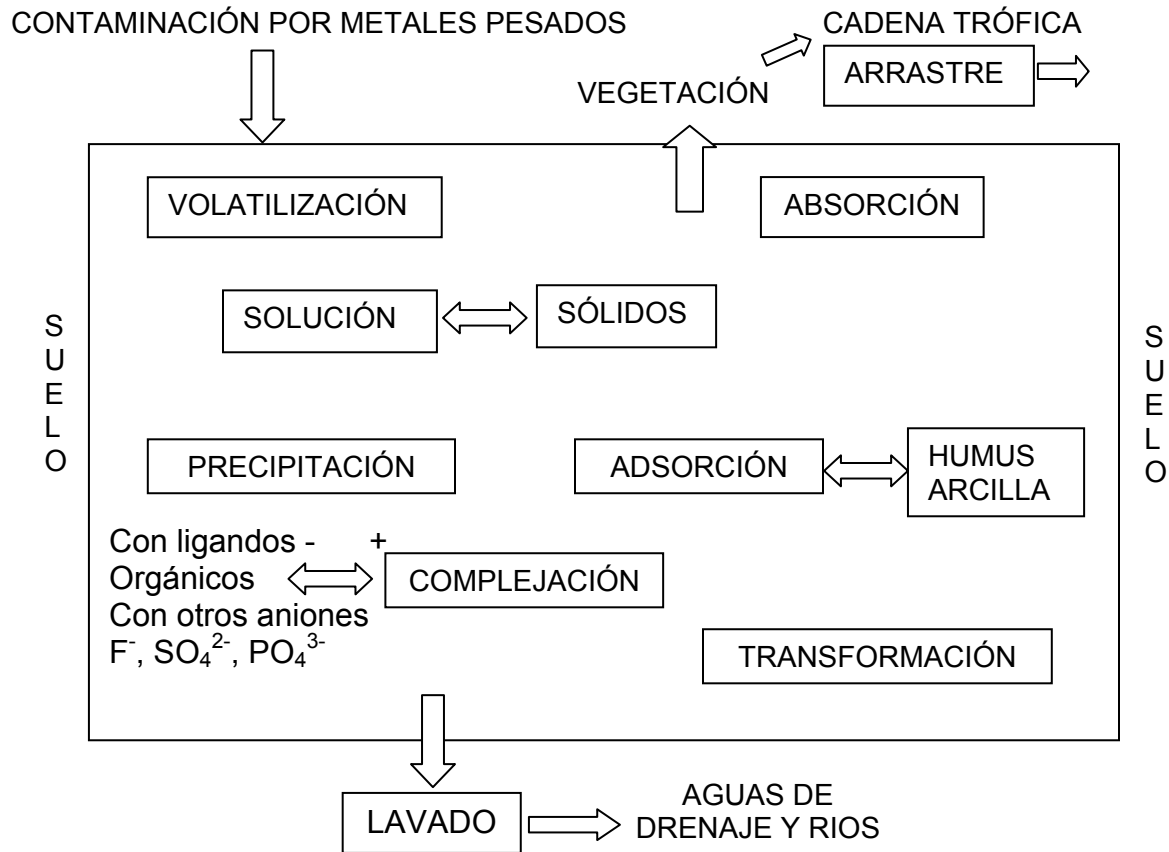


Figura 1. Proceso de contaminación por metales pesados en suelo

Una vez analizado el proceso mediante el cual los metales pesados pueden ser incorporados al suelo, es necesario conocer la concentración de metales y elementos traza, en función del tipo de suelo. De tal manera que en los Cuadros 4 y 5 se muestran los rangos de concentración que se dan en tres tipos de suelo, y los niveles tolerables de metales pesados en suelos.

Cuadro 4. Rangos de concentraciones totales de metales pesados en suelos superficiales calculados en la escala mundial (ppm)

Elemento	Cambisoles	Rendzinas	Histosoles
Rango			
B	1-134	1-210	4-100
Cd	0.08-1.61	0.38-0.84	0.19-2.2
Cu	1-70	4-100	1-113
Mn	7-2000	45-9200	7-2200
Ni	1-110	2-110	0.2-119
Pb	2.3-70	1.5-70	1.5-176
Zn	3.5-220	9-362	5-250

Fuente: Kabata-Pendias y Pendias (1992)

Cuadro 5. Criterios de evaluación de metales pesados en suelos (mg kg^{-1})

Metal pesado	Concentración crítica
Cd	>5 (a)
Cu	60-125 (a)
Ni	>100 (a)
Pb	100-400 (b)
Zn	70-400 (a)

Fuente: a) Alloway, 1990 y b) Freedman, 1989

3.8 Metales pesados en cultivos

Las plantas pueden acumular metales pesados dentro de sus tejidos, debido a la gran habilidad de adaptación a las variaciones químicas del medio ambiente, de esta forma las plantas son reservas intermediarias, entre suelo, agua y aire, además pueden ser el medio de transporte de metales pesados hacia los animales y hombre.

Las plantas pueden ser receptores pasivos de los metales pesados pero también ejercen un control sobre la absorción o rechazo de algunos elementos por medio de reacciones fisiológicas apropiadas. Se debe poner especial atención a los metales pesados distribuidos dentro de los tejidos vegetales, por que la forma en que se encuentran estos en la planta aparentemente tiene un papel decisivo en su transferencia a otros organismos.

Las plantas están provistas para ser también posibles indicadores para la contaminación del aire como por ejemplo como ocurre comúnmente con el diente del

león (Siegel *et al.*, 1987). Las concentraciones normales y tóxicas por las plantas se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Rangos de concentración de los metales pesados en plantas

Metal pesado	Suficiente o normal en plantas(a) (mg kg ⁻¹)	Excesivas o toxicos en plantas(a) (mg kg ⁻¹)	Tolerables en cultivos (b) (mg kg ⁻¹)
Cd	0.05-0.2	5-30	3
Cu	5-30	20-100	50
Mn	30-300	400-1000	300
Ni	0.1-5	10-100	50
Pb	5-10	3-300	10
Zn	27-150	100-400	300

(a) Datos de concentraciones excesivas o tóxicas en plantas (Kabata Pendias y Pendias, 1992) (b) Datos de Macnicol *et al.*, 1985)

El agua representa un papel esencial en los procesos metabólicos y fisiológicos de la planta, así como en el transporte de sustancias y en el mantenimiento de la turgencia; una deficiencia de este compuesto limita el desarrollo y crecimiento de la planta (Arnon, 1972).

Alloway, (1990) indica que las plantas comestibles que toleran altas concentraciones de metales peligrosos, pueden crear un riesgo a la salud mayor que aquellas que son más susceptibles y muestran síntomas de toxicidad.

Algunas fuentes de metales pesados en suelo y cultivos son asociados a la aplicación de pesticidas que contienen uno o más metales pesados en su composición, que al ser aplicados al cultivo, pueden ser acumulados por las plantas y suelos, de manera que según Kabata-Pendias y Pendias, (1992) se tienen los siguientes pesticidas y los cultivos en los cuales son usados con mayor frecuencia.

Cuadro 7. Contenido de metales pesados en pesticidas recomendados en Ontario, Canadá, periodo 1892-1975

Químico	Composición de metal en el producto	Periodo de recomendación	Cultivos
INSECTICIDAS			
Cobre acetato arsenico (Parisgreen)	2.5% de As y 39% de Cu	1895-1920	Manzana y cereza
Arsenato de calcio	0.8-26% de As	1910-1951	Frutas y hortalizas
Arsenato de plomo	4.2-9% de As	1910-1975	Manzanas
	11-26% de Pb	1910-1971	Cerezas
		1910-1956	Duraznos
		1910-1955	Hortalizas
Cloruro de mercurio	6% de Hg	1932-1954	Cultivos crucíferos
Sulfato de zinc	20-30% de Zn	1939-1955	Manzana
FUNGICIDAS			
Sulfato de cobre	4-6% de Cu	1892-1975	Frutas y hortalizas
Sales de cobre mezcladas	2-56% de Cu	1940- 1975	Frutas y hortalizas
Maneb	1-17% de Mn	1947-1975	Frutas y hortalizas
Mancozeb	16% de Mn 2% de Zn	1966-1975	Frutas y hortalizas
Zineb y ziram	1-18% Zn	1974-1975	Hortalizas
		1957-1975	Frutas

Fuente: Kabata-Pendias y Pendias, 1992

3.8.1 Efecto de los metales pesados en la morfología de la planta

Por desarrollo se entiende un crecimiento ordenado de la planta. Es por tanto, el resultado de dos procesos distintos pero muy relacionados entre si, crecimiento y diferenciación. Crecimiento significa aumento de tamaño, lo cual implica que los organismos multicelulares aumentan tanto en volumen (tamaño) y en peso (Salisbury y Ross, 1994). El aumento de tamaño determina cambios de forma y es por ello que el crecimiento implica siempre un proceso de diferenciación (Pérez y Martínez-Laborde, 1994).

Barceló y Poschenrieder (1992) mencionan que el síntoma más común de toxicidad por metales pesados en las plantas es la reducción del crecimiento. Los metales pesados causan múltiples efectos tanto directos como indirectos sobre las plantas, los cuales están relacionados prácticamente con todas las funciones fisiológicas (Woolhouse, 1983 citado por Kastori *et al.*, 1998)

La toxicidad en las plantas por un metal, se presenta con concentraciones por arriba del nivel crítico superior del elemento en el tejido vegetal (Beckett y Davis, 1977).

3.8.2 Concentraciones tóxicas de metales pesados en plantas

El requerimiento de níquel en las plantas es de concentraciones muy pequeñas $1.7 \mu \text{mol g}^{-1}$ de peso seco o menos Brown *et al.*, (1998). La concentración de Ni en las plantas que crecen en suelos no contaminados es de $0.1-5.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (McGrath *et al.*, 2000), y en las hojas de las plantas hiperacumuladoras de Ni se pueden encontrar $>1000 \text{ mg kg}^{-1}$ con base en el peso seco (Kramer *et al.*, 1997)

Macnicol y Becket (1995) en su revisión omitieron al plomo debido a que no había sido probado ser tóxico en cultivos en solución y el riesgo de daño para las plantas en cultivos en suelo se supuso muy pequeño. Las concentraciones comúnmente reportadas de plomo en las plantas son menores de 1 mg kg^{-1} en frutos y semillas, de $1-3 \text{ mg kg}^{-1}$ en hojas. Kabata-Pendias y Pendias (1992) indican que las concentraciones de Pb en el tejido de la hoja para varias especies esta en un rango permisible de $5-10 \text{ mg kg}^{-1}$ de peso seco y es excesiva o tóxica con $30-300 \text{ mg kg}^{-1}$ de Pb de peso seco.

3.8.3 Absorción de los metales pesados por las plantas

La absorción y la toxicidad de los metales pesados varían según la especie, las características del suelo, la concentración y las proporciones de los metales presentes (Bock, 1996). Las plantas se pueden clasificar en tres grupos, de acuerdo a sus características en la absorción de metales:

- a) Excluseras: plantas que crecen en suelos con un amplio rango de concentración de metales pesados, pero su absorción y translocación a tallos y hojas es restringida o nula.
- b) Indicadoras: plantas que reflejan los efectos de la concentración de metales pesados en suelos.
- c) Acumuladoras: plantas que concentran activamente metales en sus tejidos (Alloway, 1990)

Los metales tóxicos absorbidos son fijados en los tejidos en compuestos orgánicos que se vuelven asimilables para los animales, de este modo las plantas cultivadas representan una importante vía de transferencia de elementos potencialmente tóxicos, del suelo al hombre (Cataldo *et al.*, 1987).

Alloway, (1993), menciona que los iones metálicos son adsorbidos por las plantas a través de la raíz y hojas y son transportados al xilema, donde pueden ser translocados a toda la planta. La velocidad y contenido de translocación dentro de la planta depende del metal, origen de la planta y la edad de la planta, así, señala que el Mn, Zn, Cd, B y Mo, son elementos fácilmente translocables al ápice de las plantas el Ni, Ca y Cu son intermedios, mientras que el Cr, Pb y Hg son elementos menos translocables.

3.8.4 Translocación de los metales pesados en la planta

El sistema de raíces retiene la mayor parte de los metales absorbidos por las plantas (Hardiman *et al.*, 1984). La translocación de elementos no esenciales al follaje de las plantas es frecuentemente limitada, debido a la necesidad de los elementos de entrar por el simplasto para atravesar la banda de caspari en los endodermos de la raíz y ser secretados en la estela. Al respecto, Lane y Martín (1980) indican que la endodermis es una barrera parcial para la translocación del Pb a la parte alta de la planta.

Cuando los iones son absorbidos activamente por el simplasto y se han difundido en la estela, ellos pueden entrar en las traqueidas y vasos del xilema por difusión pasiva (Taiz y Zeiger, 1991). Las sustancias presentes en este flujo están sujetas a procesos de adsorción, con los sitios cargados negativamente de las paredes celulares del xilema. El transporte de metales por los vasos del xilema probablemente ocurre después de la saturación de los sitios de intercambio de las paredes del xilema (Senden *et al.*, 1994). En el Cuadro 8, se muestran las concentraciones estándares de metales pesados en hortalizas.

Cuadro 8. Estándares de evaluación por metales pesados para hortalizas

Metal pesado	Hortalizas de fruto ppm (n=90)	Hortalizas de hoja ppm (n=144)	Hortalizas de raíz ppm (112)
Pb	0.11	0.24	0.21
Cd	2.11	3.69	2.58

Fuente: Taiz y Zeiger, 1991

3.8.5 Toxicidad iónica en las plantas.

Es provocada por aquellos iones específicos que afectan a la planta originando problemas a su crecimiento, entre ellos se pueden nombrar al Na^+ , Cl^- y B.

Sodio y Cloruros

Actúan de distinta manera ya que a diferencia del Na^+ que puede ser intercambiado en el suelo, el ion cloruro no lo es. Existe una gran diferencia en su tolerancia de unas especies a otras.

Se clasifican:

- Cl^- < 4 me l^{-1} sin problemas en el cultivo
 4-10 me l^{-1} ligeros problemas en los cultivos
 > 10 me l^{-1} problemas en el cultivo
- Na^+ < 3 me l^{-1} sin problemas
 3-9 me l^{-1} ligeros problemas en el cultivo
 > 9 me l^{-1} problemas en el cultivo

Boro

A diferencia del Na que es un elemento innecesario en el desarrollo de la planta y el cloruro que si es imprescindible, aunque en cantidades muy pequeñas, el B es un elemento esencial. Al igual que en los casos anteriores existe una tolerancia en función de la especie (Casas y Casas, 1999).

- B < 0.7 mg l^{-1} sin problemas para el cultivo
 0.7-3.0 mg l^{-1} ligeros problemas para el cultivo
 > 3.0 mg l^{-1} problemas para el cultivo

Nitrógeno

Valores elevados de N inducen sobre todo en frutales problemas de vecería. Es la denominada producción alternada y debida a altas relaciones N/P que afectan a la floración. En el caso de los cultivos hortícola se deberá considerar las concentraciones que por lo general se encuentran en las aguas.

Bicarbonatos

Pueden inducir clorosis férrica en frutales. En cultivos de hoja, el exceso de bicarbonatos, unido a niveles de calcio ligeramente altos, puede originar depósitos de carbonato cálcico sobre la superficie de la hoja.

Sulfatos

El exceso de este ion puede originar perdidas del ion calcio por precipitación de sulfato cálcico, yeso y provocar un aumento en la adsorción de sodio.

Calcio

Su exceso puede inducir problemas de antagonismo frente al K y/o Mg.

Magnesio

Un exceso de este ion o una relación Ca/Mg <1 , expresados en me l^{-1} provocara problemas de absorción de Ca y originar enfermedades en las raíces en tomate, berenjena y pimiento. Parece ser que los efectos de bajas relaciones de Ca/Mg originan problemas con la relación de adsorción de sodio (RAS) que hacen que este sea más peligroso conforme más baja es la relación anterior.

Salinidad umbral (SU)

El resumen de la tolerancia relativa de los cultivos agrícolas y los valores de SU se refieren al 100% de una producción cualquiera y se presentan de forma grafica en el Cuadro 9, (Ayers y Westcot, 1987).

Cuadro 9. Valores de tolerancia de la salinidad umbral

Tolerancia	SU en dS m ⁻¹
Sensibles	<1.3
Moderadamente sensibles	1.3-3.0
Moderadamente tolerantes	3.0-6.0
Tolerantes	6.0-10
Muy tolerantes	>10

Fuente: Ayers y Westcot, 1987 citado por Casas y Casas, 1999

3.8.6 Cultivos sujetos a estudio

Alfalfa. Planta herbácea perenne, que pertenece a la familia de las leguminosas, su raíz mide hasta 9 metros, tiene tallos delgados, erectos, muy ramificados, que miden de sesenta a noventa centímetros de altura, sus hojas tienen tres folíolos oblongos y ovalados, sus flores que vienen en racimos, son libres y pequeñas, según la variedad, moradas o amarillas, el fruto maduro es una vaina curva de color café, ligeramente vellosa, que contiene semillas más o menos ovaladas o arriñonadas, con una cicatriz en una depresión ancha cerca de la mitad en las segundas; su color varía entre amarillo-verdoso y café claro, miden aproximadamente un milímetro y medio. Se cosecha continuamente mediante cortes espaciados con ciertos intervalos, y se utiliza principalmente como forraje para el ganado (INCA, 1982).

Cebolla. Planta herbácea de la familia de las liliáceas, de hasta sesenta centímetros de altura, con el tallo de color verde oscuro, hueco e hinchado en la base; hojas alargadas y flores blancas en forma de umbela redonda, su raíz fibrosa nace de un bulbo subterráneo. El bulbo de esta planta es comestible, de color blanco o rojizo, formado por capas sucesivas tiernas y jugosas de olor y sabor dulce-picante (INCA, 1982).

Cilantro. Planta herbácea de la familia de las umbelíferas, de tallo delgado, de veinte centímetros de altura o más, de color verde, con hojas alternas frecuentemente divididas y olorosas con flores pequeñas de color que varía del blanco al morado; su fruto es una semilla de forma esférica de unos dos milímetros de diámetro, las hojas y fruto se usan como condimento en la preparación de comidas (INCA, 1982).

3.9 Contaminantes microbiológicos

3.9.1 Coliformes fecales

Organismos coliformes, generalmente son excretados del tracto intestinal de los seres humanos en cantidades entre 100 a 400 billones de coliformes por día, además de otros tipos de bacterias. Son peligrosos para el hombre, aunque también destruyen la materia orgánica, debido a que los organismos patógenos son difíciles de aislar, el organismo coliforme mas numeroso sirve de organismo indicador de la contaminación.

La presencia de estos organismos en el agua es considerada como evidencia de la contaminación fecal, debido a que su origen es el tubo gastrointestinal de los humanos y otros animales de sangre caliente. Se utilizan como indicadores de la presencia de organismos patógenos en general.

3.9.2 Huevos de helminto

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa y una forma resistente. La forma de resistencia de estos organismos se debe a la inactivación por medio de los tratamientos convencionales de agua residual. Los huevos de helminto son un grupo de organismos que incluye a los nemátodos, trematodos y cestodos.

El estudio de huevos de helminto a nivel ambiental ha hecho necesaria la sección de un parasito indicador debido a las limitaciones en la detección a nivel de laboratorio. *Áscaris lumbricoides* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helminto (CEMCAS, 2005). Sus ventajas son: persisten en el ambiente por muchos meses, pero no se multiplican y se pueden identificar fácilmente, el índice de parasitismo a nivel mundial es muy alto y el riesgo de transmisión también, debido a la alta concentración de huevos que se puede encontrar.

3.10 Estudios sobre metales pesados en México.

En México se reporta que se hace uso del agua residual de la zona desde hace más de un siglo según Sánchez, (1985) citado por Bonilla *et al.*, (1995).

En 1990 Flores y colaboradores, observaron que los metales pesados introducidos con el agua de riego, se acumulan principalmente en la capa arable, disminuyendo su concentración conforme aumenta la profundidad del perfil.

Cajuste *et al.*, (1991), observaron una mayor acumulación de metales pesados en suelos irrigados con aguas negras, en comparación con los niveles encontrados en suelos regados con mezclas de aguas residuales y aguas de escorrentía. Carrillo *et al.*, (1992), observaron la dinámica de los metales pesados y su distribución en las parcelas, encontraron que en el agua de riego el Cd superó los límites permisibles recomendados por la legislación mexicana para aguas de riego agrícola.

Cajuste *et al.*, (1996), observaron en el valle del mezquital después de un estudio de agua, suelo y planta en alfalfa, maíz y trigo; que las concentraciones de Cd en los cultivos fueron mayores en el tejido vegetal que en el grano y la concentración de Pb fue mayor en la alfalfa que en los demás cultivos.

En Puebla, se han realizado estudios que reportan niveles de metales pesados en suelos agrícolas, ocasionados por descargas industriales a las aguas de riego y de esas investigaciones se sabe que la concentración de metales pesados se incrementa en función de la cercanía de zonas industriales con las zonas de producción agrícola, sobrepasando en algunos casos los niveles máximos permisibles de contaminantes en suelos (Tamariz, 1996)

Bonilla *et al.*, (1995) encontraron en la zona de riego de los municipios de Huaquechula y Atlixco una concentración de Cd y Cr en suelo que excedían las aceptadas para producción sana de alimentos, el Co excedió el valor común para suelos agrícolas y el

Ni rebasó la concentración máxima aceptable para la Comunidad Económica Europea (CMA).

La concentración de metales pesados en tejido vegetal específicamente en el cultivo de alfalfa por Cd, Co, Cu y Mn, excedieron los valores considerados como normales para cultivos agrícolas.

En el caso del agua de riego, Bonilla *et al.*, (1995), encontraron que las aguas residuales del río Nexapa se clasificaron como condicionadas por sales en la mayoría de los sitios.

Méndez *et al.*; (2000), encontró en suelos del valle de Atlixco que los metales pesados solubles eran del orden de: Fe>Pb>Mn>Cr>Cd. Encontró que el Mn es el único metal que excede los límites máximos permisibles por la norma (NOM-NTE-032-91), y que el Cr y el Cd exceden dichos límites sólo al final del trayecto monitoreado, después del punto donde se incorporan las aguas residuales de la ciudad de Puebla.

Los metales pesados extractables fueron del orden de: Mn>Fe>Pb>Cd>Cr; (con valores promedio de: 85.08, 68.63, 4.22 y 0.30 mg kg⁻¹ y no detectable (ND), respectivamente).

Silva *et al.*, (2002) encontró en las aguas de escorrentía de la región de Atlixco que exceden las normas en nitritos, Cd, Pb, coliformes fecales y totales, y en los ríos en nitritos, sustancias activas al azul de metileno, N amoniacal, Cd, Cr, Pb, coliformes fecales y totales.

Navarro, (2005), encontró en su estudio sobre la calidad de aguas de riego, que son vertidas por el río Nexapa en la zona de Atlixco e Izúcar de Matamoros que existen niveles altos de nitratos (120 mg l⁻¹), debido al mal uso de fertilizantes y por un sobre uso de aguas residuales para su irrigación. Este caso se presentó en zonas que se

dedican a la producción de hortalizas y flores, ya que son cultivos con una mayor exigencia de nitrógeno, además de la lixiviación de las aguas negras.

Finalmente encontró que en la zona de Atlixco los contenidos de metales pesados son menores que en la zona de Izúcar, debido en parte a diferencias propias de Na, K, Ca y Mg en la geoquímica de ambos municipios.

3.11 Literatura citada

- Adriano D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments, biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Edition. Springer-Verlag. New York. 867 p.
- Alloway, J. B. 1990. Heavy Metals in soils. Blackie and sons Ltd. Great Britain. 6-39 p
- Alloway, J.B. and D.C. Ayres. 1993. Chemical Principles of Environmental Pollution, Oxford, UK. Blackie Academic and Professional Publ. New York. 368 p.
- Armon R. Gold, D. Brodsky, M. and Oron, G. 2002. Surface and subsurface irrigation with effluents of different qualities and presence of *Cryptosporidium* oocysts in soil and on crops. Water Science and Technology 46(3), 115–122 p.
- Arnon I. 1972. Crop production in dry regions. Vol I. Background and principles. Leonard Hill Books. London. Great. Britain. 650 p
- Ayers R. y Westcot D. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29. Roma, Italia. 174 p.
- Barceló J. y Poschenrieder C. 1992. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. Suelo y Planta 2, 345-361 p.
- Beckett P. H. T. and Davis. 1977. Upper critical levels of toxic elements in plants. New Phytol. 79:95-106 p.
- Bock, S. Y. 1996. Efectos de la extracción de hidrocarburos sobre la producción agrícola en Cunduacan, Tabasco. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Puebla, Pue.142 p.

- Boehm M. and Burton S. 1997. Socioeconomics in soil-conserving agricultural systems: implications for soil quality, In: Gregorich E. G and Carter M. R. Soil Quality for crop production and ecosystem health. Developments in Soil Science: 25 p.
- Bohn, H. L., McNeal B.L., y O'Connor A.G. 1985. Soil Chemistry Wiley-InterScience Publications, NY, USA.
- Bonilla F. N., Flores L. D., Romero G. H., Valera M. A. P. y González J. M. 1995. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos, planta y agua por efecto de riego con aguas negras en la región de Huaquechula y Atlixco, Puebla. 159 In: Memorias del Simposio Universitario de Edafología. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico, D.F.
- Brown P. H; Welch R. M, and Cary E. E. 1988. Nickel: a micronutrient essential for the higher plants. Plant Physiol. 85:801-803 p.
- Bunt A. C. 1998. Media and mixes for container-grown plant. 2° ed. Unwin Hyman Ltd., London, Academic Press. 309p
- Cajuste L. J., Carrillo R. G., Cota E. y Laird R. J. 1991. The distribution of metals from wastewater in the mexican valley of mezquital. Water, Air and Soil pollution. 57-58 p.
- Cajuste L. J., Vásquez A. A., Siebe S. B., Alcanzar G. G. y De la Isla de Bauer M. L. 1996. Níquel, Cadmio y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el valle de mezquital, Hidalgo, México. Agrociencia, 35 (03). 267-274 p.
- Carrillo R. G., Cajuste L.J. y Hernández L. H. 1992. Acumulación de metales pesados en suelos regados con aguas residuales. TERRA 10. (2). 166-173p.

- Casas C. A. y Casas B. E. 1999. Análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas en la zona peninsular. Caja Rural de Almería Plaza de Barcelona. 2^{da} Edición. 80-95 p.
- Cataldo D. A. Wildung R. E. y Garland T. R. 1987. Speciation of trace inorganic contaminants in plants and bioavailability to animals: an overview. Published in J Environ Qual 16:289-295p
- CEMCAS, 2005. Conceptos básicos de la operación de una planta de tratamiento de Aguas Residuales. Centro Mexicano de Capacitación en Agua y Saneamiento. México. Folleto Informativo de Curso de Capacitación. 70 p
- Chang, A.C., Granato, T.C., y Page A.L. 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for Cr, Cu, Ni and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludge. J. Environ. Qual. 21:521–536 p.
- Chávez, G. R. 1987. Geohidrología. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. Texcoco, Estado de México, México
- Cornish, G.A. and Lawrence, P. 2001. Informal Irrigation in Peri-urban Areas: A Summary of Findings and Recommendations. Report OD/TN 144, HR Wallingford Ltd, Wallingford, UK. 123 p.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2004. Edition of the drinking water standards and health advisories. EPA Publications. Number: 822-R-04-005. 20 p.
- Finkelman J. 1990. Medio ambiente y salud en México. In: Left, E. (Compilador) Medio ambiente y desarrollo en México. México. UNAM-Porrúa. 581-629 p.

- Flores D. L. Hernández S. G. Mejía B. M. Alcalá M. R. y Sánchez B. S. 1990. Algunos metales en suelos regados con aguas residuales. I Simposio Nacional sobre degradación del suelo. Instituto de Geología. UNAM. México, DF. 222-234 p.
- Freedman B. 1989. Environmental Ecology: The impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function. Academic Press. 153-165 p.
- Galdámez O. D. 2000. Contaminación de suelos: Ciclos ambientales de los elementos traza. Ingeniería Ambiental & Medio Ambiente. Universidad de Santiago de Chile. 35 p.
- García M. M. 1992. Contaminantes tóxicos prioritarios en agua. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México. Mexico. 38 p.
- Hardiman R. T. Jacoby B. A. and Banin R. 1984. Factors affecting the distribution of cadmium, copper and lead and their effect yield and zinc content in bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Plant and Soil. 81: 17-27 p.
- Hussein M. E. 1999. Fate and transport of heavy metals in the vadose zone. Environmental Science. Lewis Publishers. 2: 3-18 p.
- Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario (INCA). 1982. Diccionario Agropecuario de México. México, DF. 402 p.
- Kabatas-Pendias A. Y and Pendias H. Y. 1992. Trace Elements in Soil and Plants. CRC Pres Inc. U.E.A. 315 p
- Kastori, R. M; Plasnicár, Z. Sakac, D. Pankovic and Arsenijevic-Maksimovic, I. 1998. Effect of excess lead on sunflower growth and photosynthesis. Journal of Plant Nutrition. 21 (1): 75-85 p.

- Kimberly, M. F., y William H. 1999. Trace metals in Montreal urban soils and the leaves of *Teraxacum officinal*. *Can. J. Soil Sci.* 79:385–387 p.
- Kramer P. J. 1974. Fifty years of progress in water relations research plant fhyiol. Academic Press. San Diego 460-468 p
- Lane S. D. and Martin E.S. 1980. Further observations on the distribution of lead in juvenile roots of *Raphanus sativus*. *Z Pflanzenphysiol.* 97: 145-152 p.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). 2001. Definiciones. 8-12 p
- Macnicol R. D. and P.H.T. Beckett. 1985. Critical tissue concentrations potentially toxic elements. *Plant and Soil.* 85: 107-129 p
- McGrath S.P. Zhao, F.J. Dunham, S.J. Crosland, A.R. y. Coleman K. 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *J. Environ. Qual.* 29:875–883 p.
- Méndez G. T. Rodriguez L. D. y Palacios S. M. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Revista de Geología, UNAM.* 67(1):3-11
- Mengel, K. and Kirby, E. A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition. International Potath Institute. Bern. Switzerland. 250 p
- Metcalf y Hedí. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. T.I. McGraw-Hill. México. 752 p.

- Mohan. K. R. 2003. Financing of wastewater treatment projects. Infrastructure Development Finance Corporation and Confederation of Indian Industries, Water Summit 2003, Hyderabad, 4–5 p.
- Navarro F. A. E. 2005. Contaminantes antropogénicos en las descargas de aguas residuales de Izúcar de Matamoros y Atlixco, Puebla. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 21(1): 28-34 p.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Palacios V. O. y Aceves N. E. 1994. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para el riego agrícola. Talleres Gráficos del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 80 p.
- Pérez F. G y J. B. Martínez-Laborde. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Ed Mundi-Prensa. Madrid, España. 342 p.
- Ramos, O. R. Sepúlveda, M. R. y Villalobos, M. F. 2003. Agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis. Universidad de Baja California. Ed. Plaza y Valdes. México. 47-54 p.
- Reyes I. E. y García N.E. 2000. Efecto de riego con aguas residuales sobre las propiedades de los suelos del municipio de Mixquiahuala, Hgo. In: Quintero-Lizaola R. T., Reyna-Trujillo, Corlay Chee L., Ibáñez A.-Huerta N.E., García-Calderón (Eds). *La edafología y sus perspectivas al Siglo XXI*. Tomo I. COLPOS, UNAM, UACH. México. 295-301 p.
- Romero H. G., Bonilla N. F., Flores D., Cabrera C. M., Hernández J. G. y Silva G. H. 1995. Estimación de metales pesados en aguas negras de riego y su efecto

- contaminante en suelos y plantas de lechuga. In: Memoria de XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tamaulipas, México. 54-76 p.
- Ross, S.M. 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems., In S. M. E. Ross, ed. Toxic Metals in Soil-Plant Systems. John Wiley and Sons, England, UK. 3–26 p.
- Rovira A. 1993. Origen de los metales pesados en suelos. Environment Internacional Publisher. 14: 403-410p
- Rowe D. R. 1995. Handbook of wastewater reclamation and reuse. Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida, USA. 550 p.
- Rowell D. J. 1994. Soil Science. Longman, Essex, UK. 350 p.
- Salisbury, F. B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. México, DF. 759 p
- Sanchez D. N. 1985. Mexican experience in using sewage effluent for large scale irrigation. In: Treatment and use of sewage effluent for irrigation. Pascod M.B. and Arar (Eds.) Tiptree Essx, Great Britain. 249-257 p.
- Sauve S., Henderson W., y Allen H.E. 2000. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. Environ. Sci. Technol. 34:1125–1131 p.
- Scott, C. A., Faruqi N. I. y Raschid-Sally L. 2002. Wastewater use in irrigated agriculture: Management challenges in developing countries journal of FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 144:11-12 p.

- Senden M. H. Van der Meer A. J. Verburg C. T. and Wolterbeeck H. 1994. Efects of cadmium on the behaviour of citric acid in isolated tomato xylem cell walls. *Journal of Experiment Botany* 45 (274): 597-606 p
- Seoáñez, C. M. 1999a. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2ª Edición, Mundi prensa. España. 76-88 p.
- Seoáñez, C. M. 1999b. Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales, Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño. Colección Ingeniería del medio ambiente. Mundi-Prensa. España. 65-69p.
- Silva G. S. 2002. Contaminación Ambiental en la región de Atlixco, Puebla, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Campus Puebla. Puebla, México. 117 p.
- Silva G. S., Muñoz O. A., De la Isla de Bauer M. L. y Infante G. S. 2002. Contaminación Ambiental en la región de Atlixco, Puebla: 1. Agua. *Revista Terra*. 20: 243-251 p.
- Smit J., A. Ratta, y Nasr J. 1996. Urban agriculture: food, jobs and sustainable cities Publication Series for Habitat II, New York. United Nations Development Programme (UNDP).
- Swarup, D., Dwivedi, S.K. and Dey, S. (1997) Lead and cadmium levels in blood and milk of cows from Kanpur city. *Indian Journal of Animal Sciences* 67(3): 222–223 p.
- Taiz, L. and Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood City, USA.

Tamaríz F. V. 1996. Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en el municipio de Atlixco, Puebla. Tesis de Maestría en Edafología, Instituto de Ecología. UNAM, México, D.F. 120 p.

Voguel M. E. y Rivas E., R. 1997. Contaminación, contaminantes, ambiente y contaminación del agua. Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Internacional Thomson Publishing. México. 369-384 p.

Woolhouse H. W. 1983. Toxicity and tolerance in the response of plants to metals. In: Lange OL, Nobel PS, Osmond CB & Ziegler H (eds) Encyclopedia of plant physiology, Vol 12C: Physiological plant ecology. Springer Verlag, Berlin, p 245-300.

IV. MATERIALES Y METODOS GENERALES

4.1 Ámbito de la zona de estudio

Para este trabajo en particular, se analizó de forma específica el agua del cauce y zonas de riego del canal Chilhuacán con una longitud de 4.5 km que benefician una superficie de 688 ha de riego, de manera que se pueda determinar el impacto ambiental que acarrea al suelo y planta, el utilizar aguas residuales en el riego de los cultivos agrícolas que ahí se siembran.

El municipio de Atlixco, se localiza al oeste del estado de Puebla y se ubica en las coordenadas: 18° 40' y 19° 02' N y 98° 17' y 98° 43' O (Figura 2). Es un municipio de Puebla, que cuenta con un suelo plano, con estribaciones del Popocatepetl (IMTA, 2003), y colinda con los municipios de Puebla, Huaquechula, Ocoyucan, entre otros (Figura 2).

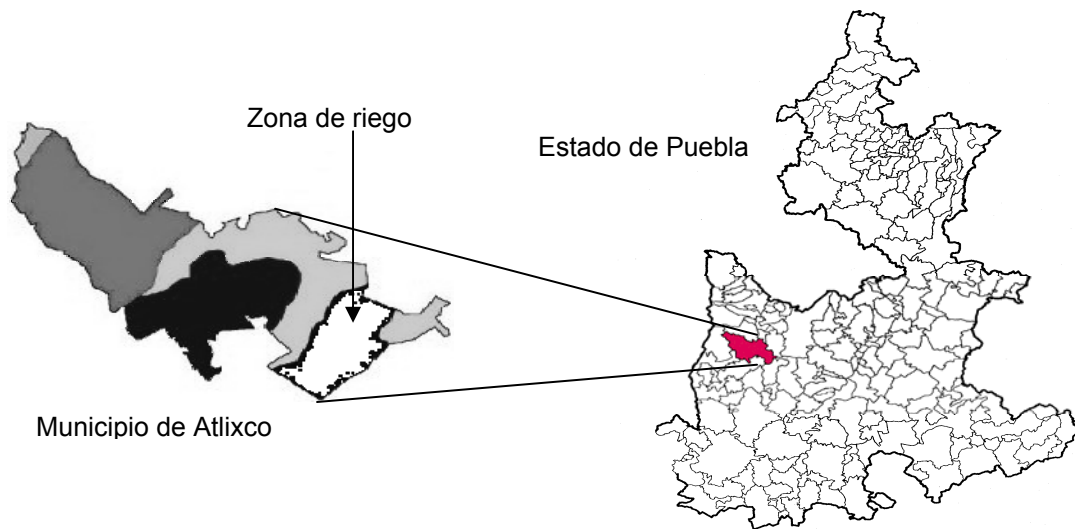


Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio

4.1.1 Topografía

La topografía que predomina dentro de la zona de riego es en un 80% plana, con pendientes suaves que permiten la buena aplicación del riego, son terrenos planos, suelos profundos de texturas de medias a finas y ricos en materia orgánica. Estas características predominan en el área que se riega con las derivaciones del canal Chilhuacán (IMTA, 2003).

Fisiográficamente estos suelos se localizan sobre terrenos aluviales recientes, con pendientes convexas inferiores al 3%. El material parental de estos suelos está conformado por sedimentos aluviales del Cuaternario Reciente, estos suelos ocupados principalmente con maíz, frijol, alfalfa y pastizales. Los fluvisoles que se caracterizan por presentar una buena permeabilidad, son profundos, texturas medias o medias sobre gruesas, de poco desarrollo (presentan únicamente horizontes A y C diferenciados por el grosor del sedimento aluvial), suficientemente ricos en nutrientes y materia orgánica, con buena agregación, muy buena actividad biológica y buen drenaje superficial (Gutiérrez, 2002)

4.1.2. Tipos de suelo

La zona de estudio presenta una gran variedad, pues se pueden identificar 3 tipos de suelo:

Fluvisol.- Es el suelo que mayor extensión ocupa y coincide aproximadamente con las zonas planas del poniente.

Feozem.- Se presenta en las zonas planas del noreste, ocupando una extensión considerable.

Vertisol.- Se ubica en el extremo noroeste cubriendo un área reducida.

Fluvisoles. Suelos que presentan propiedades flúvicas, es decir que se derivan de sedimentos fluviales y que reciben materiales nuevos a intervalos regulares y que con excepción de materiales encauzados, tienen una u otra de las propiedades siguientes:

Contenido de carbono orgánico que decrece irregularmente con la profundidad o que se mantiene superior a 0.20 % a una profundidad de 125 cm, pueden presentarse estratos finos de arena que pueden tener un contenido menor.

Los fluvisoles no deben tener ningún otro horizonte de diagnóstico que un: A ócrico, mólico o úmbrico, un horizonte: H hístico o un horizonte sulfúrico a menos de 125 cm de profundidad.

Feozems. Estos suelos presentan colores pardo oscuros o gris en la parte superficial y cambian pardo amarillento o pardo rojizo a medida que aumenta la profundidad.

Feozem haplicos (Hh). Se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes, se ubican en lugares planos, son profundos y se utilizan en la agricultura de riego y temporal, en las laderas, son menos profundos y tienen sedimentos bajos, se erosionan con mucha facilidad, encontrándose mezclados con fluvisoles eútricos.

Vertisoles. Son suelos que se originaron de areniscas, calizas e ígneas básicas, las cuales al intemperizarse forman materiales moderadamente finos (franco arcillosos o arcillo arenosos o muy finas arcillas), que confieren una textura arcillosa a los suelos. El color que presentan es gris oscuro en los vertisoles pélicos y pardo en los vertisoles crómicos. Son de ligero a moderadamente alcalinos, tienen una capacidad de intercambio catiónico alta o muy alta, y están completamente saturados con cantidades muy altas de calcio, de altas a muy altas de magnesio y de bajas a moderadas de potasio.

Dichas características les proporcionan una alta fertilidad; sin embargo, su utilización en las actividades agropecuarias se ve limitada, por su alto contenido de arcillas expandibles.

4.1.3 Clima

El clima predominante en la zona de estudio es semicálido-subhúmedo, con temperaturas que varían de 18-22 °C, las precipitaciones anuales que se presentan, están en el orden de 850-900 mm. La zona no se ve afectada con mucha frecuencia por heladas, vientos y granizadas, lo cual la convierte en un lugar óptimo para llevar a cabo actividades agrícolas.

Los tipos de clima que se presentan en el municipio, de acuerdo a la clasificación de Köppen, adecuada a las condiciones de México indica que la zona de estudio se clasifica con un clima templado con verano fresco largo, sub-húmedo, es decir, de humedad media, con lluvias en verano y precipitación invernal menor al 5%.

4.1.4 Hidrología

Es parte de la cuenca del río Balsas, subcuenca del Nexapa, la que esta formada por los ríos Huilapa y Xalapesco, que recogen los escurrimientos de los deshielos del volcán Popocatepetl (SARH-C.P., 1986).

Las subcuencas de los ríos Atoyac y Nexapa son las fuentes de abasto de agua de la zona de estudio. Se dispone de un volumen de agua de 10,530.41 miles de m³ concesionados por la C.N.A. al canal Chilhuacán, con un gasto promedio de 601 l s⁻¹, el cual beneficia a 688 ha, divididas en 8 unidades de riego, beneficiando a 547 usuarios (IMTA, 2003).

La distribución del agua que hacen las 8 unidades de riego, es mediante un mecanismo denominado: riego por tandeo, el cual implica que cada 8 horas un usuario tiene la totalidad del volumen de agua que transporta el canal, con lo cual pueden regar toda su superficie, este mecanismo permite que cada usuario pueda regar cada 15 días sus cultivos.

4.1.5 Padrón de cultivos de la zona

En cuanto a la variedad de cultivos que se siembran en la zona se puede mencionar que se producen 13 especies de flores, 13 especies de hortalizas, forrajes, árboles frutales y cultivos básicos. La gran mayoría de dichos cultivos son comercializados en el mercado local de la ciudad de Atlixco y en algunos casos en la central de abastos de la ciudad de Puebla. Un resumen de los cultivos que se siembran en la zona, se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Padrón de cultivos de la zona de influencia del canal Chilhuacán

Flores	Forrajes	Frutales	Hortalizas	Básicos	Aromáticos
Terciopelo	Alfalfa	Durazno	Lechuga	Maíz	Guaje
Cempasúchil	Maíz Forra.	Limón	Jícama	Frijol	Epazote
Crisalia	Avena Forra.	Aguacate	Rabanito		Té Limón
Estrella de Belem			Chícharo		Perejil
Albricia			Huazontle		Yerbabuena
Alhelí			Ejote		Manzanilla
Estate			Calabacita		Cilantro
Crisantemo			Jitomate		
Frisia			Cebolla		
Margarita			Zanahoria		
Perrito			Espinaca		
Nube			Acelga		
Gladiola			Brócoli		

Fuente: IMTA, 2003

4.1.6 Población

En 1995 el municipio contó con 112,570 habitantes, representando el 2.5 % de la población total del estado, de los cuales 53,510 son hombres y 58,970 son mujeres. Tenía una densidad de población de 514 habitantes por kilómetro cuadrado y una tasa de crecimiento anual de 1.33 %, y en el año 2000 la población del municipio era de 127,311 habitantes, con una densidad de población de 555 habitantes por kilómetro cuadrado y en el censo del 2005 el municipio contaba con una población de 122,149 habitantes, de los cuales 56,813 son hombres y 65,336 son mujeres (INEGI, 2005).

4.2 Fuentes de obtención de información

Para desarrollar esta investigación, se consideraron tres etapas: revisión de literatura y visitas de campo, la captura de información y el análisis de resultados, a continuación se describen cada una de ellas.

a) Revisión de literatura y recolección de información pertinente.

En este apartado se nombraron los antecedentes, se establecieron las condiciones de la zona mediante visitas de campo y se revisaron los estudios realizados en la región. Se estudiaron los aspectos legislativos, es decir, las normas que establecen los límites de descargas contaminantes en bienes nacionales (NOM-001-SEMARNAT-1996).

b) Obtención de la información física de la zona

Para la generación del sistema de información geográfico, se utilizó el software ArcView, además de material fotográfico aéreo y cartas topográficas generados por el INEGI.

c) Desarrollo conceptual y técnico de una base de datos.

Se obtuvo una hoja de cálculo por cada sitio de muestreo, con el registro de los resultados obtenidos, misma que sirvió para realizar las operaciones necesarias en la cuantificación de los contaminantes, y se llevo a cabo un análisis estadístico de los factores determinados.

4.2.1 Variables y factores estudiados

Esta investigación se realizó mediante la aplicación de distintas herramientas divididas en los tres factores de estudio:

a) Evaluación de la contaminación del agua del canal.

b) Evaluación de la contaminación de suelo y planta.

c) Identificación del nivel de conocimiento de los productores sobre el riesgo de utilizar aguas residuales.

Al ser considerados los anteriores factores como los de mayor peso en el desarrollo de esta investigación, se describen cada uno de ellos a continuación.

Evaluación de la contaminación de agua del canal

Para poder llevar a cabo una evaluación de los niveles de contaminación de las aguas del canal Chilhuacán fue necesario realizar análisis de: a) metales pesados totales. b) agentes microbiológicos y c) factores físicos y químicos.

- a) Los metales pesados totales (Pb, Cu, Cd, Zn, Ni y Fe) fueron analizados mediante la espectrofotometría de absorción atómica por el método de flama, previo a una digestión ácida de la muestra de agua; como lo establece la Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001.
- b) Los agentes microbiológicos se analizaron mediante el método de número más probable por 100 ml de coliformes fecales como lo marca la Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2005 y los huevos de helminto por litro mediante el método de diferencia de solubilidad que establece la NMX-AA-113-SCFI-1999.
- c) Los factores físicos y químicos fueron determinados conforme a las normas mexicanas para análisis de aguas residuales que aplican para cada parámetro determinado.

Evaluación de la contaminación de suelo y planta

Para poder realizar la evaluación de los niveles de contaminación en suelo y planta de la zona de riego del canal Chilhuacán, se llevaron a cabo los siguientes métodos analíticos para cada uno de los estratos: a) contaminación de suelo y b) contaminación de planta.

- a) Para este caso se realizó un análisis de metales pesados disponibles en suelo (Pb, Cu, Cd, Mn, Zn, Ni y Fe) mediante el método de extracción de metales pesados y una posterior lectura mediante el uso de un espectrofotómetro de

absorción atómica. Además se realizaron análisis de textura del suelo mediante el método de hidrómetro de Bouyoucos, contenido de materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, pH, CE, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y boro (B).

- b) Para la determinación de metales pesados (Pb, Cu, Cd, Mn, Zn, Ni y Fe) en tejido vegetal se analizaron mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica al igual que el calcio y magnesio; además se determinó potasio (K) por el método de espectrofotometría de emisión de flama, fósforo (P) por fotolorimetría por reducción con molibdo-vanadato y se determinó nitrógeno mediante una digestión ácida y por arrastre de vapor.

Identificación del nivel de conocimiento de los productores sobre el riesgo de utilizar aguas residuales

El análisis del medio social se realizó mediante el uso de herramientas para captar información como fue el caso del cuestionario que permitió caracterizar al productor, conocer su actitud ante la problemática de regar con aguas negras y el grado de desconocimiento que tienen al respecto.

El cuestionario fue un instrumento útil de esta investigación. Se utilizó bajo los principios que plantea Pérez, (1994), es decir, para el desarrollo de una investigación en el campo de las ciencias sociales, como una técnica ampliamente aplicada en la investigación de carácter cualitativa. No obstante lo anterior, su construcción, aplicación y tabulación poseen un alto grado científico y objetivo, ya que implica el control de una serie de variables. En su construcción se consideraron preguntas cerradas, abiertas y mixtas, que englobaron preguntas distribuidas en tres aspectos, el primero fue acerca de aspectos generales que permitieran caracterizar al productor en base al tamaños de explotación y especialización de cultivos, el siguiente aspecto fue el relacionado con el nivel de desconocimiento acerca de los riesgos de usar aguas residuales y finalmente el relacionado con la actitud de los productores ante esta problemática.

4.3 Definición de variables

Contaminante. Toda materia, sustancia, o sus combinaciones, compuestos o derivados químicos y biológicos, (humos, gases, polvos, cenizas, bacterias, residuos, desperdicios y cualquier otro elemento), así como toda forma de energía (calor, radiactividad, ruido), que al entrar en contacto con el aire, el agua, el suelo o los alimentos, altera o modifica su composición y condiciona el equilibrio de su estado normal (Rowe, 1995).

Según la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 2001), define a un contaminante como: toda materia o energía en cualesquiera de los estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Ambiente. Es el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

Efecto ambiental. Modificación, cambio o trastorno del ambiente ocasionado por la acción del hombre o de la naturaleza.

Contaminantes físicos. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica). Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas (LGEEPA, 2001).

Contaminantes químicos. Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos.

También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (LGEEPA, 2001)

Contaminantes microbiológicos. En general, todos los agentes representados por organismos vivos, la mayoría suelen ser microorganismos como bacterias, virus, hongos, etc. (NOM-001-SEMARNAT-1996)

4.4 Metales pesados

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa densidad alta y sea tóxico en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados son: cadmio (Cd), cobre (Cu), cinc (Zn), níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb) y hierro (Fe). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra, no pueden ser degradados o ser destruidos.

Los riesgos de toxicidad varían según su naturaleza y concentración, basándose en los conocimientos actuales, observaciones clínicas y experimentación animal. Los riesgos para el hombre son difíciles de precisar, dado que las dosis a determinar son muy pequeñas.

Dentro de los metales pesados que establece la normativa de la Environmental Protection Agency (EPA) como peligrosos para el hombre y el medio ambiente están:

4.4.1. Cadmio

Este elemento es considerado como un metal pesado, se clasifica como un elemento cancerígeno, y según la EPA es una sustancia peligrosa (en sus formas químicas acetato, bromuro y cloruro), constituyentes de desechos peligrosos.

Kabata-Pendias y Pendias, 1992 citado por García, 1992; menciona que el cadmio es un material altamente resistente a la corrosión, es empleado para recubrimiento de varios metales (fierro, acero y cobre); se emplea en aleaciones con cobre, níquel, oro, plata, bismuto y aluminio para facilitar su fundición; estas aleaciones se usan también

en la fabricación de electrodos de baterías alcalinas, se emplea en los reactores nucleares para atrapar neutrones, sus amalgamas para cuidados dentales, manufactura de lámparas fluorescentes, semiconductores, fotoceldas, joyería y en la industria de automóviles. No es biodegradable.

Las aguas residuales con cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de cinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles.

El cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso.

Los suelos que son ácidos aumentan la disponibilidad de cadmio para las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de cadmio en sus riñones debido a esto. Todo lo anterior ejemplifica el peligro que trae consigo el utilizar aguas con un alto contenido de cadmio.

4.4.2. Cobre

Algunos compuesto de este metal se clasifican como sustancia peligrosa. Los compuestos de cobre listados por la EPA como sustancias peligrosas son las siguientes: Acetato cúprico, aceto arsenito cúprico, cloruro cúprico, nitrato cúprico, oxalato cúprico, sulfato cúprico, sulfato cúprico amoniacal, tartrato cúprico. El cianuro de cobre es considerado como desecho peligroso.

El cobre metálico es un excelente conductor de electricidad y es ampliamente usado en la industria eléctrica. Se emplea en aleaciones con diversos metales (bronce). Varios compuestos orgánicos de cobre son usados en insecticidas, fungicidas, mordientes,

pigmentos, catalizadores y como reactivos analíticos. No es biodegradable (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

Cuando el cobre termina en el suelo este es fuertemente adsorbido por la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como en forma de iones libres.

El cobre no se degrada en el ambiente y por eso se puede acumular en las plantas y animales cuando este es encontrado en los suelos. En suelos ricos en cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Cuando los suelos de las granjas están contaminados con cobre, los animales pueden absorber concentraciones de este que dañan su salud.

4.4.3. Níquel

De acuerdo a la clasificación reportada por Kabata-Pendias y Pendias, (1992) es un elemento cancerígeno, los compuestos de níquel clasificados como sustancias peligrosas son: sulfato amonio de níquel, cloruro de níquel, hidróxido de níquel, nitrato de níquel y sulfato de níquel. El níquel es constituyente de desechos peligrosos según la EPA.

Se usa en la elaboración de amalgamas de níquel con cobre, manganeso, zinc, cromo, fierro, molibdeno, etc. En la elaboración del acero inoxidable se usa aleación de níquel. El elemento níquel es empleado en electroplatinados, en instrumentos dentales, en la elaboración de cerámica y vidrio de color, en la hidrogenación catalítica (Ni Raney) de aceites y grasas, en otras reacciones químicas, y como intermediario en la síntesis de ésteres acrílicos para la elaboración de plásticos. No es biodegradable.

El níquel puede terminar en la superficie del agua cuando es parte de las aguas residuales. La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al ambiente se absorberán por los sedimentos o partículas del suelo y llegará a

inmovilizarse. En suelos ácidos, el níquel se une para llegar a ser más móvil y a menudo alcanza el agua subterránea. No es conocido que el níquel se acumule en plantas o animales. Como resultado el níquel no afecta en gran medida en la cadena agroalimentaria.

4.4.4. Manganeseo

El manganeseo es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente.

Los compuestos de manganeseo tienen muchas aplicaciones en la industria. El dióxido de manganeseo se usa como un agente desecante o catalizador en pinturas y barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas.

El manganeseo es un compuesto muy común que puede ser encontrado en todas partes en la tierra. Es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, si no que también es tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en los humanos. Las comidas que contienen las más altas concentraciones de Mn, son los granos y arroz, las semillas de soya, huevos, frutos secos, aceite de oliva, judías verdes y ostras. Después de ser absorbido en el cuerpo humano, el manganeseo será transportado a través de la sangre al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas.

En plantas, los iones del manganeseo son transportados hacia las hojas después de ser tomados del suelo. Cuando se absorbe poco manganeseo desde el suelo, puede ocasionar alteraciones en los mecanismos de las plantas. El Mn puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas; cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de manganeseo son más comunes (García, 1992).

4.4.5. Plomo

El plomo es un elemento peligrosa según la EPA, los compuestos de plomo considerados por la EPA como sustancias peligrosas son: Acetato de plomo, arsenato de plomo, cloruro de plomo, fluoborato de plomo, fluoruro de plomo, ioduro de plomo, nitrato de plomo, estearato de plomo, sulfato de plomo, sulfuro de plomo y tiocianato de plomo.

Se reporta que el plomo se usa en la fabricación de tanques de almacenamiento, pipas y equipos donde se requiere material resistente a la corrosión. En la industria química en la refinación del petróleo, en la industria de la construcción. También se usa como ingrediente en la soldadura, en la industria automovilística, en la elaboración de tetraetilo de plomo y compuestos orgánicos e inorgánicos, en pigmentos para pinturas y barnices, baterías, vidrio y cristal, vitrales, en el vidriado de cerámica. También se usa en la metalurgia y en varias aleaciones (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por este metal. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del Pb, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presentes. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por este metal.

El Pb es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

4.4.6 Cinc.

Es un elemento considerado por la EPA como sustancia peligrosa en su compuesto de cloruro de cinc y cancerígeno como cromato de cinc. Se usa para preservar la madera, en la refinación de aceite, en el cemento para dentistas, síntesis química, manufactura de pergamino, carbón activado, desodorantes, desinfectantes, tintes y soluciones para

embalsamar. El cromato de cinc se usa como pigmento en la superficie de linoleums. También se usan para dar resistencia a la corrosión de laminados.

El agua es contaminada con cinc, debido a la presencia de grandes cantidades de este en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con cinc en sus orillas, y este metal puede incrementar la acidez de las aguas.

En suelos ricos en cinc sólo un número limitado de plantas tiene la capacidad de sobrevivir. Esta es la razón por la cuál no hay mucha diversidad de plantas cerca de industrias de cinc. Debido a los efectos de este metal sobre las plantas es una amenaza sería para la producción agrícola. El metal puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica posiblemente sea más lenta debido a esto (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

4.4.7. Hierro

Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético. El Fe se encuentra en muchos minerales y esta presente en las aguas freáticas y en la hemoglobina roja de la sangre. El uso más extenso de este metal es para la obtención de aceros estructurales, además de la fabricación de imanes, tintes, pigmentos, pulidores y abrasivos. Es un buen agente reductor y dependiendo de las condiciones, puede oxidarse hasta el estado 2+ 3+ y 6+. El hierro (III)-arsenito pentahidratado puede ser peligroso para el medio ambiente, ya que resulta muy agresivo con las plantas, aire y agua que las contienen (García, 1992).

4.5 Operacionalización de variables

En los objetivos e hipótesis se expusieron conceptos y consideraciones teóricas que intentan explicar la situación problemática de la presente investigación. Sin embargo, dichos conceptos se encuentran a un nivel de contemplación que no permite conocer las características y atributos de los significados que se desean formular.

Sin lugar a dudas, este inconveniente es propio de la teoría que tiene como principales características ser en un sentido explicativa, de generalización y que los conceptos sean analizados a un nivel de abstracción amplio con la finalidad de conocer de manera objetiva la realidad que envuelve el problema de investigación. Fue necesario hacer una definición de variables e indicadores con la finalidad de entender las características y atributos para hacerlas aplicables a la situación que se desea explicar.

A continuación se presenta la definición y operacionalización de las tres variables consideradas en el presente estudio.

Variable 1	Indicadores
<p data-bbox="207 1125 771 1182"><i>Niveles de contaminación con agua residual en suelo y planta</i></p> <p data-bbox="185 1308 305 1335">Definición</p> <p data-bbox="185 1339 797 1640">Es la combinación de contaminantes físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados, que de acuerdo a la cantidad de cada uno en las aguas residuales, pueden ocasionar una afectación al suelo y planta. En el caso del suelo la presencia de los anteriores contaminantes puede ocasionar afectaciones al estado normal del mismo. Y en el caso de la planta, la presencia de cualquier agente externo (contaminante) puede ocasionar afectaciones negativas para su desarrollo.</p>	<p data-bbox="818 1125 1430 1335">1. Contaminantes físicos. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos. Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas.</p> <p data-bbox="818 1339 1430 1549">2. Contaminantes químicos. Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo.</p> <p data-bbox="818 1554 1430 1671">3. Contaminantes microbiológicos. En general, todos los agentes representados por organismos vivos, microorganismos como bacterias, virus, hongos, etcétera.</p> <p data-bbox="818 1675 1430 1881">4. Metales pesados. El término de metal pesado refiere a un elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados son: cadmio (Cd), manganeso (Mn), cobre (Cu), cinc (Zn), níquel (Ni), hierro (Fe) y plomo (Pb). No pueden ser degradados.</p>

Variable 2	Indicadores	Rangos
<p><i>Irrigación con aguas negras en los cultivos de hortalizas (cebolla y cilantro) y forrajes (alfalfa).</i></p> <p>Definición.</p>	<p>1. Desconocimiento de afectación. Falta de información sobre los efectos ocasionados por regar con aguas de mala calidad por parte de los usuarios o en su caso indiferencia.</p>	<p>1) No hay información 2) Indiferencia a la información 3) No hay acceso a la información 4) Falta de alternativas para cambiar esta practica</p>
<p>Actividad realizada por el productor mediante la cual se realiza el regadío de parcelas de rabanito y alfalfa con aguas que no cumplen con la calidad para ser usadas con ese propósito, y pueden crear graves daños al suelo y cultivos en los que son usadas. Esta práctica se lleva a cabo debido a un desconocimiento de los productores acerca de los efectos negativos que ocasiona y por factores de ingreso económico que genera dicha actividad.</p>	<p>2 Ambiente Conjunto de elementos abióticos (suelo y agua) y bióticos (planta) que en su conjunto permiten el desarrollo de la actividad agrícola.</p>	<p>Suelo. a) Absorción de metales pesados b) presencia de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos. c) medio de transporte de metales pesados hacia las plantas.</p> <p>Planta. a) Bioacumulación de metales pesados b) presencia de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos c) medio de transporte de metales pesados hacia animales y seres humanos.</p>
	<p>3. Económico. Son todas las fuentes de ingreso financieras que recibe un productor o una familia, lo cual permite la subsistencia de los mismos</p>	<p>a) La producción hortícola y de forrajes es la actividad económica primaria de la zona de este proyecto. b) Otras actividades económicas no reditúan al mismo nivel que la actividad de producción hortícola y de forrajes. c) La producción de flores irrigadas con aguas negras es una alternativa a la producción de hortalizas y forrajes.</p>

DEFINICIÓN DE RANGOS DE VARIABLE 2

a) Desconocimiento de afectación.	b) Medio ambiente	c) Económico
a1. No hay información. No existe información de ningún tipo que permita conocer las implicaciones de regar con aguas negras.	b1. Absorción de metales pesados en suelo. (Cu, Mn, Zn, Ni, .Pb, .Cd y Fe. Quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.	c1. La producción hortícola y de forrajes es la actividad económica primaria de la zona de este proyecto. De tal manera que dicha actividad da sustento económico a las familias de los productores.
a2. Indiferencia a la información. Existe información, pero a los productores no les interesa conocerla o en su caso la conocen pero no hacen caso de la misma.	b2. Presencia de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos en suelos. Cuando el suelo y la planta cuentan con estos contaminantes en su entorno, estos pueden ocasionar daños a su estado normal de equilibrio.	c2. Otras actividades económicas no reditúan al mismo nivel que la actividad de producción hortícola y de forrajes. Otras actividades económicas (albañilería, ganadería, comercio, etc.) no generan los ingresos que permiten obtener a los productores la producción hortícola y forrajera.
a3. No hay acceso a la información. Existe información con respecto a las afectaciones de regar hortalizas y forrajes, sin embargo, no esta al alcance de los productores o no es entendible para los mismos.	b3. Medio de transporte de metales pesados hacia las plantas. El suelo es el conducto por el cual los metales pesados pueden llegar a las plantas mediante las raíces de las mismas.	c3. La producción de flores irrigadas con aguas negras es una alternativa económica viable a la producción de hortalizas y forrajes. Una alternativa económicamente viable a las producciones de hortalizas y forrajes, irrigadas con aguas negras es la producción de flores con esas aguas, debido a que son productos de ornato y no de consumo animal y humano.
a4. Falta de alternativas para cambiar esta practica. Los productores no tienen información sobre otra actividad económica que permita obtener, a lo menos, el mismo ingreso que obtienen por la producción hortícola y de forrajes.	<p>b4. Bioacumulación de metales pesados en planta. Las plantas (cebolla, cilantro y alfalfa) pueden llegar a incorporar metales pesados por sus raíces y almacenarlos en su estructura foliar y en el fruto en si.</p> <p>b5. (La planta) medio de transporte de metales pesados hacia animales y seres humanos. Los metales pesados que acumula en su estructura la planta (rabanito y alfalfa) pueden ser traspasados a los animales (alfalfa) y humanos (rabanito) por ingestión de los mismos, ocasionando un grave problema para la salud humano, ya que la ingesta de metales pesados en los seres humanos ocasiona una intoxicación lenta pero altamente mortal.</p>	

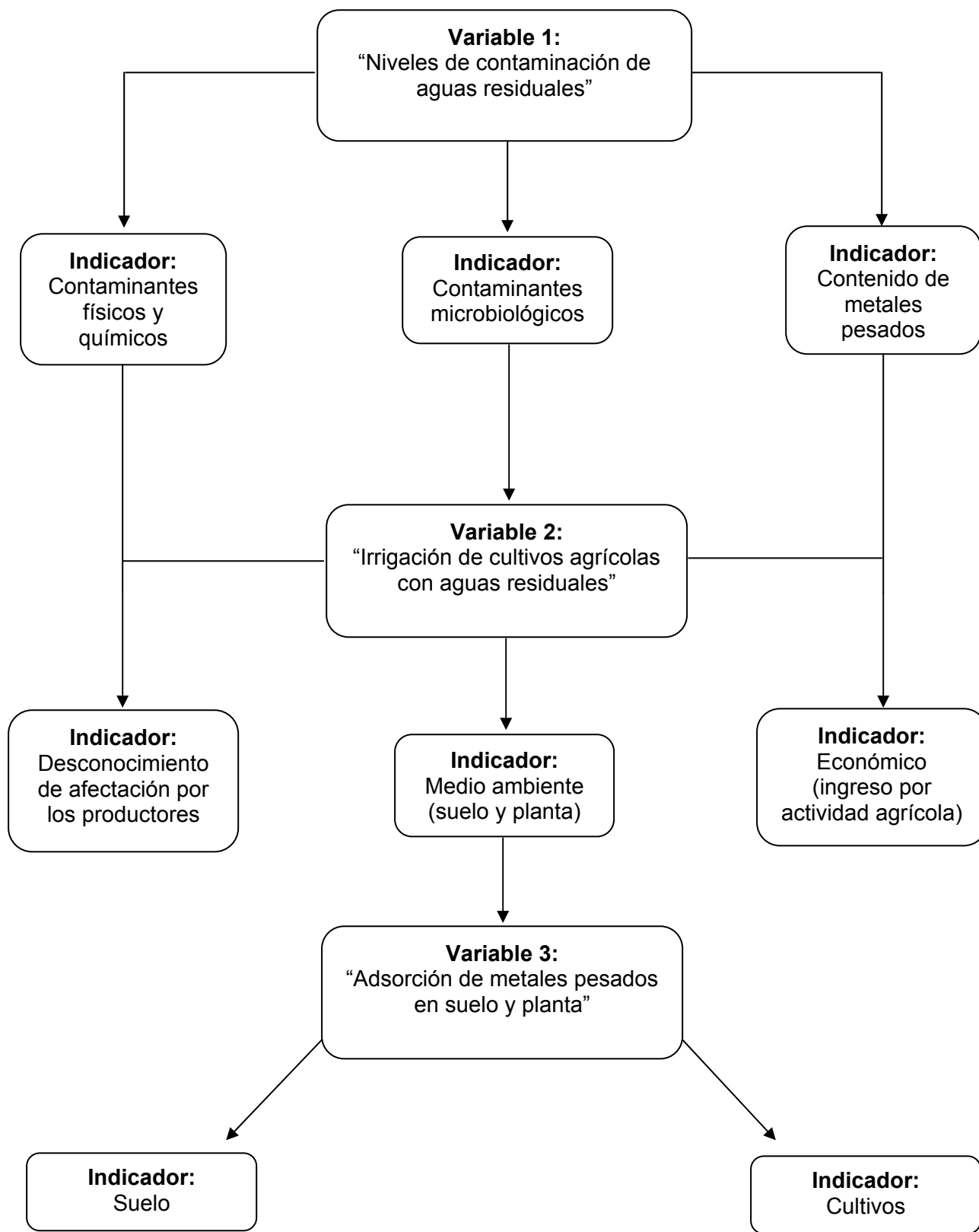
Variable 3	Indicadores
<p data-bbox="191 260 576 359"><i>Absorción e incorporación de metales pesados en suelo y planta</i></p> <p data-bbox="191 428 576 716">Definición. Capacidad con la que el suelo y planta cuentan para absorber e incorporar metales pesados en su estructura mediante el fenómeno de transporte, ocasionando graves problemas para los mismos.</p>	<p data-bbox="610 226 1442 359">Suelo. Los metales pesados (Cu, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd y Fe) incorporados al suelo quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.</p> <p data-bbox="610 436 1442 632">Planta. Los metales pesados son peligrosos porque tienden a acumularse en las plantas. Acumulación significa un aumento en la concentración de un metal pesado (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd) en un organismo biológico (planta: rabanito y alfalfa) que ocasiona en la planta un trastorno para su estado normal de desarrollo.</p>

De acuerdo a lo anterior, la Variable 1: *Niveles de contaminación de agua residual*, esta condicionada por los indicadores: contaminantes físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados, los cuales a su vez pueden ser medidos en tres estratos: agua, suelo y planta. De tal manera que los condicionantes de los niveles de contaminación pueden medirse mediante los análisis de agua, suelo y planta de cada indicador.

En el caso de la Variable 3: *Absorción de metales pesados*, es definida por los únicos estratos que pueden ejercer dicha absorción: el suelo y la planta; de tal manera que los mecanismos de transporte de los metales en cada medio, determinara los niveles de absorción en cada caso.

Por lo que una vez definidas las variables con sus respectivos indicadores, se logro expresar de forma resumida un esquema de la operacionalización de las variables, que a continuación se presenta.

ESQUEMA DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES



Fuente: Elaboración propia

4.6 Literatura citada

Gutiérrez B. R. 2002. Efecto de los metales pesados sobre el comportamiento del frijol en suelos contaminados de Tabasco. Tesis de Maestría en Fisiología Vegetal. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México. 143 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Estados Unidos Mexicanos. II Censo de población y vivienda, 2005. Resultados Preliminares. México, D.F.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales.

NMX-AA-051-SCFI-2001. Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-042-SCFI-2005. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli.

NMX-AA-113-SCFI-1999. Determinación de huevos de helminto.

Pérez S. G. 1994. Investigación cualitativa, retos e interrogantes. Ed. La Muralla. Madrid, España. 53 p.

Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos-Colegio de Postgraduados. SARH-CP. 1986. Diagnostico Agropecuario Regional del CADER Atlixco, Puebla, México. 116 p.

V. EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES

RESEARCH OF HEAVY METALS POLLUTION ON WASTE WATER

¹Efraín Neri Ramírez, ¹Mario Alberto Tornero Campante y ²Noemí Bonilla y Fernández

¹Colegio de Postgraduados Km. 125.5 Carretera Federal México-Puebla, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla 72760, México. Tel./fax: (22) 2-285 14 43; Tel.: (22) 2-285 14 45.

²Departamento de Agroecología y Ambiente – ICUAP - BUAP. Avenida 14 Sur 6301.Col. San Manuel, C. P. 72,570. Tel. 01 (222) 229-55-00 Ext. 7348. Puebla, Pue. efrainneri@colpos.mx

RESUMEN

El estado de Puebla ocupa un lugar relevante a nivel nacional por su actividad agrícola, y en su interior el municipio de Atlixco cuenta con una zona de riego con agua residual proveniente del río Nexapa, altamente productiva en hortalizas, forrajes y ornamentales, pero con un riesgo para los suelos y cultivos, ya que se presenta una contaminación principalmente por metales pesados (MP), como Fe, Cd, Cu, Zn, Ni, Mn y Pb y contaminantes físicos y químicos (pH, CE, CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , B). La contaminación del río Nexapa, efluente del canal Chilhuacán, es ocasionada principalmente por las actividades antropogénicas, tal es el caso de las descargas de aguas residuales, del tipo industrial (textil, metalúrgica, de combustibles fósiles) y doméstica, que tienen su origen en las ciudades de Tlaxcala y Puebla. Con la finalidad de conocer el grado de contaminación de dichas aguas se realizaron tres muestreos, en los tres primeros meses del 2007. Se encontró que la tendencia de los MP fue en orden decreciente: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$ pero en ninguno de los casos superaron el Limite Máximo Permisible (LMP) establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996. En cambio, los contaminantes microbiológicos presentaron concentraciones de coliformes fecales y huevos de helminto muy por encima de lo marcado por la norma antes citada. Así mismo, la calidad de las aguas se clasificaron como C3S1, es decir, no hay problema con sodio pero esta limitada para riego agrícola por un exceso en sales. De manera que las aguas del canal no cuentan con las características óptimas para ser usadas en el riego agrícola y mucho menos para cultivar y producir hortalizas.

Palabras clave: ***Aguas residuales, metales pesados.***

ABSTRACT

The condition of Puebla for his agricultural activity occupies a relevant national place, and to his interior Atlixco's municipality stands out as a highly productive zone in vegetables, forages and ornamental irrigated with waste water to the Nexapa river with an explicit risk since it is believed that a pollution of the waters exists principally for heavy metals. The presence of heavy metals (Fe, Cd, Cu, Zn, Ni, Mn and Pb) and physical and chemical pollutants (pH, electrical conductivity, carbonates, bicarbonates, chlorides, sulfates, calcium, magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), ammonium (NH_4^+) and boron (B), the pollution of the Nexapa river, effluent of the irrigation Chilhuacan channel its caused principally by the man activities, such it is the case of the unloads of waste water, of the industrial type (textile, metallurgical, of fossil fuels) and i domesticates type, that have his origin in Tlaxcala's and Puebla cities. With the purpose of knowing the degree of pollution of the above mentioned waters there were realized three analyses of the factors previously mentioned in three first months of 2007 to determine his presence and one thought that the trend of the heavy metals was of the order of: $Fe > Mn > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$ but in none of the cases they overcame the Maximum Permissible Limit (MPL) established by the NOM-001-SEMARNAT-1996. Not this way in case of the microbiological pollutants since they presented concentrations of fecal coliforms and helminto eggs of very over the marked for the norm before mentioned. In case of the physical and chemical parameters there was obtained that the waters qualify of the type C3S1, that is to say, there is no problem in sodium but this one limited for agricultural irrigation. So that the waters of the channel do not possess the ideal characteristics to be used in the agricultural irrigation and much less in vegetables crops.

Index words: ***Waste water, heavy metals.***

5.1 INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados y microorganismos en aguas de ríos, lagunas, lagos y estuarios es un problema ambiental grave para el uso de estas en la irrigación de cultivos.

El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los metales pesados cadmio (Cd), cobre (Cu), cinc (Zn), níquel (Ni), manganeso (Mn) y plomo (Pb). Estos son componentes naturales de la corteza de terrestre y no pueden ser degradados o destruidos (EPA, 2004).

La presencia de metales pesados en las aguas del río Nexapa, afluente del canal Chilhuacán, es ocasionada principalmente por las actividades antropogénicas, tal es el caso de las descargas de aguas residuales, en su mayoría de las industrias: textil, metalúrgica, de combustibles fósiles, etc., que tienen su origen en las ciudades de Tlaxcala y Puebla, en su paso por el río Atoyac.

El contenido de agentes patógenos en las aguas del canal Chilhuacán, es ocasionado por las descargas de aguas negras de origen urbano, es decir, domésticas, provenientes principalmente de la ciudad de Puebla, aunado a lo anterior, se puede decir que todo el canal recibe descargas de las poblaciones cercanas, aumentando la presencia de estos contaminantes microbiológicos.

Ahora bien, la presencia de estos microorganismos en el agua, representa un peligro directo para los productores que las utilizan para la irrigación de sus cultivos; principalmente forrajes, hortalizas y básicos (Méndez *et al.*, 2000).

De tal manera que, para evaluar esta problemática fue necesario llevar a cabo análisis de metales pesados totales, físicos, químicos y microbiológicos de las aguas del canal Chilhuacán, con el objetivo de identificar la presencia de metales pesados, y evaluar sus concentraciones; ya que de acuerdo con las investigaciones de Flores *et al.*,

(1990), Tamariz *et al.*, (1990), Cajuste *et al.*, (1991), Carrillo *et al.*, (1992), Bonilla *et al.*, (1995), Méndez *et al.*, (2000), Silva *et al.*, (2002) y Navarro, (2005), se sabe de la presencia de: Fe, Cu, Ni, Mn, Pb, Cd y Zn.

Dentro de los análisis microbiológicos realizados en esta investigación se determinaron: coliformes fecales y huevos de helminto. Tanto el aspecto de análisis de metales pesados como de agentes patógenos, son complementados por aspecto de análisis de calidad de las aguas del canal para uso en riego agrícola, con base en los factores propuestos por Palacios y Aceves, (1994).

De manera que estas determinaciones permitieron medir el grado de contaminación de las aguas del canal Chilhuacán, y fijar un criterio de la factibilidad para seguir usando dichas aguas para el uso agrícola, sobre el entendido de que estas son las únicas con las que se cuentan en la zona de estudio.

5. 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta etapa se definieron la zona de estudio, zona de riego, los métodos de análisis y el muestreo de aguas del canal Chilhuacán.

Descripción de la zona estudio

El canal principal Chilhuacán tiene una longitud total de 4.5 km, cuenta con una forma irregular al no estar revestido y ser un canal de tierra, conduce un volumen de 601 l s^{-1} y beneficia a 688 ha y 547 usuarios, repartidas en ocho unidades de riego e igual número de tomas y/o ramales ubicadas a lo largo de la extensión del canal.

La ubicación geográfica del área de estudio en el estado de Puebla y los sitios muestreados en el canal Chilhuacán pueden observarse en las Figuras 3 y 4 respectivamente.

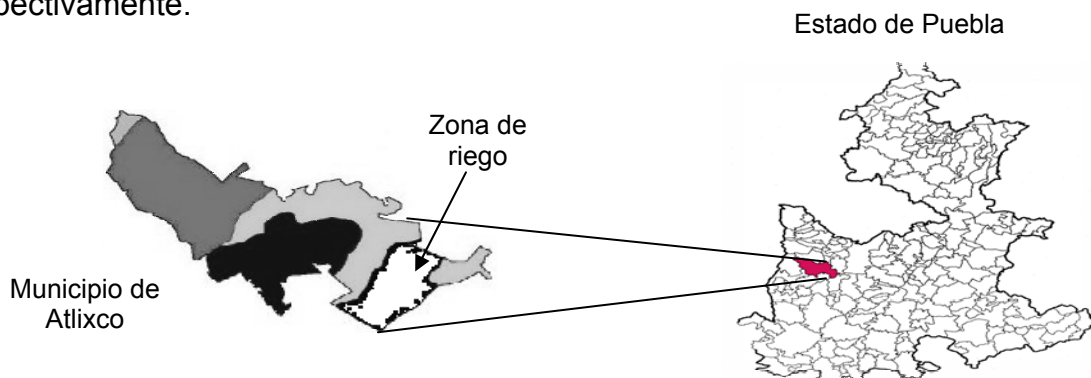


Figura 3. Ubicación geográfica del municipio de Atlixco y zona de riego

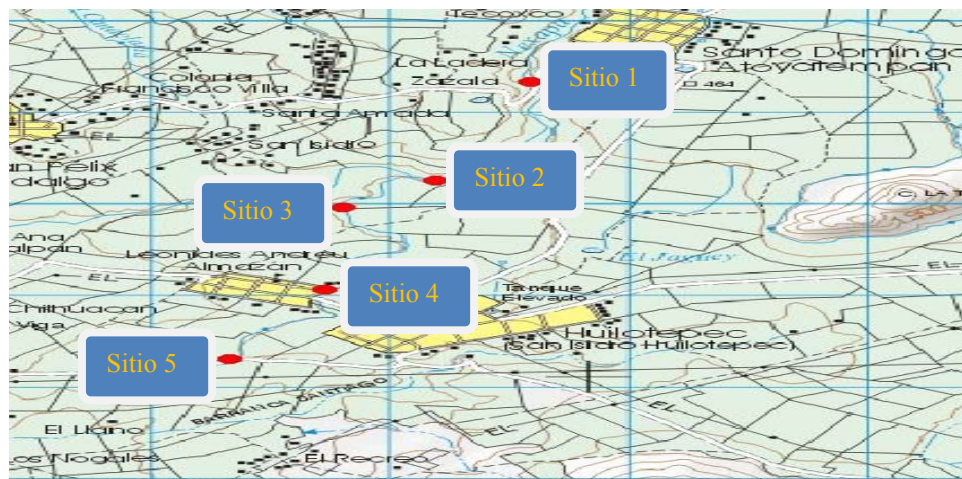


Figura 4. Sitios de muestreo de agua en el canal Chilhuacán

Muestreo en agua

Para seleccionar los sitios de muestreo que se observan en la Figura 4, se segmentaron los 4.5 km que abarca el canal Chilhuacán, en 5 fracciones que representan toda su extensión del canal Chilhuacán, con una distancia entre sitio de 900 m.

Dicha segmentación dio como resultado la elección de 5 sitios de muestreo, que se denominaron: Sitio 1. Inicio del canal, Sitio 2. Primer tramo Revolución, Sitio 3. Tramo medio del canal, Sitio 4. Tramo San Félix y Sitio 5. Final del canal.

El Sitio 4, se encuentra ubicado dentro de la comunidad de San Félix Almazán y el Sitio 5 se localiza en las inmediaciones de asentamientos humanos, por lo que, dichos sitios tienen una mayor relevancia, debido a que las aguas que son conducidas por el canal pasan por en medio o en la periferia de las comunidades.

Cada sitio, corresponde a un tramo de 900 m del canal principal Chilhuacán, que deriva directamente del río Nexapa, en cada uno de los sitios se encuentran tomas de agua para su uso por las 8 unidades de riego del canal. De tal manera, que cada uno de los usuarios puede tener acceso al agua a través de los canales laterales que se desprenden del canal principal.

Una vez seleccionados los sitios de muestreo y la periodicidad, se determinó la frecuencia del muestreo, según lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

La frecuencia del muestreo simple fue de 3 muestras en el mismo número de sitios seleccionados, el número total de muestreos fue de 15 y se efectuaron en la época de estiaje, iniciando el día 21 de febrero la primera toma de muestras, el 21 de marzo la segunda y finalizando el 21 de abril de 2007.

El muestreo se realizó a tres diferentes horas del día (mañana, medio día y tarde) y se tomó en un día normal de operación del canal, cuya muestra representó cuantitativa y cualitativamente los procesos de las actividades que se generan en el efluente, así como las diversas descargas de que son objeto.

En el Cuadro 11 se indican los volúmenes propuestos por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y que se tomaron por cada sitio de muestreo.

Cuadro 11. Volumen de agua requerido por sitio de muestreo

Volumen a tomar por sitio (litros)	Determinación a realizar
5	Análisis de huevos de helminto
0.1	Análisis de coliformes fecales
2	Análisis de metales pesados
2	Análisis de parametros físicos y químicos

Fuente: Elaboración propia.

Muestreo microbiológico

Coliformes fecales

Las muestras para el análisis de coliformes fecales, se tomaron en bolsas esterilizadas de 100 ml de capacidad, preparadas comercialmente con tiosulfato de sodio, las cuales se usaron para contener la muestra de agua para después determinar en el laboratorio número mas probable de coliformes fecales como lo marca la Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2005.

El procedimiento de muestreo fue el siguiente: en primer lugar se tomó la muestra directamente del muestreador (una cubeta de 8 litros) y bajo el agua para evitar acumulación de aire en el interior de la bolsa, una vez llena la bolsa hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad se cerró y se dobló la parte superior hasta sellarla completamente, para después ser puesta en refrigeración en una hielera hasta su posterior análisis en el laboratorio en el mismo día de la toma de muestra.

Huevos de helminto

Para el muestreo de huevos de helminto se utilizaron recipientes de plásticos con una capacidad de 5 litros, que fueron previamente desinfectados con hipoclorito de sodio al 10% (NaClO), lavados con agua potable a chorro y enjuados en repetidas ocasiones con agua destilada, ya que dicho procedimiento es el recomendado por la Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI-1999.

Una vez en los sitios de muestreo se enjuagaron los recipientes con el agua que había de muestrearse, para después ser llenados en su totalidad utilizando una cubeta de 8 litros de capacidad. Y una vez llenos fueron cerrados, sellados y puestos en refrigeración en una hielera hasta su análisis.

Muestreo para determinación de factores físicos y químicos

Para realizar este muestreo se utilizaron recipientes plásticos de 2 litros de capacidad, los cuales fueron previamente desinfectados con una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10% y enjuagados con agua destilada repetidamente.

Al encontrarse en el sitio de muestreo se hizo uso de un muestreador de 8 litros de capacidad, el cual se introdujo en la corriente de agua y se enjuago, esta actividad se repitió 3 veces, tal y como lo marca la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 para el caso de canales y colectores.

Después se introdujo nuevamente el muestreador en el centro del canal, donde el flujo era más turbulento para asegurar un buen mezclado, se tomó una muestra de agua que se transfirió en el recipiente limpio cuidando que la muestra fuera representativa.

Muestreo para determinar metales pesados

Para el muestreo y determinación de metales pesados se utilizaron recipientes de plástico de 2 litros de capacidad, que fueron enjuagados previamente a su uso con una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10% y enjuagados en repetidas ocasiones con agua destilada antes de ser utilizados para muestrear.

Se hizo uso de un muestreador de 8 litros de capacidad, y se repitió el mismo procedimiento para muestreo de aguas residuales en un canal como lo marca la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. No obstante para este caso fue necesario añadir en campo ácido nítrico concentrado (HNO₃) en cada muestra hasta obtener un pH<2, con el objetivo de preservar la muestra hasta su análisis. El volumen de cada muestra tomada fue de aproximadamente 1.5 l.

Normas Mexicanas y métodos usados para las determinaciones de metales pesados, variables físicas, químicas y microbiológicas en agua

En el Cuadro 12, se presenta cada variable determinada a las aguas residuales y el procedimiento que determina el método medición, con atención a las normas mexicanas que rigen la calidad de las aguas.

Cuadro 12. Variable analizada, norma y método

Variable a determinar	Norma	Método
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000	Potenciométrico
CE	NMX-AA-093-SCFI-2000	Conductimétrico
Calcio (Ca ²⁺)	NMX-AA-72-SCFI-2001	Valoración
Magnesio (Mg ²⁺)	NMX-AA-72-SCFI-2001	Valoración
Sodio (Na ⁺)	NMX-AA-050-1981	Flamometría
Potasio (K ⁺)	NMX-AA-050-1981	Flamometría
Cloro (Cl ⁻)	NMX-AA-108-SCFI-2001	Valoración
Boro (B)	NMX-AA-063-1981	Método de la curcumina
Sulfatos (SO ₄ ²⁺)	NMX-AA-074-1981	Método turbidimétrico
Número más probable de coliformes fecales (NMPCF)	NMX-AA-042-SCFI-2005	Método del número más probable
Número de huevos de helminto	NMX-AA-113-SCFI-1999	Diferencia de densidad y solubilidad
Plomo (Pb), Cinc (Zn), Níquel (Ni), Cobre (Cu) y Cadmio (Cd)	NMX-AA-051-SCFI-2001	Método de digestión ácida y determinación por espectrofotometría de absorción atómica

Fuente: Guzmán, 2006

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Metales pesados

Dentro de los análisis más importantes realizados a las aguas del canal Chilhuacán se encuentran la determinación de metales pesados, debido a que dichos contaminantes son los de mayor riesgo debido a lo tóxicos que resultan ser para los suelos y cultivos. De los 3 muestreos realizados en la zona de estudio se desprenden resultados sobre la presencia de estos contaminantes, que a continuación se presentan en los Cuadros 13, 14 y 15.

Primer muestreo

Cuadro 13. Concentración de metales pesados totales en agua encontrados en febrero (mg l⁻¹)

No. Sitio	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
1	1.08	0.02	0.55	0.06	0.01	0.03	ND*
2	1.20	0.02	0.63	0.06	0.03	0.01	0.005
3	1.45	0.01	0.48	0.06	0.03	0.02	ND
4	0.98	0.01	0.50	0.04	0.04	0.02	0.005
5	1.80	0.01	0.40	0.05	0.04	0.02	0.006
Promedio	1.30	0.01	0.51	0.06	0.03	0.02	0.005
LMP*	5	6	NN*	NN	4	1	0.4

Fuente: Análisis de laboratorio. *Limite máximo permisible (LMP) en mg l⁻¹, según la NOM-001-SEMARNAT-1996. No normado (NN). No detectado por el aparato de absorción atómica (ND)

Metales pesados totales encontrados en el canal durante el mes de febrero en el orden decreciente: Fe>Mn>Zn>Ni>Pb>Cu>Cd

En el caso del hierro (Fe), la concentración promedio en los cinco sitios fue de 1.30 mg l⁻¹, el Sitio 5 presentó la más alta concentración con 1.80 mg l⁻¹, y finalmente la concentración más baja se encontró en el sitio 4 con 0.98 mg l⁻¹, este comportamiento fuera de lo común, puede ser ocasionado a que el Sitio 4 recibe descargas domesticas al canal, lo cual puede ocasionar una disolución del Fe en el agua, no obstante en un trayecto no mayor a 900 m se incrementa altamente (Cuadro 14)

En ninguno de los cinco sitios, se presentó una concentración cercana al límite máximo permisible (LMP) marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es 5 mg l^{-1} ; de acuerdo a lo anterior dichas concentraciones no se consideran como de riesgo y/o condicionante para ser usadas en el riego agrícola.

Para el caso del manganeso (Mn), el cual fue el segundo en presencia en cada uno de los sitios, se encontró una concentración promedio de 0.51 mg l^{-1} , este metal presentó la concentración más elevada en el Sitio 2 con 0.63 mg l^{-1} y la concentración más baja se registró en el Sitio 3 con un valor de 0.48 mg l^{-1} , dichas concentraciones se encuentran en niveles normales de acuerdo con el trabajo de Méndez *et al.*, (2000), ya que dicho metal no se encuentra normado.

El cinc (Zn), fue el tercer metal con mayor presencia en los cinco sitios, la concentración promedio fue de 0.06 mg l^{-1} , la concentración más alta se observó en el Sitio 2 con 0.06 mg l^{-1} , y la concentración más baja se registró en el Sitio 4 con 0.04 mg l^{-1} , dichas concentraciones son consideradas como normales según el trabajo de Bonilla *et al.*, (1995), ya que dicho metal tampoco está normado.

El níquel (Ni) registró una concentración promedio de 0.03 mg l^{-1} en los cinco sitios, la mayor concentración de este metal se encontró en el sitio 4 con 0.04 mg l^{-1} y la más baja se encontró en el sitio 1 con 0.011 mg l^{-1} . Observando que dichas concentraciones se encuentran por debajo del LMP marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 de 4 mg l^{-1} , de manera que no puede ser considerada la contaminación por Ni en estas aguas como riesgosa para el riego de cultivos agrícolas.

El plomo (Pb) registró una concentración promedio de 0.02 mg l^{-1} , la cual se repite en los Sitios 3, 4 y 5, la concentración más alta fue la del Sitio 1 con 0.02 mg l^{-1} y la concentración más baja se presentó en el Sitio 2 con 0.01 mg l^{-1} . De acuerdo a las concentraciones encontradas y comparándolas con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 se puede mencionar, que las concentraciones encontradas están por debajo del LMP, al compararlos con los resultados encontrados por Carrillo *et al.*,

(1992) y Méndez *et al.*, (2000), el contenido de Pb en agua encontrado puede llegar a ser peligroso a largo plazo debido a su capacidad de trasladarse del agua a los suelos y plantas e incorporarlos a la cadena trófica.

Para el cobre (Cu), se observó una concentración promedio de 0.01 mg l^{-1} , las concentraciones más altas que se encontraron fueron en los Sitios 1 y 2 con un valor de 0.02 mg l^{-1} , las concentraciones más bajas se presentaron en los Sitos 3, 4 y 5 con 0.01 mg l^{-1} .

Las concentraciones registradas se encuentran muy por debajo del LMP que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 6 mg l^{-1} , por lo cual el contenido de Cu en agua no es considerado como una limitante para hacer uso del agua para riego agrícola.

El caso del cadmio (Cd), se registró una concentración promedio de 0.005 mg L^{-1} , la concentración más alta se presentó en el sitio 5 con 0.006 mg l^{-1} , y la concentración más baja en los Sitio 2 y 4 con 0.005 mg l^{-1} , las cuales están muy por debajo del LMP, ya que dichos valores fueron apenas detectables por la absorción atómica. En los Sitios 1 y 3 no se detectó presencia de este metal.

Segundo muestreo

A partir de este segundo muestreo realizado en el mes de marzo, se hizo un cambio en el método de determinación, ya que se utilizó un litro de muestra en la digestión ácida, en lugar de los 100 ml utilizados en el primer análisis de metales pesados totales; con el objetivo de concentrar un mayor volumen de muestra, ya que en el primer muestreo se encontraron concentraciones muy bajas que se contraponen a las encontradas en trabajos anteriores.

Cuadro 14. Concentración de metales pesados totales en agua, encontrados en marzo (mg l⁻¹)

No. Sitio	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
1	0.11	0.02	0.14	0.06	0.01	0.02	ND*
2	0.15	0.01	0.14	0.06	0.04	0.02	ND
3	0.18	0.01	0.14	0.06	0.03	0.01	ND
4	0.11	ND	0.12	0.04	0.03	0.02	ND
5	0.29	0.01	0.15	0.05	0.03	0.02	ND
promedio	0.17	0.01	0.14	0.05	0.03	0.02	ND
LMP*	5	6	NN*	NN	4	1	0.4

Fuente: Análisis de laboratorio. *Limite máximo permisible (LMP) en mg l⁻¹, según la NOM-001-SEMARNAT-1996. No normado (NN). No detectado por el aparato de absorción atómica (ND)

De acuerdo con los resultados encontrados en el agua residual en el segundo muestreo llevado a cabo en el mes de marzo se pudo observar lo siguiente:

Los metales pesados totales que se encontraron en el canal durante el mes de marzo en el orden decreciente fueron: Fe>Mn>Zn>Ni>Pb>Cu>Cd

El Fe fue el metal con mayor presencia en los cinco sitios en este muestreo al igual que en el primero, presentó una concentración promedio de 0.17 mg l⁻¹, la concentración más elevada se registró en el Sitio 5 con 0.29 mg l⁻¹ y la concentración más baja se presentó en los Sitios 1 y 4 con 0.11 mg l⁻¹.

Las concentraciones halladas en este muestreo, se encuentran muy por debajo del LMP marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 5 mg l⁻¹, sin embargo se consideran dentro de lo normal según algunos autores como Méndez *et al.*, (2000).

Es necesario comentar que el hierro sufrió una disminución considerable en su concentración promedio en comparación con lo encontrado en el primer muestreo, dicha variación fue de 1.30 mg l⁻¹ a 0.17 mg l⁻¹, esta baja de concentración de un mes a otro indica que en el transcurso de treinta días el contenido de Fe en agua se redujo considerablemente debido a su posible sedimentación, por los niveles alcalinos del agua.

El Mn fue el segundo metal con mayor contenido en los cinco sitios de este muestreo de igual forma que en el primero, presentó una concentración promedio de 0.14 mg l^{-1} , la concentración más elevada se registró en el sitio 5 con 0.14 mg l^{-1} y la menor concentración fue en el sitio 4 con 0.11 mg l^{-1} .

El contenido de Mn en agua, se encuentra dentro de los niveles normales de un agua para ser usada en la irrigación de cultivos agrícolas según los autores citados en este trabajo, ya que dicho metal no está normado. A pesar de que Méndez *et al.*, (2000), encontraron que este metal excedía los límites máximos permisibles de la NOM-NTE-032-91 en las aguas del río Atoyac el cual es efluente del río Nexapa y posteriormente del canal Chilhuacan.

Al comparar la concentración promedio de este metal con la del primer muestreo se observó que el promedio se mantiene prácticamente igual en este segundo muestreo, que indica que no se presentaron cambios significativos en función del tiempo en cada uno de los sitios.

El Zn fue el tercer metal con mayor contenido en los 5 sitios muestreados al igual que en el primero, registró una concentración promedio de 0.05 mg l^{-1} , la concentración más elevada se presentó en el sitio 2 con 0.06 mg l^{-1} y la menor concentración se observó en el sitio 4 con 0.04 mg l^{-1} .

El contenido de Zn en el agua muestreada se encuentra en niveles muy bajos, de acuerdo a los autores referenciados en este trabajo de investigación, por lo cual se puede decir que este metal no representa una amenaza de contaminación para ser usada como agua de riego agrícola, al contrario es considerado como un micronutriente esencial en los cultivos.

Al comparar la concentración promedio con la que se encontró en el primer muestreo, no se observaron cambios significativos en cuanto al contenido de Zn en agua en función del tiempo.

El Ni fue el cuarto metal con mayor contenido en los 5 sitios muestreados al igual que en el primero, presentó una concentración promedio de 0.03 mg l^{-1} , la más alta concentración se registró en el sitio 2 con 0.04 mg l^{-1} y la más baja se observó en el sitio 1 con 0.01 mg l^{-1} .

El contenido de Ni en agua comparado con el LMP que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 4 mg l^{-1} se encuentra por debajo en cada uno de los sitios, además de ser inferior a lo valores registrados por otros autores en trabajos anteriores; como el de Bonilla *et al.*, (1995), que encontraron que este metal excedía la concentración máxima aceptable para la Comunidad Europea (CE) en las aguas del río Nexapa, sin embargo en esta investigación las concentraciones de níquel se mantuvieron por debajo de los límites.

Al comparar las concentraciones de este metal con las del primer muestreo, se encontró que el contenido de Ni se mantiene constante en función del tiempo, es decir, se mantiene el mismo promedio en el segundo muestreo. Lo cual indica que este metal mantiene un contenido constante a través de los sitios del canal en los dos muestreos.

El Pb fue el siguiente metal con más presencia en los 5 sitios muestreados al igual que en el primer muestreo, presentó una concentración promedio de 0.02 mg l^{-1} , la mayor concentración se registró en los sitios 1, 2, 4 y 5 con 0.02 mg l^{-1} y la menor concentración se observó en el sitio 3 con 0.01 mg l^{-1} .

El contenido de Pb en agua comparado con el LMP marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 1 mg l^{-1} se encuentra por debajo en cada uno de los sitios muestreados, sin embargo de acuerdo con algunos autores Cajuste *et al.*, (1991) y Carrillo *et al.*, (1992) en trabajos realizados en el Valle del Mezquital, Hidalgo, la simple presencia de este metal ya es un indicador de contaminación y no es recomendable regar con estas aguas debido a posibles efectos a largo plazo, como es su acumulación en los suelos y posibles adsorción por los cultivos.

Al comparar los datos obtenidos de Pb con los del primer muestreo, se observó que al igual que el Ni, el contenido no tuvo diferencias significativas entre ambos muestreos, ya que el promedio en ambos casos se mantuvo en 0.02 mg l^{-1} ; lo anterior permite decir que el contenido de Pb en agua tuvo un comportamiento similar de un mes a otro.

El Cu fue el siguiente metal con mayor presencia en los 5 sitios al igual que en el primer muestreo, registró una concentración promedio de 0.01 mg l^{-1} , la concentración más alta se registró en el sitio 1 con 0.02 mg l^{-1} y no se detectó concentración alguna de este metal en el sitio 4.

El contenido de Cu en agua comparado con el LMP marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 6 mg l^{-1} , se encuentra muy por debajo en cada uno de los sitios, por lo que no representa un riesgo ambiental, por contenido de Cu al regar con estas aguas cultivos agrícolas.

Al comparar las concentraciones obtenidas en este muestreo con el primero, se encontró que al igual que en el caso anterior los valores promedios registrados en uno y otro muestreo se mantienen con cierta paridad.

Y finalmente en el segundo muestreo, no se detectó mediante el aparato de espectrofotometría de absorción atómica, contenido alguno de Cd, pero debido a la peligrosidad de este metal y al hecho de que se encontraron bajas concentraciones de este en el primer muestreo, no es recomendable regar con estas aguas por posibles efectos negativos a lo largo del tiempo.

Tercer muestreo

En el último muestreo se logró establecer una tendencia en cuanto al comportamiento de los metales pesados totales en agua, en función de los diferentes sitios y meses de muestreo. Los resultados del tercer muestreo se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Concentración de metales pesados totales en agua, encontrados en abril (mg l⁻¹)

Sitio	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
1	0.14	0.01	0.30	0.06	0.02	0.05	ND*
2	0.16	0.02	0.33	0.06	0.03	0.04	ND
3	0.20	0.01	0.33	0.05	0.03	0.04	ND
4	0.11	0.01	0.35	0.04	0.04	0.05	ND
5	0.30	0.01	0.65	0.05	0.03	0.03	ND
promedio	0.18	0.01	0.39	0.05	0.03	0.04	ND
LMP*	5	6	NN*	NN	4	1	0.4

Fuente: Análisis de laboratorio. *Limite máximo permisible (LMP) en mg l⁻¹, según la NOM-001-SEMARNAT-1996. No normado (NN). No detectado por el aparato de absorción atómica (ND).

Los metales pesados totales que se encontraron en las aguas del canal, en orden decreciente: Mn>Fe>Zn>Pb>Ni>Cu>Cd

A diferencia de los dos primeros muestreos, en este tercer muestreo el Mn fue el metal con mayor contenido en cada uno de los sitios, la concentración promedio de este metal fue de 0.39 mg l⁻¹, la concentración más elevada se registró en el Sitio 5 con 0.65 mg l⁻¹ y la concentración más baja se observó en el Sitio 1 con 0.3 mg l⁻¹, este comportamiento puede ser ocasionado por las diversas descargas que recibe el canal en el trayecto del Sitio 1 al Sitio 5. El contenido de Mn en agua se encuentra dentro de los rangos normales que encontraron Méndez *et al.*, (2000). Este metal no está normado.

El Fe fue el segundo metal con mayor contenido en cada uno de los sitios en este muestreo, sin embargo en los anteriores muestreos había sido el primero, la concentración promedio de este metal fue de 0.18 mg l⁻¹, la concentración más alta se registró en el sitio 5 con 0.30 mg l⁻¹ y la concentración más baja se observó en el sitio 4 con 0.11 mg l⁻¹.

El contenido de Fe en agua comparado con el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 5 mg l⁻¹, está por debajo en cada uno de los sitios, por lo cual no representa un problema este metal para regar cultivos con estas aguas.

El Zn fue el tercer metal con mayor contenido en cada uno de los sitios en este muestreo al igual que en los dos meses anteriores, la concentración promedio de este metal fue de 0.05 mg l^{-1} , la concentración más elevada se registró en el sitio 2 con 0.06 mg l^{-1} y la concentración más baja se observó en el sitio 4 con 0.04 mg l^{-1} . El contenido de Zn en agua se encuentra dentro de los rangos normales encontrados por Navarro, (2005), ya que el Zn no se encuentra normado.

El Pb fue el cuarto metal con mayor contenido en cada uno de los sitios en este muestreo, su concentración fue de 0.04 mg l^{-1} , la más alta se registró en el sitio 1 con 0.05 mg l^{-1} y la más baja se observó en el sitio 5 con 0.02 mg l^{-1} .

El contenido de Pb en agua comparado con el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 1 mg l^{-1} , esta por debajo en cada uno de los sitios, sin embargo la presencia de este metal pesado no es recomendable para regar cultivos debido a posibles afectaciones ambientales a lo largo del tiempo.

El Ni fue el quinto metal con mayor presencia en cada uno de los sitios en el tercer muestreo, la concentración promedio de este metal fue de 0.03 mg l^{-1} , la concentración más elevada se registró en el sitio 4 con 0.04 mg l^{-1} y la concentración más baja se observó en el sitio 1 con 0.01 mg l^{-1} . El contenido de Ni en agua comparado con el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 4 mg l^{-1} , esta por debajo en cada uno de los sitios, por lo cual este metal no representa un problema para usar estas aguas en la irrigación de cultivos.

El Cu es el sexto metal con mayor contenido en los cinco sitios en este muestreo, la concentración promedio de este metal fue de 0.01 mg l^{-1} , la concentración más elevada se registro en el sitio 2 con 0.02 mg l^{-1} y la concentración más baja se observó en los sitios 1, 3, 4 y 5 con 0.01 mg l^{-1} .

El contenido de Cu en agua comparado con el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 6 mg l^{-1} , esta por muy por debajo en cada uno de los sitios, por lo cual este metal no representa un problema para usar estas aguas en la irrigación de cultivos.

Finalmente no se detecto contenido de Cd en ninguno de los sitios en el tercer muestreo, no obstante el Cd presentó un comportamiento variable en los tres muestreos, ya que inicio con una concentración promedio de 0.005 mg l^{-1} para después sufrir un decremento hasta no ser detectado por la espectrofotometría de absorción atómica en los dos restantes muestreos, dicho comportamiento con tendencia a decrecer puede deberse a factores ambientales como la temperatura, el pH y el grado de dilución del agua a lo largo de los meses, así como a la disminución de descargas de las industrias que usan este metal como materia prima para sus procesos.

Variación de la concentración de metales pesados en el tiempo

Una vez presentados los resultados de las concentraciones de metales pesados en los tres muestreos, se presenta a continuación la variación que tuvieron estos a lo largo del tiempo.

Mn

Al comparar los resultados obtenidos en el contenido de este metal pesado en los tres muestreos, se puede señalar que la concentración promedio más elevada se presentó en el mes de febrero con 0.51 mg l^{-1} , en el mes de marzo se redujo hasta 0.14 mg l^{-1} y en abril se registró un promedio de 0.39 mg l^{-1} , la inconsistencia de su comportamiento en las aguas puede deberse a factores ambientales como la temperatura y el pH, así como a factores de origen de estas aguas, ya que el Mn es usado como catalizador en la industria textil, y las aguas del río Nexapa reciben descargas de este tipo.

Fe

Al comparar las concentraciones promedio de Fe en los tres muestreos, se puede señalar que en el primero se registró una concentración promedio de 1.30 mg l^{-1} , en el segundo de 0.17 mg l^{-1} y en el tercero de 0.18 mg l^{-1} ; por lo que del primer muestreo al

segundo se presentó un decremento considerable en la concentración, que pudo ser ocasionado a una mayor disolución del Fe en el agua; o también a una disminución en las descargas hacia las aguas del río Nexapa, debido a que el Fe es usado en la industria textil en la fabricación de tintes. Sin embargo en el mes de abril (tercer muestreo) su contenido en agua se mantuvo en un nivel bajo, al igual que en el mes de marzo.

Zn

Si se hace una comparación de las concentraciones promedio de los 3 muestreos, se tiene que en el mes de febrero se presentó una concentración de 0.06 mg l^{-1} , en el mes de marzo de 0.05 mg l^{-1} y finalmente en el mes de abril se repitió el valor de 0.05 mg l^{-1} , las variaciones de contenido de Zn en función del muestreo permite decir que el metal mantiene un comportamiento semejante en cada mes, con una tendencia a una baja de concentración.

Pb

El Pb presentó una concentración promedio de 0.02 mg l^{-1} en los dos primeros muestreos y se incremento hasta 0.04 mg l^{-1} en el tercer muestreo, lo cual indica que a partir del mes de abril, se duplico el contenido de este metal, tal vez debido a que dicho metal es muy usado en la industria de acumuladores, textil, elementos de construcción, etc., los cuales pueden ser vertidos mediante descargas en las aguas del río Nexapa.

Ni

Al comparar el contenido de Ni en los meses de febrero, marzo y abril, se encontró que el valor promedio de la concentración de este metal se mantuvo en 0.03 mg l^{-1} , lo cual implica que dicho valor promedio se mantuvo constante a lo largo de los tres meses.

Cu

Este metal pesado presentó un comportamiento prácticamente sin cambios en los tres muestreos, es decir, mantuvo en los tres meses una concentración promedio de 0.01 mg l^{-1}

Cd

Para el caso del cadmio, sólo se detectó una concentración promedio de 0.005 mg l⁻¹ correspondiente al primer muestreo, ya que tanto en el segundo como tercer muestreo, ya no fue detectada su presencia en las aguas del canal Chilhuacán.

Análisis de varianza de metales pesados

Para dar un sustento más claro del comportamiento de los metales pesados totales en agua, se llevó a cabo un análisis de varianza y una comparación de medias, en base a los sitios de muestreo (5 Sitios) y los meses de muestreo (febrero, marzo y abril), todo lo anterior mediante la utilización del software estadístico (SAS). Los resultados de los análisis de varianza realizados a los metales pesados se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Análisis de varianza de los metales pesados, en función del mes de muestreo

Parámetro	Nivel de significancia	
	5%	1%
Fe		0.0001
Mn	0.0022	
Zn		0.0021
Pb		0.0003

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados del análisis de varianza, se observa que sólo algunos de los parámetros determinados en las aguas del canal Chilhuacán, sufrieron algún tipo de cambio en base al tiempo (mes de muestreo) y el espacio (sitio de muestreo); se registraron casos que tuvieron variación tanto en el tiempo como en el espacio tal fue el caso del Zn que tuvo una alta significancia, es decir, menor al 1% en ambos casos.

Solo algunos metales pesados presentaron variación en función del tiempo tal fue el caso de: Pb, Zn y Fe con un nivel elevado de significancia (menor al 1%), lo cual indicó que estos parámetros tuvieron una variación considerable en cuanto a las concentraciones, ya sea disminuyendo o aumentando en función del tiempo.

Para el Mn, el nivel de significancia del análisis de varianza fue del 5%, lo cual indicó los cambios en las concentraciones que se presentaron, en función de los meses de muestreo fueron considerables.

Cuadro 17. Análisis de varianza de los metales pesados, en función del sitio de muestreo

Parámetro	Nivel de significancia	
	5%	1%
Cu	0.0136	
Zn		0.0001
Ni		0.0008

Fuente: Elaboración propia

Como se observó en el Cuadro 17, algunos metales tuvieron variación en las concentraciones en función de los sitios de muestreo, tal fue el caso de: Zn y Ni con un alto nivel de significancia, es decir, al nivel de 1% de probabilidad. Y en el caso del Cu registró una variación en su contenido con una significancia menor al nivel de 5% de probabilidad.

Cinco metales pesados de los seis en los que se llevó a cabo este análisis de varianza, experimentaron algún tipo de cambio en su contenido, tanto en función de los meses en que fueron colectados como del sitio en el cual fueron muestreados; algunos presentaron una variación mas elevada (1% de probabilidad) lo cual indica la alta incidencia que tuvo en su comportamiento, ya sea el tiempo o el sitio de muestreo.

En el aspecto de la comparación de medias en función del tiempo, se observó que solo algunos de los metales pesados sufrieron cambio en su concentración en el tiempo, y algunos otros se mantuvieron en concentraciones estadísticamente iguales a lo largo de los meses de muestreo. Los resultados encontrados se presentan en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Análisis de medias en metales pesados, en función del mes de muestreo

Metal pesado	Febrero	Marzo	Abril
Fe	0.3020a	0.1658b	0.1800b
Mn	0.5100a	0.1366b	0.3900a
Zn	0.0556a	0.0544a	0.0498b
Pb	0.0182b	0.0172b	0.0398a

Fuente: Elaboración propia

El Fe en el mes de febrero (primer muestreo) presentó la concentración más alta, de acuerdo a la comparación de medias, sin embargo en los meses de marzo y abril, la variación de las concentraciones no presento una diferencia significativa entre sí, lo cual indica que se mantuvieron en un nivel estadísticamente igual, y de menor valor que en el primer muestreo, es decir, la concentración disminuyó con el transcurso del tiempo, debido a una posible sedimentación de este metal, ocasionada por las condiciones alcalinas de las aguas (Cuadro 18).

El Mn presentó su mayor contenido en el primer y último muestreo, correspondientes al mes de febrero y abril, de acuerdo a la comparación de medias, se estableció que no hubo una diferencia significativa entre ambos muestreos, y en el mes de marzo se dio un descenso en cuanto a la concentración de este metal, lo cual indica que las aguas tuvieron una menor presencia de Mn en este mes, causada por la posible sedimentación de este metal por las condiciones básicas de las aguas del canal Chilhuacán en este mes.

El Zn tuvo las mayores concentraciones en los meses de febrero y marzo, ya que según la comparación de medias, estos meses tuvieron concentraciones estadísticamente iguales, es decir, no hubo diferencias significativas en las concentraciones en los dos primeros muestreos, y en el mes de abril se dio un descenso de la concentración de este metal, lo cual puede ser ocasionado por la aparición de lluvias tempranas en este muestreo.

El Pb tuvo las concentraciones más elevadas en los primeros dos meses, ya que la comparación de medias, registro que ambos meses tuvieron medias estadísticamente

iguales, y el mes de abril presento una media de concentración menor y diferente a las primeras dos; lo cual puede ser ocasionado por la aparición de lluvias y una posible sedimentación por las condiciones básicas de las aguas.

Para los casos de los metales Cu, Zn y Ni, no presentaron variaciones significativas en función del tiempo, por lo cual no están consideradas en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Análisis de medias en metales pesados en función de los sitios de muestreo

Metal pesado	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Cu	0.0160a	0.0146a	0.0106b	0.0090b	0.0066b
Zn	0.0596a	0.0616a	0.0563b	0.0393d	0.04933c
Ni	0.0120b	0.0340a	0.0286a	0.0350a	0.0340a

Fuente: Elaboración propia

En primer metal que registró variaciones en sus concentraciones a lo largo de los sitios fue el Cu, en el cual se encontraron dos grupos diferentes, es decir, el sitio 1 y 2 fueron estadísticamente iguales, y a la vez presentaron las concentraciones más elevadas de este metal. Los sitios 3, 4 y 5 formaron otro grupo que engloba, medias de concentración iguales estadísticamente entre si y engloban las concentraciones más bajas de Cu en función de los sitios, lo cual es un indicador de que la concentración de Cu, disminuye en función de la distancia entre los sitios de muestreo, porque conforme las aguas recorren la longitud total del canal, estas son depuradas de forma natural.

En el caso del Zn, se observó una variación en sus concentraciones a lo largo de los 5 sitios, en el cual se encontraron 4 grupos diferentes en función de sus medias, es decir, el sitio 1 y 2 forman el grupo con mayor concentración y estadísticamente iguales; los sitios 3, 4 y 5 son menores y estadísticamente diferentes unos de otros. Lo cual es un indicador de que la concentración de Zn, disminuye en función de la distancia entre sitios al igual que en caso del cobre.

Para el caso del Ni, éste presentó una variación en sus concentraciones a lo largo de los 5 sitios, se encontraron dos grupos diferentes en función de sus medias, es decir, el sitio 1 agrupa las menores concentraciones de este metal, los sitios 2, 3, 4 y 5 agrupan

las mayores concentraciones y además estadísticamente iguales. Lo anterior es indicador de que la concentración de Ni, aumenta en función de la distancia entre sitios, asemejándose al comportamiento de los dos metales anteriores

Clasificación del agua de riego de acuerdo a su calidad con fines de riego para cultivos agrícolas

Se realizaron análisis de los factores físicos y químicos del agua del canal, con la finalidad de establecer la calidad de las mismas para ser usadas en la irrigación de cultivos. Dentro de los parámetros determinados sobresalen el pH, conductividad eléctrica (CE), carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), amonio (NH_4^+) y boro (B)., para determinar de mejor forma el comportamiento de los anteriores factores, se realizaron tres muestreos al igual que el caso de los metales pesados., los resultados de los análisis se observan en los Cuadros 20, 21 y 22.

La clasificación de las aguas de riego para cultivos agrícolas, se realizó con base en lo referido por Palacios y Aceves, (1994), de acuerdo con las características físicas y química; las cuales determinan su calidad.

Primer muestreo

Como resultado del primer muestreo y su posterior análisis se obtuvieron los valores que caracterizan a las aguas como condicionadas para uso agrícola, de tal manera que en el Cuadro 20 se presentan los resultados del mes de febrero.

Cuadro 20. Clasificación de la calidad del agua utilizada para el riego agrícola (febrero)

Parametro	Unidades	SITIOS					\bar{X}
		1	2	3	4	5	
pH	unidades de pH	7.80	7.95	8.13	7.92	7.95	7.95
CE	$\mu\text{mhos/cm}$	1410	1300	1360	1360	1300	1346
Ca ²⁺	me l ⁻¹	5.40	6.48	6.21	6.35	4.86	5.86
Mg ²⁺	me l ⁻¹	2.43	1.89	1.89	2.29	3.24	2.35
K ⁺	me l ⁻¹	0.58	0.57	0.58	0.60	0.62	0.59
Na ⁺	me l ⁻¹	4.76	4.76	4.94	4.76	4.41	4.73
Σ de cationes	me l ⁻¹	9.87	9.45	10.31	9.38	8.81	9.56
CO ₃ ²⁻	me l ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	me l ⁻¹	2.16	2.23	2.09	2.16	2.09	2.15
HCO ₃ ⁻	me l ⁻¹	7.50	7.00	8.00	7.00	6.50	7.20
SO ₄ ²⁻	me l ⁻¹	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Σ de aniones	me l ⁻¹	14.55	14.78	15.00	15.38	14.73	14.89
CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ²⁺	%	65.29	60.89	66.66	58.51	61.09	62.49
RAS	me l ⁻¹	2.40	2.30	2.50	2.30	2.20	2.34
SE	me l ⁻¹	6.70	6.40	6.90	6.70	6.60	6.66
SP	me l ⁻¹	2.40	2.50	2.30	2.40	2.30	2.38
PSP	%	70.83	74.26	71.49	70.62	66.52	70.74
B	ppm	1.45	1.38	1.30	1.28	1.26	1.33
Clasificación de acuerdo al RAS y CE		C3-S1	C3-S1	C3-S1	C3-S1	C3-S1	C3-S1
Clasificación del agua para riego		Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada

Fuente: Análisis de laboratorio

De acuerdo a lo observado en el Cuadro 20, se presentó un pH promedio de 7.95 en los cinco sitios muestreados, que permite decir que las aguas del canal tuvieron una tendencia hacia la alcalinidad, registrando en el Sitio3 el pH más elevado con 8.13 y el más bajo en el sitio 1 con 7.80.

La conductividad eléctrica promedio en los cinco sitios muestreados fue de 1346 $\mu\text{S cm}^{-1}$, se registro el nivel más alto de CE en los sitios 3 y 4 con 1360 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el nivel más bajo en el sitio 5 con 1300 $\mu\text{S cm}^{-1}$, lo cual implica que las aguas presentaron problemas de salinidad en este mes en particular.

No hubo registro de CO_3^{2-} en este muestreo, debido a los niveles bajos de pH, no obstante en el caso de los HCO_3^- presentó un valor promedio de 7.20 me l^{-1} en los sitios muestreados, registrando su concentración más alta en el Sitio 3 con 8 me l^{-1} y la más baja en el Sitio 5 con 6.50 me l^{-1} . En el caso de Cl^- presentó una concentración promedio de 2.14 me l^{-1} , mostrando su concentración más alta en el Sitio 2 con 2.23 me l^{-1} y la más baja en el Sitio 3 con 2.09 me l^{-1} , para el caso de los SO_4^{2-} presentaron un valor promedio de 0.22 me l^{-1} , presentando su concentración más alta en los Sitios 2, 3, 4 y 5 con 0.22 me l^{-1} y la más baja en el Sitio 1 con 0.21 me l^{-1} .

El Ca^{2+} presentó una concentración promedio de 5.86 me l^{-1} , y registro su nivel más alto en el Sitio 2 con 6.48 me l^{-1} y el más bajo en el Sitio 5 con 4.86 me l^{-1} . En el caso del Mg^{2+} registró una concentración promedio de 2.35 me l^{-1} , la concentración más alta se registró en el Sitio 5 con 3.24 me l^{-1} y la más baja en los Sitios 2 y 3 con 1.89 me l^{-1} . En el caso del Na^+ presentó la concentración más elevada en el Sitio 4 con 4.94 me l^{-1} y la más baja en el Sitio 5 con 4.41 me l^{-1} , y registró una concentración promedio de 4.72 me l^{-1} .

El K^+ registró la concentración más baja en el Sitio 2 con 0.57 me l^{-1} y la más alta en el Sitio 5 con 0.62 me l^{-1} , con una concentración promedio de 0.59 me l^{-1} . Para el caso del NH_4^+ presentó una concentración promedio de 1.36 me l^{-1} , con una concentración de 1.08 me l^{-1} , en el Sitio 2 como la más baja y con 1.60 en el Sitio 5 como la más alta. Finalmente el B registró una concentración promedio de 0.37 me l^{-1} , presentando su concentración más alta en el Sitio 1 con 0.40 me l^{-1} y la más baja en el Sitio 5 con 0.34 me l^{-1} .

De manera que para los cinco sitios muestreados en el mes de febrero de las aguas del canal Chilhuacán, se determinaron los factores de salinidad de agua con la finalidad de clasificar el agua de riego con base en la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS) y en todos los casos se registro una clasificación C3-S1.

El termino C3, según Palacios y Aceves, (1994), refiere que el agua de este tipo es altamente salina, y no es recomendable para usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo por tanto sembrar cultivos tolerantes a las sales.

La clasificación S1 indica que son aguas bajas en sodio, por lo tanto pueden usarse para riego en la mayoría de los suelos, presentando poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio. Sin embargo, de acuerdo con los índices de salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), por ciento de sodio posible (PSP), contenido de boro (B) y contenido de cloruros (Cl^-), estas aguas se clasificaron como *condicionadas* para su aprovechamiento en riego de cultivos agrícolas. De acuerdo a los factores anteriores, estas aguas no se recomiendan para ser empleadas directamente y de manera permanente en el riego de la mayoría de los suelos y cultivos bajo las prácticas usuales de manejo.

Segundo muestreo

En el mes de marzo se realizó el segundo muestreo de aguas residuales del canal Chilhuacán, con el objetivo de llevar a cabo los mismos análisis físicos y químicos que en el primer muestreo y poder establecer una conducta en cuanto a la presencia de estos elementos, los resultados encontrados se observan en el cuadro 21.

Cuadro 21. Clasificación de la calidad del agua utilizada para el riego agrícola (marzo)

Parametro	Unidades	Sitios					\bar{X}
		1	2	3	4	5	
pH	unidades de pH	8.20	7.75	7.89	7.83	7.78	7.89
CE	$\mu\text{mhos/cm}$	940	947	992	961	952	958
Ca ²⁺	me l ⁻¹	6.50	9.50	7.00	8.00	5.00	7.20
Mg ²⁺	me l ⁻¹	5.00	1.00	6.50	9.50	7.00	5.80
K ⁺	me l ⁻¹	0.62	0.62	0.67	0.62	0.59	0.62
Na ⁺	me l ⁻¹	1.60	1.60	1.67	1.67	1.71	1.65
Σ de cationes	me l ⁻¹	10.02	7.38	10.02	10.52	9.52	9.49
CO ₃ ²⁻	me l ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	me l ⁻¹	2.43	2.30	2.43	2.43	2.43	2.40
HCO ₃ ⁻	me l ⁻¹	6.50	7.30	7.50	8.00	7.50	7.36
SO ₄ ²⁻	me l ⁻¹	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σ de aniones	me l ⁻¹	14.94	14.05	17.23	21.12	15.74	16.62
CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ²⁺	%	50.20	35.60	43.52	37.87	44.47	42.33
RAS	me l ⁻¹	0.70	0.70	0.60	0.60	0.70	0.66
SE	me l ⁻¹	3.40	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60
SP	me l ⁻¹	2.50	2.40	2.50	2.50	2.50	2.48
PSP	%	46.51	45.07	44.77	46.13	45.72	45.64
B	ppm	1.40	1.38	1.30	1.28	1.29	1.33
Clasificación de acuerdo al RAS y CE		C3S1	C3S1	C3S1	C3S1	C3S1	C3S1
Clasificación del agua para riego		Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada

Fuente: Elaboración propia

En el segundo muestreo, el pH presentó una media de 7.89, su nivel más alto fue en el sitio 1 con 8.20 y el más bajo en el sitio 2 con 7.75. En el caso de la CE registró una media de 958.40 $\mu\text{S cm}^{-1}$, su nivel más bajo se presentó en el sitio 1 con 940 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el más alto en el Sitio3 con 992 $\mu\text{S cm}^{-1}$, en ninguno de los sitios se rebasó los 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Cuadro 21).

Para el caso de los CO₃²⁻ estos se mantuvieron ausentes en el segundo muestreo, los HCO₃²⁻ presentaron una concentración promedio de 7.36 me l⁻¹, en el Sitio 4 se obtuvo la concentración más elevada de estos con un valor de 8 me l⁻¹ y la más baja en el Sitio 1 con 6.5 me l⁻¹. En el caso de Cl⁻ presentó una concentración promedio de 2.40 me l⁻¹, el SO₄²⁻ registró una concentración promedio de 0.09 me l⁻¹, el Ca²⁺ registró una concentración promedio de 7.20 me l⁻¹, el Mg²⁺ presentó una concentración promedio

de 5.80 me l⁻¹, el Na⁺ registró una concentración promedio de 1.65 me l⁻¹, el K⁺ tuvo una concentración promedio de 0.62 me l⁻¹, el NH₄⁺ presentó una concentración promedio de 1.32 me l⁻¹ y finalmente el B tuvo una concentración promedio de 0.37 me l⁻¹, dichas concentraciones sufrieron un decremento en comparación a lo encontrado en el primer muestreo, salvo los casos de los HCO₃²⁻ y el Mg²⁺ que presentaron un incremento de un muestreo a otro.

Por lo que los análisis e interpretaciones de las muestras de las aguas del canal Chilhuacán, arrojaron que los factores de salinidad de agua, con base a la conductividad eléctrica (CE) y su relación de adsorción de sodio (RAS) registraron una clasificación C3-S1 en cada uno de los sitios muestreados, al igual que en el primer muestreo.

De tal manera que las aguas muestreadas resultaron ser altamente salinas aunque bajas en sodio, por lo tanto no es recomendable su uso en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Al comparar los resultados encontrados en este muestreo con el primero se observó que se presentó un decremento en los valores de la conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción de sodio (RAS), por ciento de sodio posible (PSP), así como la suma de carbonatos y bicarbonatos. El único factor que presentó un incremento en el segundo muestreo, fue la suma de cationes. De tal manera que los decrementos en estos factores mantienen la clasificación de estas aguas como condicionadas por sales según lo marcado por Palacios y Aceves, (1994), es decir, resultaron de mejor calidad para riego que en el mes de febrero, así que estas aguas no se recomiendan para ser empleadas de manera permanente en el riego para la mayoría de los suelos y cultivos bajo las prácticas usuales de manejo.

Tercer muestreo

En el tercer y último muestreo que se realizó en el mes de abril, se pudo observar que las tendencias en cuantos a los parámetros físicos y químicos sufrieron pocas variantes en función del tiempo. A continuación se muestran los resultados de este muestreo y la clasificación de la calidad de estas aguas en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Clasificación de la calidad del agua utilizada para el riego agrícola (abril)

Parametro	Unidades	Sitios					\bar{X}
		1	2	3	4	5	
pH	unidades de pH	7.90	7.30	7.74	7.60	8.08	7.72
CE	$\mu\text{mhos/cm}$	1291	1281	1258	1310	1282	1284
Ca ²⁺	me l ⁻¹	6.50	9.50	7.00	8.00	5.00	7.20
Mg ²⁺	me l ⁻¹	5.00	1.00	6.50	9.50	7.00	5.80
K ⁺	me l ⁻¹	0.69	0.67	0.64	0.72	0.72	0.69
Na ⁺	me l ⁻¹	1.65	1.65	1.61	1.65	1.61	1.63
Σ de cationes	me l ⁻¹	10.02	7.39	7.52	11.98	9.25	9.23
CO ₃ ²⁻	me l ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	me l ⁻¹	2.43	2.30	2.43	1.89	2.16	2.24
HCO ₃ ⁻	me l ⁻¹	7.50	5.00	5.00	10.00	7.00	6.90
SO ₄ ²⁻	me l ⁻¹	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σ de aniones	me l ⁻¹	15.11	14.21	17.14	21.20	15.99	16.73
CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ²⁺	%	49.63	35.18	29.17	47.17	43.77	40.98
RAS	me l ⁻¹	0.70	0.70	0.60	0.60	0.70	0.66
SE	me l ⁻¹	3.60	3.70	3.60	3.70	4.00	3.72
SP	me l ⁻¹	2.50	2.40	2.50	2.00	2.30	2.34
PSP	me l ⁻¹	45.71	44.47	44.23	44.59	40.35	43.87
B	ppm	1.39	1.37	1.32	1.27	1.28	1.33
Clasificación de acuerdo al RAS y CE		C3S1	C3S1	C3S1	C3S1	C3S1	C3S1
Clasificación del agua para riego		Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada	Condicionada

Fuente: Análisis de laboratorio

Los resultados para los análisis físicos y químicos mostraron que estos factores se mantuvieron con valores casi constantes a lo largo de los últimos dos muestreos; ya que sólo en el primero de ellos se presentaron valores más elevados que los dos siguientes, lo cual pudo ser ocasionado a que en el mes de febrero se presentaron las condiciones más secas en la zona, lo cual provoco que se concentraran más los elementos en las aguas.

Algunos factores como los HCO₃²⁻ y Mg²⁺ sufrieron un incremento en sus concentraciones en los tres muestreos. No obstante en el resto de factores las condiciones fueron prácticamente las mismas, dicho comportamiento habla de que las aguas del canal Chilhuacán presentan una tendencia a ser consideradas como salinas,

aunque con bajo contenido de sodio, por que no es recomendable usarlas para el riego agrícola.

Se determinaron los factores de salinidad, con la finalidad de clasificar el agua de riego, con base en factores físicos y químicos, como la conductividad eléctrica (CE) y su relación de adsorción de sodio (RAS).

Encontrándose que en todos los sitios se registró una clasificación C3-S1 al igual que en los muestreos de febrero y marzo, lo cual indicó que estas aguas son altamente salinas pero bajas en sodio según lo marcado por Palacios y Aceves, (1994). Cuando se compararon los factores de salinidad de agua encontrados en cada uno de los muestreos realizados, se observó que en el primero de ellos se presentaron los niveles más elevados de salinidad de las aguas.

En el último muestreo las aguas conservaron un nivel elevado de sales y un contenido bajo en sodio, aunque con una tendencia hacia la reducción de la salinidad, por lo que a diferencia de los muestreos anteriores, en este último se presentaron los factores de mejor calidad del agua aunque manteniendo las restricciones para usarse en riego de los suelos fluvisoles y vertisoles que son los que predominan en la zona.

De manera que, se pudo observar que las aguas que llegan al canal Chilhuacán en el mes de abril son las de mejor calidad comparadas con las de febrero y marzo, en la época de estiaje, con base en lo establecido por Palacios y Aceves, (1994). Sin embargo, dichas aguas siguen siendo de uso condicionado por representar un riesgo de salinidad en los suelos y una amenaza para cultivos no tolerantes.

Análisis de varianza de los parámetros físicos y químicos en agua

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) en los parámetros físicos y químicos, en el Cuadro 23 se presentan los resultados de dicho análisis de sólo aquellos parámetros que registraron un nivel de significancia considerable con base al tiempo y espacio.

Cuadro 23. Análisis de varianza en los factores físicos y químicos del agua, en función de los sitios y meses de muestreo

Parámetro	Nivel de significancia			
	Tiempo		Espacio	
	5%	1%	5%	1%
CE		0.0001		
Cl ⁻		0.0003		
SO ₄ ²⁻		0.0001		
Ca ²⁺	0.0141			0.0012
Mg ²⁺	0.019		0.0285	
Na ⁺		0.0001		
B				0.0001

Fuente: Elaboración propia

En algunos casos solo hubo variación en función del tiempo como en el caso del: Na⁺, SO₄²⁻ y Cl⁻ con un alto nivel de significancia (al nivel de 1% de significancia); lo cual indica que estos parámetros tuvieron una variación considerable en cuanto a las concentraciones, ya sea disminuyendo o aumentando.

En otros casos el análisis de varianza registró un nivel de 5% significancia, lo cual indica que los cambios en las concentraciones que se presentaron fueron sustanciales, en función de los meses de muestreo, algunos ejemplos fueron: Ca²⁺ y Mg²⁺.

Ahora bien, algunos parámetros tuvieron variación en las concentraciones en función de los sitios de muestreo, tal fue el caso de: Ca²⁺ y B, con un alto nivel de significancia, es decir, al nivel de 1% de significancia. Y en el caso del Mg registró una variación en sus concentraciones del nivel de 5% de significancia, en función de los sitios de muestreo.

El Ca^{2+} tuvo un nivel del 5% de significancia en función del tiempo y un alto nivel de significancia, es decir, del nivel de 1% de significancia en función de los sitios de muestreo, por lo que este elemento varió sus concentraciones en función tanto del espacio como del tiempo. El Mg^{2+} que tuvo un nivel de significancia al nivel de 5% de significancia, tanto en función de los meses de muestreo como en los sitios, al igual que el Ca^{2+} .

Análisis de comparación de medias en los parámetros físicos y químicos

Se realizó un análisis de comparación de medias, que permitió conocer el grado de variación en cuanto a las concentraciones en función de los meses de muestreo, ya que el análisis de varianza registró efectos significativos en algunos factores en función del tiempo, los resultados se presentan en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Comparación de medias en los factores físicos y químicos del agua, en función de los meses de muestreo

Parámetro	Febrero	Marzo	Abril
CE	1346a	958.4b	958.4b
Cl^-	2.146b	2.404a	2.404a
SO_4^{2-}	0.2180a	0.0880b	0.0880b
Ca^{2+}	5.860b	7.200a	7.200a
Mg^{2+}	2.348b	5.800a	5.800a
Na^+	4.726a	1.650b	1.650b

Fuente: Elaboración propia

La CE presentó un comportamiento muy semejante en los meses de marzo y abril, ya que el análisis de comparación de medias, registró que en ambos meses a pesar de tener los niveles más bajos, no existe una diferencia estadística en cuanto a la conductividad eléctrica, el mes de febrero presentó la media más elevada y diferente a la de los muestreos posteriores.

Para el caso de Cl^- tuvo un comportamiento muy semejante en los meses de marzo y abril, debido a que el análisis de comparación de medias, registró en ambos meses una

igualdad estadística, y se presentaron las medias de las concentraciones más elevadas, en el mes de febrero se presentó la media de concentración más baja de cloruros.

En el caso de los SO_4^{2-} , de acuerdo a la comparación de medias en el tiempo, la concentración más alta se registró en el mes de febrero y en los meses de marzo y abril, la comparación de medias registró que ambos meses son estadísticamente iguales, es decir, que tuvieron un comportamiento semejante en función del tiempo.

El Ca^{2+} y el Mg^{2+} tuvieron la concentración más baja en el mes de febrero, ya que según el análisis de comparación de medias, en ese mes el calcio y magnesio registraron los niveles más bajos, sin embargo en los meses de marzo y abril se registró un incremento en la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} , con base a la comparación de medias se observó que esos meses fueron estadísticamente iguales en cuanto a concentración.

Finalmente en el caso del Na^+ , de acuerdo a la comparación de medias fue en el mes de febrero en el cual se presentó la concentración más elevada en los meses de marzo y abril se registró un descenso en cuanto a concentración de Na^+ , pero se observó que ambos meses fueron iguales estadísticamente, lo cual indica que se comportaron de forma semejante en función del tiempo.

En el Cuadro 25 se presentan los resultados de la comparación de medias, ahora con base en las diferencias de concentraciones encontradas en función de los sitios de muestreo.

Cuadro 25. Comparación de medias en los factores físicos y químicos del agua, en función de los sitios de muestreo

Parámetro	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Ca^{2+}	6.13c	8.50a	6.73b	7.45a	4.95c
Mg^{2+}	4.14b	1.30b	4.96b	7.09a	5.74a
B	0.40a	0.38a	0.36b	0.35b	0.35b

Fuente: Elaboración propia

El caso del Ca^{2+} presentó una variación en sus concentraciones a lo largo de los 5 sitios, se encontraron tres grupos diferentes en función de sus medias, es decir, el sitio 2 y 4 agrupó las concentraciones más altas y además estadísticamente iguales entre sí. El segundo grupo fue el formado por el sitio 1 y 5, los cuales presentaron las concentraciones más bajas y además estadísticamente iguales entre sí, y finalmente el sitio 3 presentó una concentración intermedia entre los grupos anteriores, siendo esta diferente de ambas.

Para el caso del Mg^{2+} se observó una variación en sus concentraciones a lo largo de los 5 sitios, se encontraron 2 grupos diferentes en función de sus medias, es decir, los sitios 1, 2 y 3 agruparon a las concentraciones más bajas y además estadísticamente iguales entre sí, los sitios 4 y 5 agruparon a las concentraciones más elevadas de este elemento, además de ser estos dos sitios estadísticamente iguales y diferentes de los 3 sitios anteriores.

Finalmente en el caso del B, se observó una variación en sus concentraciones a lo largo de los 5 sitios, se encontraron 3 grupos diferentes en función de sus medias, es decir, los sitios 1 y 2 agruparon a las concentraciones más altas y además estadísticamente iguales entre sí, los sitios 3, 4 y 5 presentaron las concentraciones más bajas e iguales estadísticamente entre sí.

Resultados de los análisis microbiológicos

Los resultados de los análisis bacteriológicos que se llevaron a cabo en las aguas que son vertidas por el canal Chilhuacán y utilizadas para el riego agrícola en la zona de influencia de Atlixco, Puebla, se interpretaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece el número más probable de coliformes por el método de tubos múltiples de fermentación y el número de huevos de helminto por litro por el método de diferencia de densidad. Los resultados encontrados durante los tres muestreos realizados se presentan en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Resultados de los análisis bacteriológicos en el agua utilizada para riego agrícola y su comparación con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

No. Sitio	Muestra	Tipo de agua	Coliformes fecales	LMP*	Parasitos	LMP*
			NMP/100ml	NMP/100ml	Huevos de helminto /l	Huevos de helminto /l
1	Febrero	Nexapa	ND**	2000	1	1
	Marzo	Nexapa	1500	2000	0	1
	Abril	Nexapa	21000	2000	2	1
2	Febrero	Nexapa	ND	2000	0	1
	Marzo	Nexapa	21000	2000	0	1
	Abril	Nexapa	24000	2000	0	1
3	Febrero	Nexapa	ND	2000	1	1
	Marzo	Nexapa	46000	2000	0	1
	Abril	Nexapa	93000	2000	1	1
4	Febrero	Nexapa	ND	2000	2	1
	Marzo	Nexapa	240000	2000	1	1
	Abril	Nexapa	120000	2000	0	1
5	Febrero	Nexapa	ND	2000	3	1
	Marzo	Nexapa	110000	2000	1	1
	Abril	Nexapa	31000	2000	0	1

Fuente: Análisis de laboratorio. *(LMP) Limite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996; ** (ND) No determinado.

En el Cuadro 26 se observa en forma general, que en el caso del contenido de coliformes fecales, los niveles de estos en la mayoría de los sitios muestreos exceden en mucho el límite máximo permisible que establece la Norma Oficial Mexicana, a excepción del Sitio 1, en el muestreo de marzo, y para el caso de los huevos de helminto, se encuentran presentes en cada uno de los sitios, pero no así, en todos los muestreos.

La presencia más alta de coliformes fecales, se registró en el Sitio 4, en el mes de marzo, es decir, en el segundo muestreo realizado en las aguas del canal Chilhuacán; que fue de 240,000 coliformes fecales como número más probable por cada 100 ml (NMP/100ml) y el contenido más elevado de huevos de helminto ($h\ l^{-1}$), se registró en el sitio 5, con 3 huevos de helminto por litro, los altos niveles de coliformes fecales y huevos de helminto puede ser ocasionado por las descargas domesticas que recibe el canal en este sitio por parte de la comunidad de San Félix Almazán, ya que dicho canal pasa por dicha población.

El agua del Sitio 1, comprendió tres muestreos realizados en los meses de febrero, marzo y abril, teniendo un mes exacto de espaciamiento de tiempo entre uno y otro, en los cuales se encontró la presencia de 1,500 y 21,000 coliformes fecales (NMP/100 ml) en los meses de marzo y abril; además del contenido de 1 h l⁻¹, en febrero y 2 h l⁻¹ de helminto en el mes de marzo. De acuerdo a lo reportado por Bonilla *et al.*, (1995), estas aguas no deben emplearse para el riego de los cultivos como: cebolla, rebanito y cilantro; pero no representan un problema para ser utilizados en el riego de forrajes como la alfalfa.

En las aguas del Sitio 2 a lo largo de los muestreos, se observó la presencia de 21,000 y 24,000 coliformes fecales (NMP/100ml) en los meses de marzo y abril, sin embargo no hubo presencia de huevos helminto en ninguno de los muestreos en este sitio. Al comparar los valores encontrados de coliformes fecales, con lo que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996, se observó que exceden en mucho los 2000 coliformes fecales como número más probable por cada 100 ml, lo cual es un claro indicador de que, estas aguas no deben utilizarse para regar cultivos que se consumen en fresco.

En el Sitio 3, se observó la presencia de 46,000 y 93,000 coliformes fecales (NMP/100 ml) en los meses de marzo y abril, y la presencia de 1 h l⁻¹ en los meses de febrero y abril. De acuerdo a lo reportado por Bonilla *et al.*, (1995), estas aguas no deben emplearse para el riego de los cultivos como: cebolla, rabanito y cilantro, ya que estos son consumidos por el hombre, pero no representan un problema para ser utilizados en el riego de forrajes como la alfalfa.

En este sitio se presenta un incremento considerable de coliformes fecales, debido a que dicho sitio recibe las descargas domésticas de poblaciones que se localizan aguas arriba, y son incorporadas al canal mediante escurrimientos (llamados *-achololes-* por los habitantes de la zona) que capturan las aguas de las barrancas y filtraciones.

El Sitio 4, presentó 240,000 y 120,000 coliformes fecales (NMP/100 ml) en los meses de marzo y abril, y la presencia de 1 h l⁻¹ en los meses de febrero y marzo.

Al comparar los valores encontrados de coliformes fecales, con lo que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996, se observó que exceden en mucho los 2000 coliformes fecales (NMP/100 ml), por lo tanto estas aguas no deben utilizarse para regar cultivos que se consumen en fresco. La alta concentración de coliformes fecales, puede ser explicada debido a que el Sitio 4, se encuentra dentro de la población de San Félix Almazán y se presume que las descargas domésticas de esta población son ingresadas al canal, de ahí que la presencia de este factor se dispare exponencialmente, justo en este sitio.

Finalmente el Sitio 5, registró la presencia de 110,000 y 31,000 coliformes fecales (NMP/100 ml) en los meses de marzo y abril, y la presencia de 3 y 1 huevos de helminto viable por litro de agua en lo meses de febrero y marzo. Al comparar los valores de coliformes fecales hallados, con lo que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996, se observó que exceden en mucho los 2000 coliformes fecales (NMP/100 ml), por lo que al igual que en el caso anterior, no deben ser usadas para regar cultivos que se consumen en fresco.

En las Figuras 5, 6, 7, 8 y 9 se puede observar de forma gráfica la variación del contenido de los coliformes fecales y huevos de helminto, en cada uno de los muestreos, así como las diferencias en las concentraciones en función de cada sitio de muestreo.

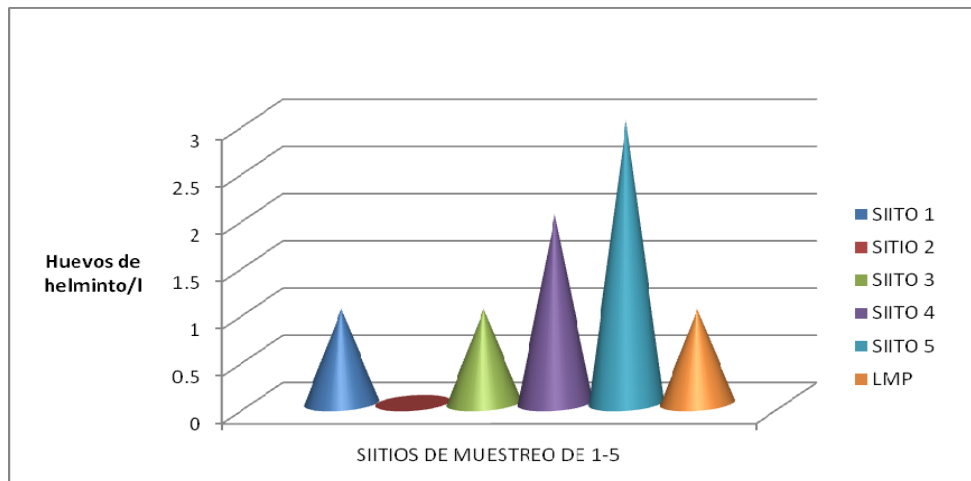


Figura 5. Huevos de helminto por litro en el mes de febrero, comparado con el límite máximo permisible (LMP) establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996

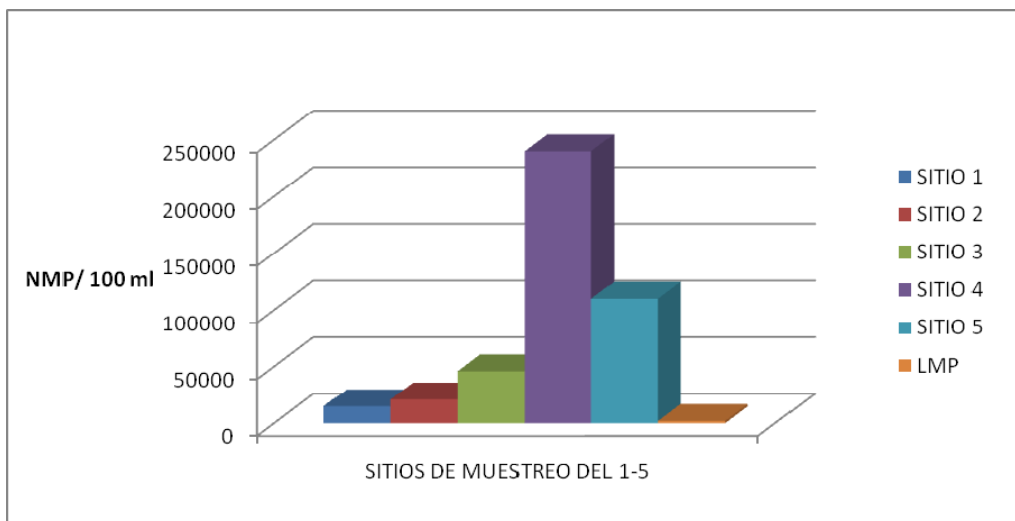


Figura 6. Coliformes fecales en agua en el mes de marzo, comparado con el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

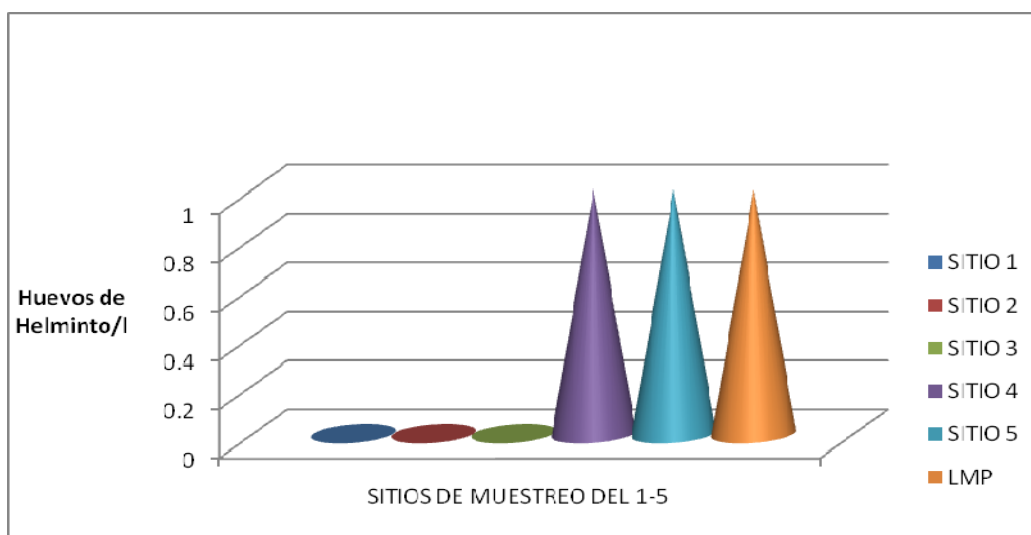


Figura 7. Huevos de helminto por litro en el mes de marzo, comparado con el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996

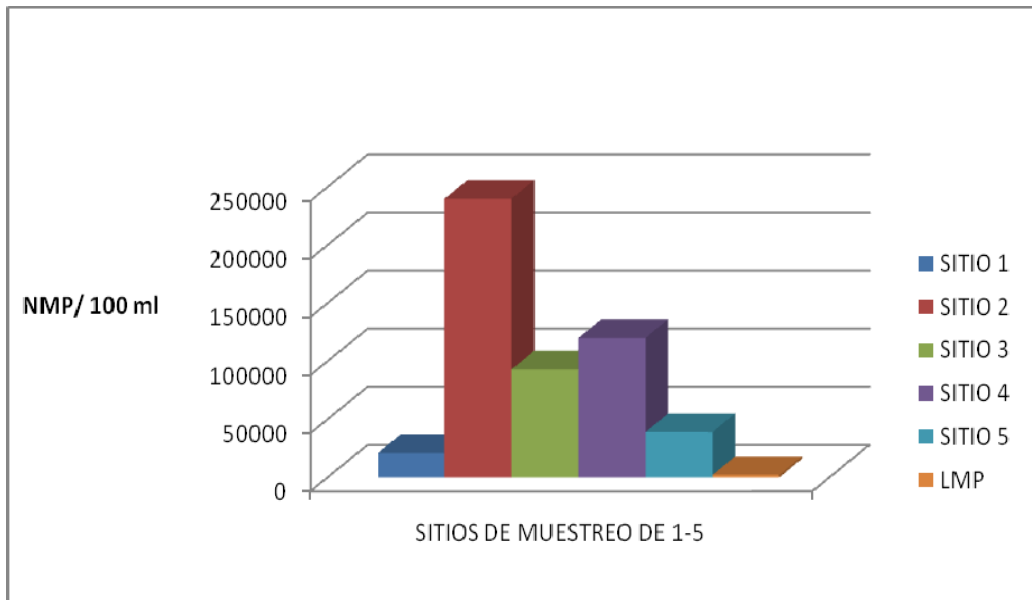


Figura 8. Coliformes fecales en agua en el mes de abril, comparada con el LMP que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996

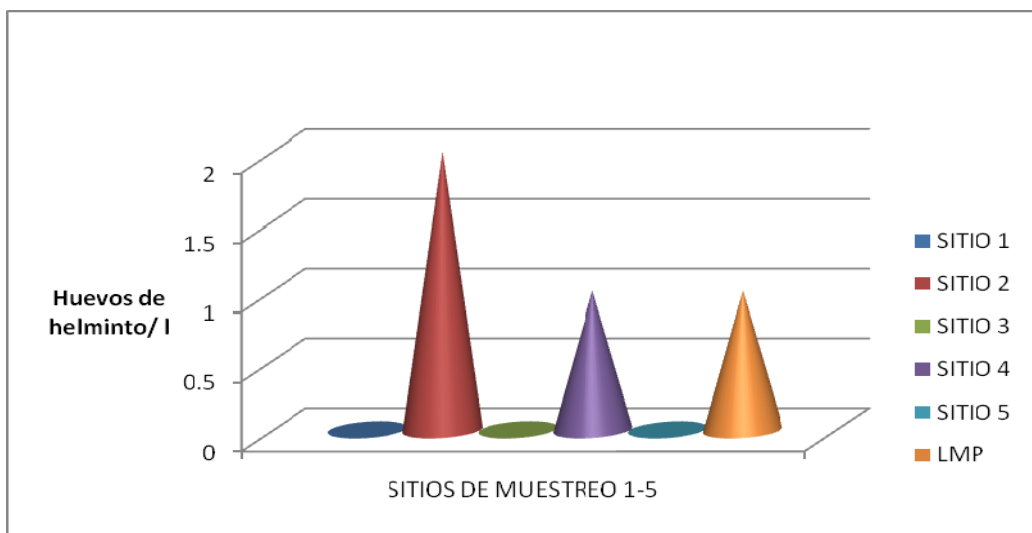


Figura 9. Huevos de helminto por litro en el mes de abril, comparada con el LMP que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996

5.4 CONCLUSIONES

Con relación a los resultados

Las aguas residuales que son conducidas por el canal Chilhuacán contienen los metales pesados totales Fe, Mn, Cu, Ni, Zn y Pb aunque en bajas concentraciones que no sobrepasaron el límite máximo permisible de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Los niveles de Pb en las aguas del canal, a pesar de ser bajo, pueden representar un riesgo en un largo plazo, puesto que este metal tiene la capacidad de acumularse en los suelos agrícolas.

Las aguas conducidas por el canal Chilhuacán y utilizadas para el riego agrícola en la zona de estudio, presentaron niveles variables de contaminación, destacándose sobre todo la presencia de contaminantes bacteriológicos (coliformes fecales) los cuales exceden ampliamente los valores máximos permitidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

El alto contenido de coliformes fecales encontrado en los dos meses que fueron determinados, permite decir que representan un riesgo para la salud de los usuarios que tienen contacto directo con estas aguas, y también para quienes consumen hortalizas que se producen bajo este régimen, debido a que dichos agentes microbiológicos son causantes de enfermedades entéricas en el ser humano.

Las concentraciones encontradas de los parámetros físicos y químicos y su posterior clasificación permiten concluir que las aguas del canal Chilhuacán presentan un alto contenido de sales y su uso en la irrigación de cultivos agrícolas no es recomendado.

Se observó que en los distintos muestreos, la carga contaminante en las aguas presentó variaciones, y se puede concluir que en el mes de febrero se registró la mayor cantidad de metales pesados, así como, de agentes bacteriológicos y factores de calidad de agua para riego.

5.5 LITERATURA CITADA

- Bonilla F. N., Flores L. D., Romero G. H., Valera M. A. P. y González J. M. 1995. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos, planta y agua por efecto de riego con aguas negras en la región de Huaquechula y Atlixco, Puebla. 159 In: Memorias del Simposio Universitario de Edafología. Universidad Nacional Autónoma de México
- Cajuste L. J., Carrillo R. G., Cota E. y Laird R. J. 1991. The distribution of metals from wastewater in the mexican valley of mezquital. *Water, Air and Soil pollution*. 58: 763-771.
- Cajuste L. J., Vasquez A. A., Siebe S. B., Alcanzar G. G. y De la Isla de Bauer M. L. 1996. Niquel, Cadmio y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el valle de mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 35: 267-274
- Carrillo R. G., Cajuste L.J. y Hernandez L. H. 1992. Acumulación de metales pesados en suelos regados con aguas residuales. *TERRA*. 10: 166-173.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2004. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories EPA 822-R-04-005.
- Flores D. L., Hernandez S. G., Mejia B. M, Alcalá M. R., y Sanchez B.S. 1990. Algunos metales en suelos regados con aguas residuales. I. Simposio Nacional. Degradación del Suelo. Instituto de Geología. UNAM.
- Méndez, G. T., L. Rodríguez D. y S. Palacios M. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de presencia de metales pesados en suelos. *Terra* 18: 277 – 288.
- Navarro F. A. E. 2005. Contaminantes antropogénicos en las descargas de aguas residuales de Izúcar de Matamoros y Atlixco, Puebla. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, No 21. Sup. 1, 728 p.
- Normas Oficiales Mexicanas. 1996. NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Palacios V. O. y Aceves N. E. 1994. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para el riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Talleres Gráficos del Colegio de Postgraduados.
- Silva G. S., Muñoz O. A., De la Isla de Bauer M. L. y Infante G. S. 2002. Contaminación Ambiental en la región de Atlixco, Puebla: 1. Agua. *TERRA*. 20. 243-251.

VI. DETERMINACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES EN SUELO Y PLANTA POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS IN SOIL AND PLANT FOR THE USE OF WASTE WATER IN THE AGRICULTURAL PRODUCTION

¹Efraín Neri Ramírez, ¹Mario Alberto Tornero Campante y ²Noemí Bonilla y Fernández

¹Colegio de Postgraduados Km. 125.5 Carretera Federal México-Puebla, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla 72760, México. Tel./fax: (22) 2-285 14 43; Tel.: (22) 2-285 14 45.

²Departamento de Agroecología y Ambiente – ICUAP - BUAP. Avenida 14 Sur 6301.Col. San Manuel, C. P. 72,570. Tel. 01 (222) 229-55-00 Ext. 7348. Puebla, Pue. efrainneri@colpos.mx

RESUMEN

El presente trabajo de investigación partió del hecho de que las aguas residuales con que se irrigan los suelos y cultivos de la zona de influencia del canal Chilhuacán, están provocando efectos negativos en ellos. Por lo que el objetivo principal fue el conocer mediante análisis de los suelos y cultivos más representativos, la presencia de metales pesados y establecer si existe una absorción de contaminantes del suelo a la estructura de las planta. Para cumplir con este objetivo se llevó a cabo un análisis de suelo para evaluar el contenido de materia orgánica, nutrientes y micronutrientes, metales pesados y textura. Se encontró que los metales pesados disponibles en la solución de suelo en orden decreciente en los sitios muestreados fue: Fe>Mn>Zn>Cu>Cd>Ni>Pb, además de que resultaron ser suelos con un contenido rico de materia orgánica, con niveles de normales a altos de nutrientes y micronutrientes, y suelos con una textura predominante franco-arcillo-arenosa. En cuanto a los cultivos analizados que fueron: alfalfa, cebolla y cilantro, estos fueron muestreados de los seis sitios en los cuales se tomaron también muestras de suelo, y se determinó la concentración de metales pesados, micronutrientes y nutrientes esenciales, encontrándose que el contenido de metales pesados en ellos en orden decreciente fue: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cd>Pb, presentando concentraciones consideradas como normales en la mayoría de los casos. En cuanto a los cultivos de cilantro y alfalfa registraron valores excesivos tanto de Pb como de Cd, por lo que se puede decir que tanto los suelos como los cultivos no están siendo afectados de forma grave al ser regadas con aguas residuales, a pesar de que ya muestran rasgos de la presencia de metales pesados en ambos medios.

Palabras clave: ***suelos, cultivos, metales pesados, micronutrientes.***

ABSTRACT

The present work research starts with the premise of which the waste water with which there are irrigated the soils and crops of the zone of influence of the Chilhuacán channel, are provoking negative effects in them. For what the principal objective was to know by means of analysis of the soils and more representative crops looking in them for the presence of heavy metals and to establish if exists a transfer of pollutants of the substratum of the soil to the structure of them plants. To be able to expire with this objective an analysis of soil was made to found the content of organic matter, nutrients and micronutrients, heavy metals and an analysis textural, so that after analyzing samples consisted of the soils of the zone of study one found that the heavy available metals in the solution of soil found in diminishing order in the sampled places it was: Fe> Mn> Zn> Cu> Cd> Ni> Pb. Besides that they turned out to be soils with a rich content of organic matter, with levels of normal to high places of nutrients and micronutrients, and soils with a predominant texture: Franco- arcillo-arenosa. As for the analyzed crops that were: alfalfa, onion and coriander, these were sampled of six places in which it takes also samples of soil, and there decided the presence of heavy metals, presence of micronutrients and essential nutrients, thinking that the content of metals weighed in them in diminishing order was: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cd>Pb. Presenting concentrations considered like normal in most cases, though in the cases of the crops of coriander and alfalfa they registered excessive values both of Pb and of Cd. For what it is possible to say that both the soils and the crops are not being affected of serious form for being watered by waste water, in spite of the fact that already they show features of the presence of heavy metals in both means.

Index words: ***Soils, crops, heavy metals, micronutrients***

6.1 INTRODUCCIÓN

La zona de riego del canal Chilhuacán depende exclusivamente de aguas negras sin tratamiento, las cuales provienen de una derivación del río Nexapa, que en su trayecto a la región de Atlixco desde las ciudades de Tlaxcala y Puebla, recibe en su cauce una infinidad de descargas de aguas residuales de origen industrial y urbano. El uso de esta agua aumenta el riesgo de contaminar los suelos y cultivos de la región tales como: hortalizas, forrajes, cultivos básicos y flores principalmente (Silva, 2002).

El mayor problema al hacer uso de aguas residuales para la irrigación de cultivos agrícolas, es que los contaminantes que contienen pueden ser absorbidos por los suelos y bioacumulados por las plantas y hombre, al consumir cultivos producidos bajo este sistema.

Entre los contaminantes más peligrosos se encuentran los metales pesados, debido a que pueden alojarse tanto en el suelo como en la planta. El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente en función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

El exceso de contenido de metales pesados en suelos agrícolas sucede debido a las prácticas de origen antropogénico, como es el caso de las industrias metalúrgicas, automotriz, textil y de acumuladores principalmente, aunado a actividades mineras, a la aplicación de plaguicidas y también al tráfico rodado cercano a las zonas de producción agrícola, es decir, la presencia de carreteras muy transitadas contiguas a los suelos (Sauve *et al.*, 2000). Como resultado de las prácticas anteriores, se emiten grandes cantidades de partículas que, después de un cierto tiempo de permanencia en la atmósfera, precipitan en los suelos lejos de su lugar de origen, y en otros casos los metales pesados son vertidos en aguas que posteriormente son usadas en la agricultura.

La cantidad de metales pesados disponibles en suelos agrícolas está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio cationico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Kimberly y William, 1999, Sauve *et al.*, 2000).

Las plantas pueden acumular metales pesados dentro de sus tejidos debido a la gran habilidad de adaptación a las variaciones químicas del medio ambiente, de esta forma las plantas son reservas intermediarias, entre suelo, agua y aire; y pueden ser el medio de transporte de metales pesados hacia los animales e incluso al hombre.

Las plantas pueden ser receptores pasivos de los metales pesados pero también ejercen un control sobre la absorción o rechazo de algunos elementos por medio de reacciones fisiológicas apropiadas. Se debe poner especial atención a los metales pesados distribuidos dentro de los tejidos vegetales, por que la forma en que se encuentran estos en la planta aparentemente tiene un papel decisivo en su transferencia a otros organismos (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

Es necesario hacer mención que los cultivos más representativos de la zona de riego del canal Chilhuacán son: alfalfa, cilantro y cebolla, motivo por el cual dichos cultivos fueron seleccionados para ser analizados y comprobar si los metales pesados se encuentran en su estructura.

6.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de metales pesados en suelo

En los suelos de las ocho unidades de riego se determinaron algunos metales pesados como: plomo, cobre, níquel, cinc, manganeso y cadmio, utilizando los procedimientos de digestión ácida para el procesamiento de la muestra que sugieren los métodos 3050b y 3051 de la EPA. Además del uso de las metodologías para la determinación de hierro, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, boro, magnesio, conductividad eléctrica, pH y contenido de materia orgánica.

Muestreo de suelo

El primer paso en este apartado fue, el delimitar la zona de estudio de tal manera que fuera representativo de las ocho unidades de riego que hacen uso de la aguas del canal, ya que la totalidad de superficie es de aproximadamente 680 ha, por las consideraciones anteriores se hizo un muestreo zonificado y sistematizado en forma de zig-zag, de manera que se seccionó la totalidad de la superficie en seis zonas que agrupan a las ocho unidades de riego, en base a su extensión, ubicación y tipo de cultivo, resultando lo anterior en los siguientes grupos: a) Loma Larga b) Flores Magón, c) Santa Ana y pequeñas propiedades, d) Revolución, e) San Félix 1 y f) San Félix 2. En las Figuras 10 y 11 se presentan su ubicación.

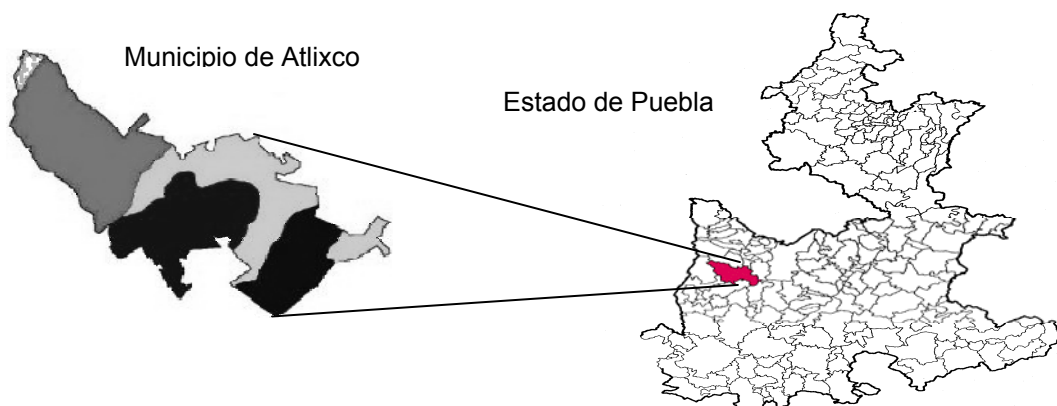


Figura 10. Ubicación geográfica de la zona de estudio



Figura 11. Sitios de muestreo de suelo

Frecuencia de muestreo

El muestreo de suelo se realizó en los días 17, 23 y 24 de agosto de 2007, se tomaron muestras compuestas de al menos 10 muestras simples. El criterio para elegir las parcelas de cada zona a muestrear fue meramente al azar y en zig-zag, debido a la uniformidad del tipo de suelo en cada una de ellas.

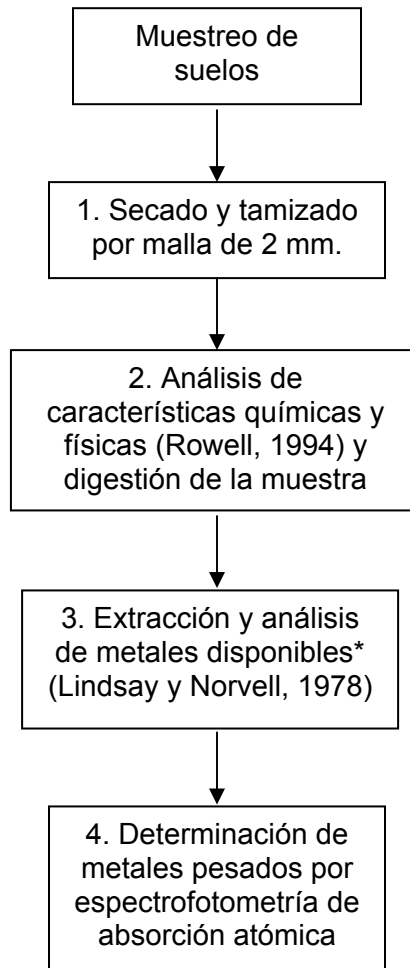
Descripción del muestreo

Una vez seleccionados los sitios, se estableció la profundidad de la toma de muestras que fue de 0-20 cm debido a que son suelos muy delgados y a esa profundidad se sabe que quedan alojados los metales pesados en el suelo, la muestra fue tomada con la ayuda de una pala recta, para obtener una muestra simple por parcela. Una vez tomadas 15 muestras por zona, se juntaron y se hicieron una muestra compuesta (utilizando el método del cuarteo) hasta obtener una muestra compuesta de aproximadamente un kilogramo (sin secar), se colocaron en una bolsa previamente rotulada para su posterior identificación en el laboratorio, este mismo procedimiento se siguió en las seis zonas de muestreo (López y López, 1978).

Manejo de la muestra de suelo

Una vez recolectadas las muestras de suelo, se llevaron al laboratorio, donde se secaron a temperatura ambiente, extendiéndose en una mesa de laboratorio sobre papel limpio aproximadamente por 24 hrs. Posteriormente las muestras se hicieron pasar por un tamiz del número 10 de 2 mm, previo a este procedimiento las muestras se secaron al aire libre. Finalmente se prosiguió a realizar las determinaciones de metales pesados disponibles en suelo, en las muestras ya tamizadas y secas. En el Cuadro 27 se muestra de forma reducida el proceso de muestreo, manejo y análisis de los suelos.

Cuadro 27. Secuencia de análisis químico de muestras de suelos.



Fuente: Elaboración propia. *Solución de ácido dietilen-triamín-penta-acético DTPA-CaCl₂-TEA

Análisis de Planta

Los cultivos seleccionados fueron: hortalizas (cebolla y cilantro) y forraje (alfalfa) se determinó la presencia de metales pesados (Fe, Pb, Cu, Ni, Mn, Zn y Cd). Así como las concentraciones de: N, P, K, Ca, Mg y B.

Los cultivos a analizar fueron seleccionados debido a su importancia comercial, presencia en la región y por ser productos que son consumidos de forma directa por el ser humano (hortalizas) e indirectamente (alfalfa) a través de la carne y productos derivados del ganado que se alimenta de este forraje.

Los parámetros analizados en estos cultivos, son los mismos que se analizaron en los suelos de la región, con el objetivo de conocer el grado de transporte que se presenta de metales pesados del suelo agrícola al cultivo sembrado, de tal manera que pudiera establecerse una relación en cuanto a los niveles de contaminación en uno y otro.

Muestreo de tejido vegetal

En el caso de la toma de muestras de planta (alfalfa, cebolla y cilantro), se llevaron a cabo el 30 de agosto de 2007, las muestras fueron tomadas el mismo día, debido a que cada uno de los cultivos presentaba las condiciones apropiadas para hacerlo.

Toma de la muestra

El número de muestras de cada cultivo fue seleccionado de tal manera que agrupó a las seis zonas de muestreo que se establecieron para el caso del suelo agrícola, es decir, a) Loma Larga b) Flores Magón, c) Santa Ana y pequeñas propiedades, d) Revolución, e) San Félix 1 y f) San Félix 2.

Las muestras que se tomaron fueron de las parcelas previamente seleccionadas, las cuales fueron regadas con aguas residuales del canal Chilhuacán antes y durante su proceso de crecimiento y maduración.

Por lo cual se tomaron muestras de alfalfa de tres de las zonas, por ser este el cultivo de mayor presencia en cada una, y se tomaron muestras de cebolla de dos zonas y una muestra de cilantro.

La muestra del cultivo de cebolla se tomó cuando esta había recibido al menos 4 riegos y ya en forma de fruto, analizando en esta sólo el fruto, tomándose 2 muestras de diferentes zonas.

En el caso del cultivo de alfalfa, se tomaron muestras de tres de las seis zonas, considerando solo aquellas plantas con una altura de tallo de 30-35 cm, tomando cada muestra desde la raíz para realizar análisis de tallo y hoja.

Para el cultivo de cilantro se tomó una sola muestra debido a que tan solo en la zona de San Félix 2, se encontró este cultivo en pie y con las características necesarias para ser analizado, es decir, altura de tallo de más de 25cm, ciclo fenológico terminado, listo para consumir.

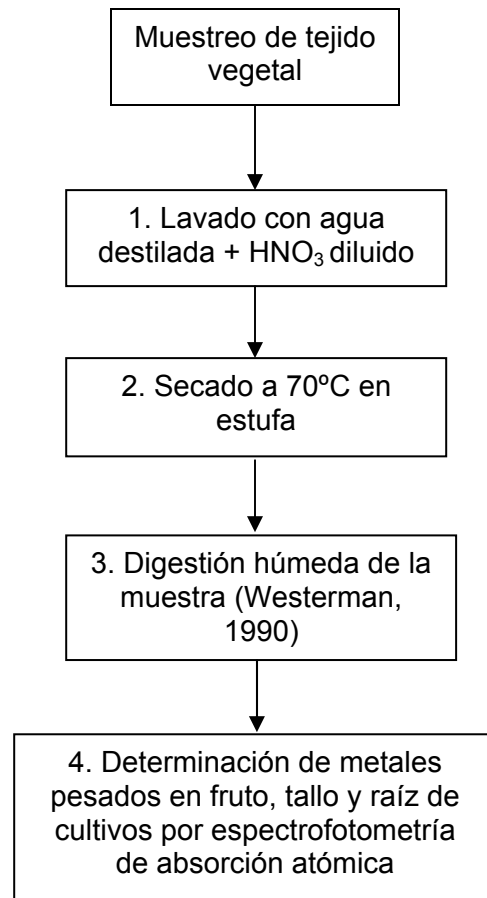
Manejo de la muestra

Las muestras fueron colocadas en bolsas de papel de estraza y rotuladas hasta su análisis en laboratorio y una vez ahí las muestras de material vegetal se sometieron a un lavado en una solución de ácido clorhídrico 0.1 N, para después ser enjuagado con agua destilada, el lavado no demoró más de treinta segundos para evitar pérdidas de algunos nutrientes solubles. Inmediatamente después la muestra fue puesta en estufa con corriente de aire a 70 °C para su secado.

Posteriormente el material fue molido, en un molino de acero inoxidable, en parte para facilitar el proceso de análisis y sobre todo para lograr una buena homogenización (López y López, 1978).

A continuación se presenta en forma gráfica en el Cuadro 28, la secuencia del proceso de toma de muestra vegetal, manejo y determinaciones que se llevaron a cabo.

Cuadro 28. Secuencia de análisis químico de las muestras de tejido vegetal.



Fuente: Elaboración propia

Para la realización de las determinaciones de metales pesados en plantas, se utilizó el método de: Espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de llama (FAAS), ya que es uno de los más fiables y rápidos en los laboratorios de química analítica.

6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades químicas de los suelos

Los resultados de las propiedades químicas de los suelos de la zona de Atlixco regados con aguas negras procedentes del río Nexapa y distribuidos mediante el canal principal Chilhuacán se presentan en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Variación de propiedades químicas de suelo

Sitios	pH	(%)	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹					
		MO	CE	N	P	K	Ca	Mg	B
San Felix 1	7.47	1.21	0.53	14.80	28.27	260	1299	301	2.34
San Felix 2	7.49	1.48	0.60	14.10	27.41	266	1547	300	2.43
Loma Larga	7.35	2.02	0.49	26.00	28.84	310	2306	493	2.08
Flores Magón	7.48	2.96	0.58	18.60	60.87	678	2934	769	2.47
Sta. Ana y p.p	7.44	3.23	1.23	14.10	59.44	660	3113	978	3.39
Revolución	7.74	3.09	0.98	22.30	30.84	366	1534	519	3.93
\bar{X}	7.50	2.33	0.74	18.32	39.28	423	2122	560	2.77

Fuente: Análisis de laboratorio

Los valores de pH en suelo variaron de 7.35 en los suelos del ejido Loma Larga a 7.74 en los suelos del ejido Revolución, presentando una media en los seis sitios de 7.50. Los resultados indican que los suelos son medianamente alcalinos según lo referido por la NOM-021-RECNAT-2000; además dichos valores se encuentran dentro de los valores de pH reportados por Bonilla *et al.*, (1995), lo cual indica que la tendencia alcalina de los suelos ha permanecido casi sin cambios por más de 10 años.

Los porcentajes de materia orgánica variaron de 1.21 a 3.23% con una media en los seis sitios de 2.33%. La clasificación del contenido de materia orgánica varía de bajo a medio respectivamente, según lo referido por la NOM-021-SEMARNAT-2000, para suelos no volcánicos como es el caso.

El contenido más pobre de materia orgánica (MO) se observó en los suelos de San Félix Almazán 1, esto puede deberse a que las prácticas agrícolas que se realizan en estos suelos no aportan tanta materia orgánica como en los otros sitios, puesto que en esta zona se da la mayor producción de hortalizas y flores por lo cual prácticamente no se le agrega estiércol.

En los sitios Loma Larga y San Félix 2, se observaron contenidos de materia orgánica medianamente pobres, lo cual puede ser explicado por el cambio de cultivos que se han adoptado, ya que antes se sembraban cultivos con mayores requerimientos de

MO, y en el momento del muestreo se tenían cultivos en pie como cebolla, gladiola (San Félix 2) perejil, frijol y alfalfa (Loma Larga), a los cuales se les agrega una pequeña cantidad de estiércol como fertilizante orgánico.

Los sitios Santa Ana, Flores Magón y Revolución presentaron valores medios de materia orgánica, las prácticas agrícolas realizadas en estos sitios, se basan en la fertilización con estiércol y fertilizantes químicos, lo anterior puede ser el motivo por el cual el contenido es mayor en estos tres sitios, en comparación con los 3 sitios restantes, los cuales presentan diferentes cultivos y manejos. Los porcentajes del contenido de MO en suelo pueden observarse en forma gráfica en la Figura 12, que se presenta a continuación.

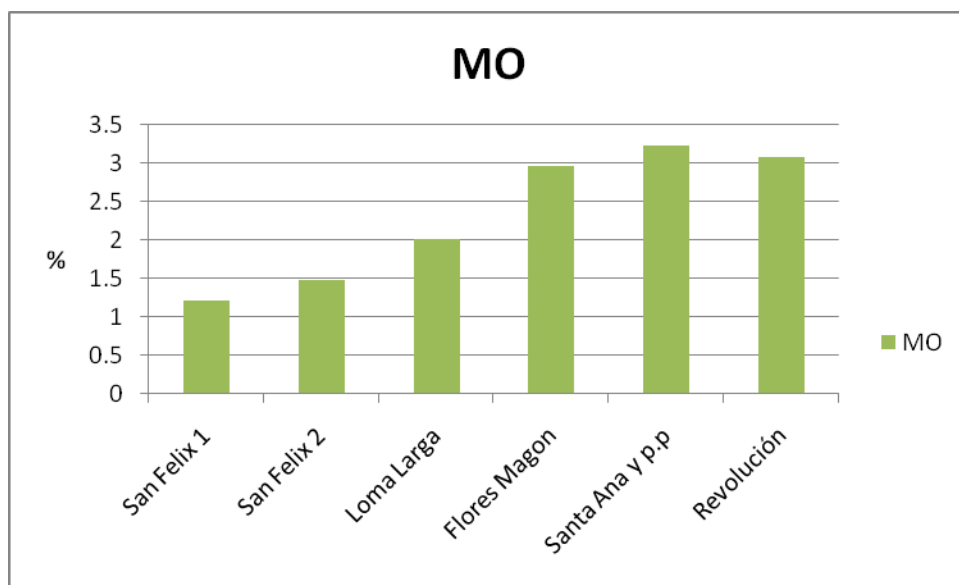


Figura12.Contenido de materia orgánica en suelos regados con aguas residuales

Con respecto a la conductividad eléctrica (CE) en los suelos, estos registraron una variación de 0.49 a 1.23 dS m^{-1} , y una media en los seis sitios del orden 0.74 dS m^{-1} , lo cual indica que estos suelos se clasifican como ligeramente salinos, según lo referido por la NOM-021-SEMARNAT-2000. A continuación se presentan los valores de CE en suelo en la Figura 13.

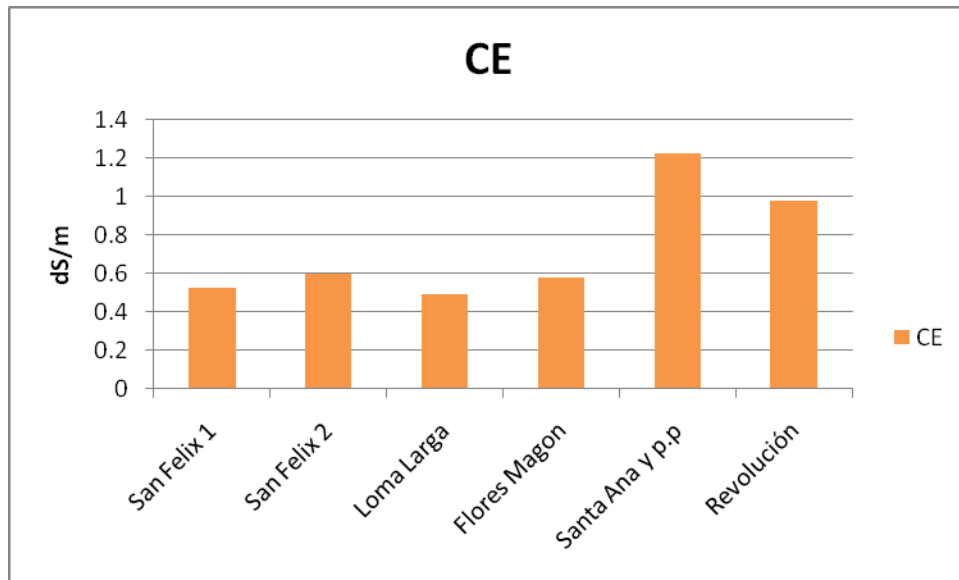


Figura 13. Valores de CE en suelos de la zona de Atlixco regados con aguas residuales

La determinación analítica de nitrógeno total presentó valores que varían de 0.14 a 0.26 % que corresponden a una clasificación media y muy alta respectivamente, según la interpretación de la NOM-021-SEMARNAT-2000, además de que registraron una media en los seis sitios de 0.18%. El alto contenido de nitrógeno total en el sitio de Loma Larga puede deberse al manejo de fertilización que se da con estiércol y al tipo de cultivo que se encontraba anteriormente, el cual era alfalfa y este cultivo aporta nitrógeno al suelo.

El contenido de fósforo en suelo extraído por el método Olsen reportó valores entre 27.4 a 60.9 mg kg⁻¹, con un valor promedio en los seis sitios de 39.3 mg kg⁻¹, estos niveles de concentración en suelos se clasifica como de alto contenido de fósforo, según lo marcado por la NOM-021-SEMARNAT-2000. Dichos niveles pueden deberse al uso de agroquímicos que son mayormente organofosforados, de ahí el alto nivel de contenido de fósforo en los suelos.

El contenido de potasio presentó valores que van de 266 a 678 mg kg⁻¹, y una concentración promedio de 423 mg kg⁻¹ los cuales al ser comparados con lo marcado por la NOM-021-SEMARNAT-2000, se clasifican como suelos altos en contenido de

potasio; además dichos valores se encuentran por encima de los registrados en suelos de la región por Bonilla *et al.*, (1995), esto indica que el contenido de K en los suelos de la zona de riego del canal Chilhuacán se ha incrementado sustancialmente en los últimos años.

El contenido de Ca^{2+} presentó valores que varían de 1299 a 2934 mg kg^{-1} , y un valor promedio de 2122 mg kg^{-1} , valores que al ser comparados con la NOM-021-RECNAT-2000 clasifica a los suelos en todos los sitios con un nivel elevado de Ca^{2+} , esto demuestra que los suelos regados con aguas residuales del canal Chilhuacán están acumulando Ca^{2+} en su estructura y pueden presentar un problema de salinidad si estas concentraciones siguen incrementándose.

El magnesio registró valores de 300 a 978 mg kg^{-1} , y un valor promedio en todos los sitios de 560 mg kg^{-1} , que al ser comparados con lo que establece la NOM-021-RECNAT-2000, se clasifican los suelos como con un alta concentración de Mg. Este parámetro en suelo tiene un comportamiento semejante al del Ca^{2+} , puede deberse a que se cumple la dependencia de uno y otro, por ello es necesario considerar que si las concentraciones mantienen una tendencia de incremento, los suelos presentarán problemas de salinidad.

El contenido de boro en suelos fue del orden de 2.08 a 3.93 mg kg^{-1} , y presentó una concentración promedio de 2.77 mg kg^{-1} , estos valores son clasificados como bajos según lo dicho por Mengel y Kirkby, (1987), ya que los niveles normales de boro en suelos es alrededor de 20 a 200 mg kg^{-1} , por lo que el contenido de este elemento no es peligroso para los suelos de la zona, sin embargo este elemento en concentraciones mas elevadas puede ocasionar problemas de toxicidad en una gran cantidad de cultivos.

Propiedades físicas de los suelos

En el Cuadro 30 se pueden observar la textura de los suelos muestreados en los seis sitios seleccionados.

Cuadro 30. Clasificación textural por sitio estudiado

Sitio	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
Sn. Félix 1	59.6	20.0	20.4	Franco arcillo arenoso
Sn. Félix 2	59.6	20.0	20.4	Franco arcillo arenoso
Loma Larga	67.6	16.0	16.4	Franco arenoso
Flores Magón	59.6	10.0	30.4	Franco arcillo arenoso
Sta Ana y p.p	43.6	26.0	30.4	Franco arcilloso
Revolución	33.6	26.0	40.4	Arcilla
\bar{X}	53.9	19.7	26.4	

Fuente: Análisis de laboratorio

De forma general en los seis sitios analizados se obtuvo una media de arena del orden de 53.9% de arena, 19.7% de contenido de limo y 26.4% de arcilla. En los casos de los sitios Santa Ana y pequeñas propiedades, Revolución y San Félix sección 2 corresponden a la clase de textura del tipo franco-arcillo-arenosos.

En el sitio Loma Larga, la fracción arena fue de 67.6%, la fracción limo fue de 16% y la fracción arcilla fue de 16.4%, lo cual clasifica a este sitio en la clase textural de franco arenoso.

En el sitio San Félix primera sección se presentó una textura franco arenosa, debido a que se registró un contenido de 59.6% de arena, un 20% de limo y un 20.4% de contenido de arcilla. Y finalmente en el sitio Flores Magón se obtuvo una textura de los suelos del tipo arcillosa, debido que registro valores de 59.6% de arena, 10% de limo y 30.4% de arcilla.

En la Figura 14 se observa de forma gráfica la textura de los suelos estudiados antes comentados.

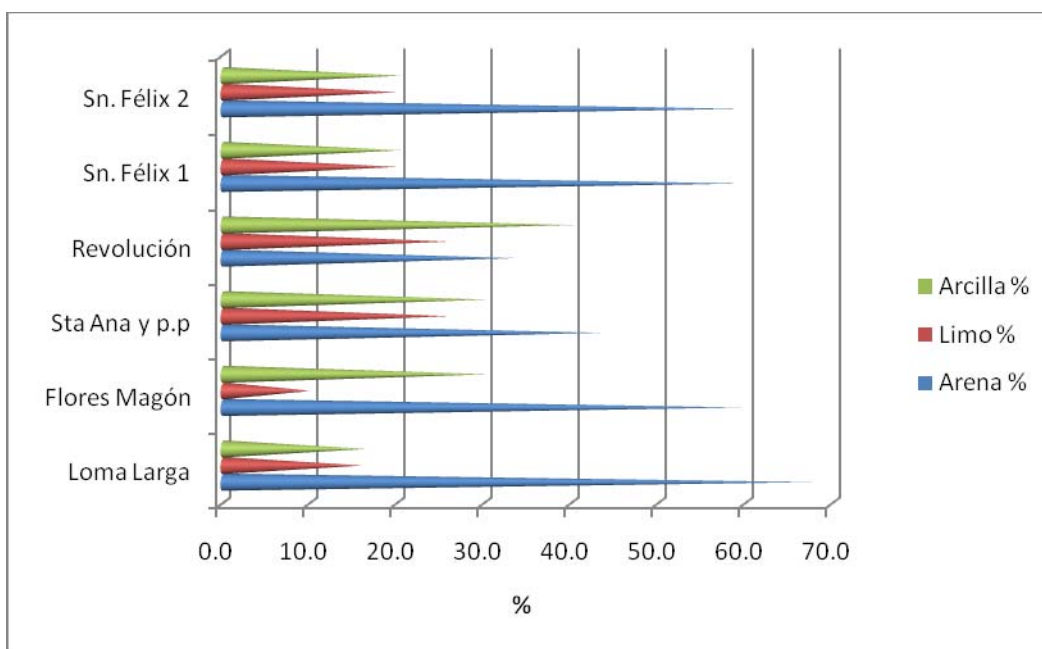


Figura 14. Textura de los suelos estudiados en la región de Atlixco regados con aguas residuales

Contenido de metales pesados extractables en suelo

La determinación de los metales pesados extraíbles en suelo se llevó a cabo mediante la utilización de una solución extractante de ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) a pH=7.3 la cual ha sido ampliamente utilizada por diferentes autores debido a que permite la obtención de los índices de disponibilidad de estos metales. En el Cuadro 31, se presentan las concentraciones de los metales pesados disponibles.

Cuadro 31. Concentración de metales pesados disponibles en suelo (mg kg^{-1})

Sitio	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Cd
Sn. Félix 1	6.47	0.97	2.73	6.91	0.66	0.30	0.67
Sn. Félix 2	6.53	0.97	1.70	6.41	0.10	0.31	0.65
Loma larga	8.46	0.75	2.18	6.80	0.10	0.30	0.62
Flores Magón	9.41	1.01	2.77	6.97	0.11	0.37	0.77
Sta Ana y p.p	9.05	0.88	2.76	7.17	0.15	0.41	0.78
Revolución	5.23	1.11	1.69	5.10	0.11	0.36	0.73
\bar{X}	7.52	0.95	2.3	6.56	0.21	0.34	0.70

Fuente: Análisis de laboratorio

Los metales que se encontraron en la solución de suelo fueron de mayor a menor presencia en los seis sitios del orden de: Fe>Mn>Zn>Cu>Cd>Ni>Pb.

El contenido de Fe en suelos que se observó en el cuadro 35 varió de 5.23 a 9.41 mg kg⁻¹; presentando un valor promedio en los seis sitios de 7.53 mg kg⁻¹, concentraciones por debajo de los valores estándar para suelos agrícolas (50 a 200 mg kg⁻¹) según Dinaver, (1972); por lo tanto sus niveles en suelo no son una limitante para que se realicen actividades agrícolas. De acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 las concentraciones de hierro encontradas en los suelos se clasifican como adecuadas para la producción agrícola (> 4.5 y < 200 mg kg⁻¹)

El cobre tuvo una variación de 0.75 a 1.01 mg kg⁻¹, con un valor promedio de 0.95 mg kg⁻¹, se observó que estas concentraciones están por debajo de los niveles normales para suelos agrícolas (20-30 mg kg⁻¹) y no exceden la concentración para la producción sana de alimentos (23 mg kg⁻¹) según Dinaver, (1972), ni las concentraciones máximas aceptables de la Comunidad Económica Europea (CEE) con 20 mg kg⁻¹. Al comparar las concentraciones encontradas con la norma mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 pueden ser consideradas como de nivel adecuado al igual que en el caso del Fe, (>0.2 y <20 mg kg⁻¹)

El contenido de cinc varió de 1.69 a 2.77 mg kg⁻¹, con una valor promedio de 2.31 mg kg⁻¹, valores que se encuentran por debajo de los rangos normales para la producción sana de alimentos (110 mg kg⁻¹) y dentro del valor común para suelos agrícolas (50 mg kg⁻¹) según Dinaver, (1972). Al comparar los niveles de cinc en suelo con lo que dice la NOM-021-SEMARNAT-2000 se tiene que puede ser clasificada como de nivel adecuado para la producción agrícola (>1.0 y <100 mg kg⁻¹).

Los niveles de manganeso en suelos fue de 5.10 a 7.17 mg kg⁻¹, con una valor promedio de 6.56 mg kg⁻¹, las concentraciones se encuentran dentro del valor común para suelos agrícolas (1000 mg kg⁻¹) y para la producción sana (1500 mg kg⁻¹) según lo marcan las concentraciones máximas aceptables por la CEE (800 mg kg⁻¹).

Al igual que en los anteriores casos al comparar las concentraciones halladas con lo que marca la NOM-021-SEMARNAT-2000 se encuentran en niveles adecuados para ser usados en la producción agrícola (>1.0 y <1000 mg kg^{-1}).

El contenido de Pb en suelos como se pudo observar en el Cuadro 31, fue de 0.10 a 0.66 mg kg^{-1} , con un valor promedio en los seis sitios de 0.21 mg kg^{-1} , valores que se encuentran dentro de los rangos normales para la producción sana de alimentos (20 mg kg^{-1}), no rebasan el valor considerado que causa daño fitotóxico (100 mg kg^{-1}) según Dinaver, (1972), ni las de la CEE (50 mg kg^{-1}). Al comparar los niveles de Pb en suelo con lo marcado por la NOM-021-SEMARNAT-2000, se observa que se encuentra por debajo de los niveles peligrosos (100 mg kg^{-1}).

El contenido de Cd en suelos fue de 0.62 a 0.78 mg kg^{-1} , y un valor promedio en los seis sitios de 0.70 mg kg^{-1} , (Cuadro 34) dichos valores exceden los niveles aceptados como normales para la producción sana de alimentos y para la CEE para ambas referencias (0.1 mg kg^{-1}), y se encontraron dentro de los niveles normales en suelos agrícolas (0.2-1.0 mg kg^{-1}), según Dinaver, (1972). Al comparar los valores encontrados con los de la NOM-021-SEMARNAT-2000, se encuentran por debajo de los niveles tóxicos en suelos (3 mg kg^{-1})

El contenido de Ni en suelos fue de 0.30 a 0.41 mg kg^{-1} , con una valor promedio en los seis sitios de 0.34 mg kg^{-1} , dichas concentraciones no exceden el valor común para suelos agrícolas (50 mg kg^{-1}), ni el considerado para la producción sana de alimentos (35 mg kg^{-1}), no rebasan el valor considerado que causa daño fitotóxico (100 mg kg^{-1}); ni las de la CEE (30 mg kg^{-1}). Se encuentran muy por debajo de los niveles máximos permisibles por la NOM-021-SEMARNAT-2000 que marcan 100 mg kg^{-1} .

En la Figura 15 se presenta en forma gráfica la variación de las concentraciones de metales pesados en los diferentes suelos muestreados que son regados con aguas residuales del canal Chilhuacán.

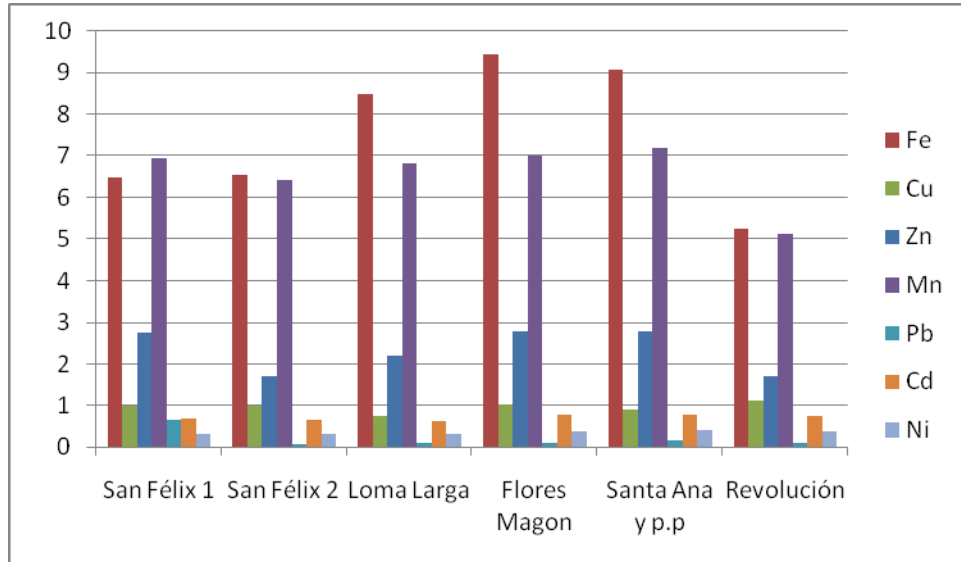


Figura 15. Concentración de metales pesados disponibles en suelos de la zona de riego del canal Chilhuacán

Concentración de metales pesados en plantas de la zona de riego del canal Chilhuacán

El muestreo foliar y de raíz (alfalfa y cilantro) y de fruto (cebolla) se realizó una sola vez, el día 30 de agosto de 2007, debido a que se busco que coincidieran en tiempo y estado vegetativo con lo requerido para los posteriores determinaciones, es decir, en el caso de la alfalfa y cilantro que contaran con una altura mínima de 20 cm y en el caso de la cebolla que se hubiera desarrollado ya el fruto para ser analizado.

En el Cuadro 32, se muestran las concentraciones de metales pesados, obtenidos mediante el análisis foliar de los cultivos de alfalfa y cilantro, además del análisis de fruto realizado al cultivo de cebolla, dichos valores fueron comparados e interpretados de acuerdo con lo marcado por Kabata-Pendías y Pendías, (1992), es decir, en función de la concentración encontrada en los tres cultivos y clasificado en: deficiente, normal y tóxica para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Cuadro 32. Concentración de metales pesados (mg kg^{-1}) en plantas de alfalfa, cilantro y cebolla (en base húmeda)

Sitio	Cultivo	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni	Fe
San Félix 1	Cilantro	19.23	114.88	2.25	ND	2.04	0.70	2767.28
San Félix 2	Alfalfa	29.30	53.98	1.13	ND	2.25	ND	1152.45
Loma Larga	Alfalfa	6.63	59.40	0.38	1.31	1.11	0.91	1691.03
Revolución	Alfalfa	20.30	154.55	1.65	0.67	0.34	2.82	4144.75
San Félix 1	Cebolla	15.55	115.78	0.40	0.24	ND	3.22	2688.00
San Félix 2	Cebolla	8.13	48.60	0.33	ND	0.49	3.10	590.48
Concentración deficiente (a)		10 a 20	10 a 30	2 a 5	-----	-----	-----	-----
Concentración normal (a)		27 a 150	30 a 300	5 a 30	5 a 10	0.05 a 0.2	0.1 a 5	-----
Excesivo o tóxico (a)		100 a 400	400 a 1000	20 a 100	30 a 300	5 a 30	10 a 100	-----

Fuente: Análisis de laboratorio. ND: No detectado por espectrofotometría de absorción atómica. (a) según Kabata-Pendias y Pendias, 1992

Cilantro

Para el caso del Zn en el cultivo de cilantro presentó una concentración de 19.23 mg kg^{-1} en el único sitio muestreado, es decir, San Félix 1, valor que se encuentra dentro de los rangos normales según lo marcado por Kabata-Pendias y Pendias, (1992) y Adriano, (2001). En el caso del Mn presentó una concentración de $114.88 \text{ mg kg}^{-1}$ en el único sitio muestreado, es decir, San Félix 1, que se encuentra dentro de los rangos considerados como normales. Para el caso del Cu se registró una concentración de 2.25 mg kg^{-1} en el sitio muestreado, lo cual resultó deficiente según lo marcado por Kabata-Pendias y Pendias, (1992), para contenido de Cu en cultivos.

En el caso del Pb, la concentración encontrada en el sitio muestreado fue tan pequeña que no pudo ser detectada por el aparato de espectrofotometría de absorción atómica, lo que indica que su presencia en cilantro es prácticamente nula. El Cd en este cultivo presentó una concentración que excede apenas lo marcado como normal, según Kabata-Pendias y Pendias, (1992), lo que hace no recomendable el ingerir este cultivo, por existir un riesgo de contaminación por Cd.

Para el caso del Ni, se presentó una concentración de 0.7 mg kg^{-1} , la cual se encuentra dentro de los estándares marcados como normales, según Kabata-Pendias y Pendias,

(1992). El Fe presentó una concentración de 2767.28 mg kg⁻¹, la cual a pesar de ser elevada, no se conocen los niveles máximos de tolerancia del cilantro a este metal

Los metales pesados encontrados en el cultivo de cilantro, en función de su concentración fueron:

Fe>Mn>Zn>Cu>Cd>Ni>Pb

Alfalfa

Se observó que para el caso del Zn en el cultivo de alfalfa presentó concentraciones que variaron de 6.63 a 29.30 mg kg⁻¹ en los tres sitios muestreados, es decir, San Félix segunda sección, Loma Larga y Revolución, resultando el sitio de Loma Larga como el único que presentó una concentración deficiente de este metal; por lo que los sitios San Félix 2 y Revolución presentaron concentraciones normales de acuerdo a lo citado por Kabata-Pendias y Pendias, (1992), lo cual indica que dichos forrajes no presentan un problema de contaminación por este metal pesado.

Para el caso del manganeso en el cultivo de alfalfa presentó concentraciones de 53.98, 59.40 y 154.55 mg kg⁻¹ en los sitios San Félix 2, Loma Larga y Revolución, que comparados con lo marcado por Kabata-Pendias y Pendias, (1992) y Adriano, (2001), se observó que el contenido de Mn en alfalfa esta dentro de los estándares normales en los tres sitios que fueron muestreados.

En el caso de cobre en el cultivo de alfalfa se obtuvieron valores de 0.38, 1.13 y 1.65 mg kg⁻¹ en los tres sitios muestreados, que comparados con lo marcado por Kabata-Pendias y Pendias, (1992) y Adriano, (2001), se pudo observar que el contenido de Cu en alfalfa es deficiente en los tres sitios muestreados, por lo que se debe descartar una contaminación en alfalfa por este metal pesado.

El contenido de plomo en alfalfa presentó valores de 0.67 y 1.31 mg g⁻¹ en los tres sitios muestreados, siendo el sitio de Loma Larga el que registró la mayor concentración y el sitio San Félix 2 el de menor al no encontrarse Pb en la muestra, al comparar las

concentraciones encontradas con lo marcado por Kabata-Pendías y Pendías, (1992) y Adriano, (2001), se pudo observar que el contenido de Pb en alfalfa se encuentra por debajo de los estándares normales en los tres sitios muestreados, sin embargo la concentración más elevada que se encontró puede generar algún tipo de riesgo para quienes consuman este forraje.

Los niveles de cadmio en el cultivo de alfalfa variaron de 0.34, 1.11 y 2.25 mg kg⁻¹ en los tres sitios muestreados, al comparar los resultados con lo marcado por Kabata-Pendías y Pendías, (1992) y Adriano, (2001), se observó que el contenido de Cd en los sitios Loma Larga y Revolución fue dentro de los rangos normales, pero en el caso del sitio San Félix 2 se encuentra en el límite entre la concentración normal y la excesiva o tóxica, lo cual hace no apto el consumo de estos forrajes, ya que existe el riesgo de contaminación por Cd en ellos.

El contenido de níquel en alfalfa presentó concentraciones de 0.91 y 2.82 mg kg⁻¹ en los sitios de Loma Larga y Revolución, siendo este último sitio el de mayor concentración, al comparar estos valores con lo marcado por Kabata-Pendías y Pendías, (1992) se observó que el contenido de Ni en alfalfa se encuentra dentro de los rangos normales en cultivos en los dos sitios.

El contenido de hierro en el cultivo de alfalfa se obtuvieron concentraciones de 1152.28, 1691.03 y 4144.75 mg kg⁻¹ resultando el sitio Revolución con la concentración mas elevada, sin embargo es necesario notar que el Fe no cuentan con una concentración máxima permisible o estimable como toxica para cultivos. Sin embargo al comparar estos valores con los encontrados por Bonilla *et al*; (1995), se observó que dichas concentraciones se encuentran muy por arriba de las registradas hace mas de 10 años en alfalfas de la región, lo cual habla de un incremento considerable de este metal, el cual curiosamente es el de mayor contenido en las aguas residuales con que son regados estos cultivos.

Los metales pesados encontrados en el cultivo de alfalfa, en función de su concentración fueron:

Fe>Mn>Zn>Ni>Pb>Cu>Cd

Cebolla

Para el caso de contenido de Zn en el cultivo de cebolla, se registraron valores de 8.13 y 15.55 mg kg⁻¹ en los sitios de San Félix 1 y 2, lo cual es indicador de que la cebolla tiene un bajo contenido de Zn en su fruto, lo cual descarta algún tipo de contaminación por este metal en fruto de esta hortaliza.

Las concentraciones de Mn en el cultivo de cebolla presentaron valores de 48.6 y 115.78 mg kg⁻¹ en los dos sitios muestreados, lo cual indica que al igual que en los demás cultivos, la cebolla tiene un contenido normal de Mn en su fruto, lo que permite decir que la contaminación por este metal no esta presente en ninguno de los cultivos analizados.

El contenido de Cu en las dos muestras de cebolla registraron valores de 0.33 y 0.40 mg kg⁻¹, lo cual confirmó que al igual que en los demás cultivos, presenta un contenido deficiente de esta metal y micronutriente en su fruto.

Los niveles de Pb en la cebolla registraron una concentración de 0.24 mg kg⁻¹ en el sitio San Félix 1, la cual a pesar de ser considerada como baja de acuerdo a lo marcado por Kabata-Pendías y Pendías, 1992 y Adriano, 2001, se puede considerar como riesgoso el ingerir estas cebollas.

Los niveles de Cd en la cebolla registraron en el sitio de San Félix 2 una concentración de 0.49 mg kg⁻¹, que es considerada como riesgosa para el consumo de esta hortaliza según lo marcado por Kabata-Pendías y Pendías, (1992), por lo que no es recomendable consumir este cultivo por el hombre.

El contenido de Ni en el cultivo de cebolla presentó valores de 3.10 y 3.22 mg kg⁻¹ en los dos sitios muestreados, que aunque resultaron concentraciones más altas que en los anteriores cultivos, aun se mantienen dentro de los estándares marcados como normales, por Kabata-Pendias y Pendias, (1992)

Finalmente el contenido de Fe en las muestras del cultivo de cebolla, se observaron concentraciones de 590.48 y 2688 mg kg⁻¹ en los dos sitios muestreados, siendo el sitio de San Félix 1 el que registro la más alta concentración, sin embargo los niveles de este metal fueron menos elevados en comparativa con los otros dos cultivos analizados.

Los metales pesados encontrados en el fruto del cultivo de cebolla, en función de su concentración fueron:

Fe>Mn>Zn>Ni>Cu>Cd>Pb

De lo anterior podemos observar que en los tres cultivos analizados se repiten el Fe, Mn y Zn como los metales de mayor presencia en las muestras de tejido vegetal de los cultivos, los cuales son considerados como micronutrientes para las plantas, sin embargo es necesario notar que a pesar de la baja concentración de Cd y Pb en los cultivos, estos por su alto nivel de toxicidad hacen que dichos cultivos no sean recomendables para su ingestión.

Contenido de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Boro en planta

El muestreo de los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla; además de tener como objetivo analizar el contenido total de metales pesados, también busco conocer la capacidad de incorporación de la planta para incorporar a su estructura elementos o nutrimentos básicos como N, P, K, Ca, Mg y B en los cultivos de alfalfa, cebolla y cilantro.

En el Cuadro 33 se presentan los valores correspondientes a las concentraciones de elementos químicos como nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y boro.

Cuadro 33. Concentración de elementos químicos en cultivos regados con aguas residuales

Sitio	Cultivo	N	P	%			mg kg ⁻¹
				K	Ca	Mg	B
San Félix 1	Cilantro	2.74	0.49	4.81	0.97	0.16	80.75
San Félix 2	Alfalfa	1.37	0.39	0.80	0.60	0.09	52.68
Loma Larga	Alfalfa	1.57	0.47	2.21	0.57	0.11	45.32
Revolución	Alfalfa	1.76	0.22	0.92	0.72	0.12	39.11
San Félix 1	Cebolla	0.98	0.30	1.14	0.33	0.06	42.28
San Félix 2	Cebolla	1.96	0.31	2.75	0.57	0.11	44.84

Fuente: Análisis de laboratorio

Alfalfa

Para el caso del nitrógeno en el cultivo de alfalfa se registraron valores de 1.37, 1.57 y 1.76 % en los sitios de San Félix 2, Loma Larga y Revolución respectivamente, que indican que la alfalfa presentó un contenido medio en el primer sitio y alto nivel de este elemento según la clasificación de Casas y Casas, (1999). Los altos niveles de nitrógeno en las muestras de alfalfa de Loma Larga y Revolución pueden ser ocasionados a que son fertilizados con formulas químicas altamente nitrogenadas, por los elevados requerimientos de este cultivo.

El contenido de fósforo en alfalfa registró valores de 0.22, 0.39 y 0.47% en los sitios Revolución, San Félix 2 y Loma Larga respectivamente, los cuales se clasifican de acuerdo a lo marcado por Casas y Casas, (1999), con un contenido medio de P en el primero de ellos y como elevado en los dos últimos; dicho contenido puede ser ocasionado por el uso intensivo de agroquímicos organofosforados, sin embargo este contenido a pesar de ser elevado no presenta ningún tipo de inconveniente para su consumo por el ganado.

El contenido de potasio en alfalfa presentó valores de 0.80, 0.92 y 2.21% en los sitios San Félix 2, Revolución y Loma Larga respectivamente; dichos valores se clasifican como de contenido medio en los primero dos sitios y elevados en el ultimo de ellos según lo marcado por Casas y Casas, (1999).

El calcio en el cultivo de alfalfa registro valores de 0.57, 0.60 y 0.71% en los siendo la alfalfa del sitio de Revolución la que presentó la concentración más elevada; sin embargo las tres muestras analizadas se clasificaron como con un contenido medio de Ca según lo marcado por Casas y Casas, (1999).

El magnesio registró valores de 0.09, 0.11 y 0.12 % en alfalfa, dichos valores clasifican al primero de ellos como deficiente de magnesio y en las dos muestras siguientes como con un contenido normal, al comparar con lo marcado por Casas y Casas, (1999).

Cilantro

El cultivo de cilantro presentó un contenido de nitrógeno de 2.74% en su estructura foliar y radicular, en la muestra tomada del sitio de San Félix 1, que clasifica como de contenido alto en cilantro, de acuerdo a Casas y Casas, (1999).

El cilantro presentó un contenido de fósforo de 0.49% en el sitio de San Félix 1, que se puede considerar como una concentración media y/o normal, según lo marcado por Casas y Casas, (1999).

También registró un contenido de potasio de 4.81% en el sitio de San Félix 1, el cual clasifica como muy elevado para estar presente dentro de la estructura foliar de esta planta aromática.

El contenido de Ca registró un contenido de 0.97% en el sitio San Félix primera sección, el cual se clasifica como una concentración normal en cultivos según los autores anteriormente mencionados.

Para el caso del contenido de Mg registró un valor de 0.16% que según lo establecido por los autores anteriores es una concentración normal de Mg.

Cebolla

El contenido de N en el cultivo de cebolla fue de 0.98 y 1.96% en los sitios de San Félix primera y segunda sección respectivamente, valores que clasifican como de un contenido bajo y alto, sin embargo estos contenidos de N en cebolla no hacen a este cultivo riesgoso para consumo.

Los niveles de fósforo en su fruto fueron del orden de 0.30 y 0.31% en los sitios de San Félix 1 y 2 sección respectivamente, que al igual que en el caso del cilantro son valores considerados como normales en cultivos agrícolas en general.

El contenido de K en cebolla fue del orden de 1.14 y 2.75%, que representan un contenido medio y alto de K respectivamente en la estructura del fruto de esta hortaliza.

Los niveles de Ca en la estructura de la cebolla fueron del orden de 0.33 y 0.57% en los dos sitios muestreados y al igual que en los demás cultivos, contó con una concentración normal, aun que en este caso el contenido de calcio se determino en el fruto de la cebolla.

El Mg en la estructura de la cebolla presento valores de 0.06 y 0.11% los cuales se clasifican como de carácter deficiente y normal respectivamente, de acuerdo a lo marcado por Casas y Casas, (1999).

En la Figura 16 se muestra de forma grafica el contenido de los elementos antes citados en los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla; así como los sitios de donde fueron tomadas las muestras de tejido vegetal.

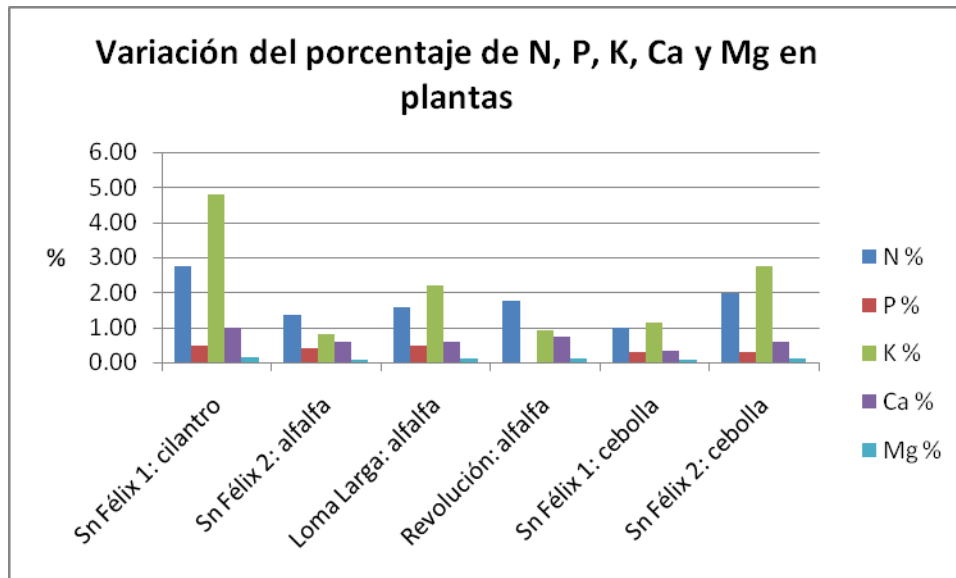


Figura 16. Contenido de N, P, K, Ca y Mg en cultivos regados con aguas residuales

Contenido de B en alfalfa

Los niveles de boro en el cultivo de alfalfa fueron del orden de 39.11, 45.32 y 52.68 mg kg⁻¹, siendo la muestra del Sitio de San Félix 2 el de mayor concentración. Al comparar dichas concentraciones con lo señalado por Dinaver, (1972) que establece como >200 ppm la concentración tóxica de B en las plantas y Mengel y Kirkby, (1987), que señalan como >10 ppm el límite de contenido de B en cultivos; se puede decir que los valores de boro encontrados en alfalfa se encuentran en un nivel medio entre estos dos límites, es decir, rebasan lo establecido por Mengel y Kirkby pero no lo establecido por Dinaver, por lo cual no es recomendable dar este forraje al ganado, ya que cuando los animales absorben grandes cantidades de boro en un periodo de tiempo corto a través de la comida o el agua, los órganos reproductivos masculinos son afectados.

Contenido de B en cilantro

En el caso del cilantro presentó una concentración de 80.75 mg kg⁻¹, es la más alta tanto en alfalfa como en cebolla; dicha concentración excede el límite de Mengel y Kirkby, (1987), pero esta aun lejana a la encontrada por Dinaver, (1972), por lo que no sería recomendable ingerir este cultivo debido a posibles problemas de salud.

Finalmente en el caso de la cebolla se registraron valores de 42.28 y 44.84 mg kg⁻¹, los cuales presentan un comportamiento semejante al de la alfalfa, pero, se consideran de mayor riesgo al encontrarse estas en el fruto del cultivo.

En la Figura 17 se observan los niveles de boro en los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla, así como los sitios de los cuales fueron tomadas las muestras de tejido vegetal.

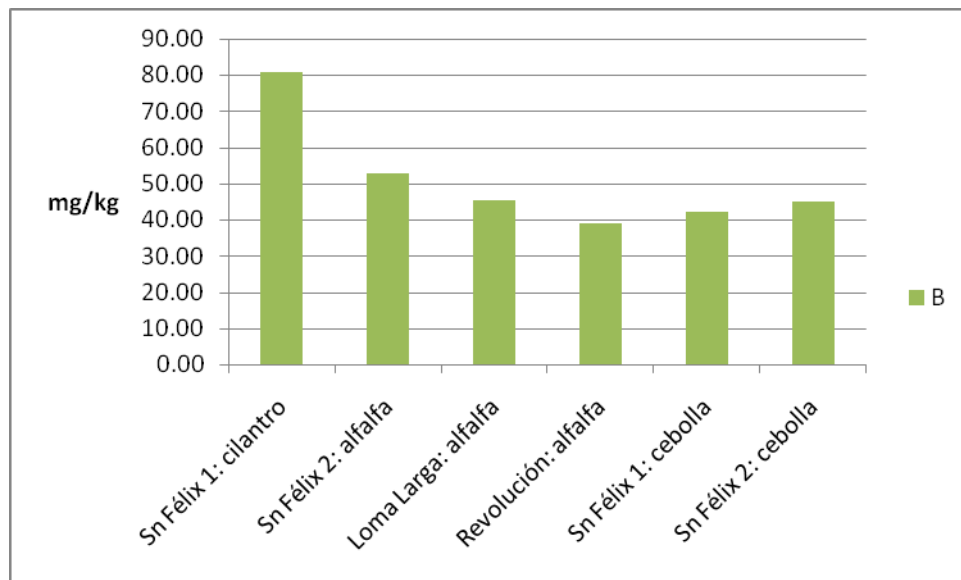


Figura 17. Contenido de B en cultivos regados con aguas residuales

Análisis estadístico del contenido de metales pesados en suelo y planta

Con el objetivo de establecer el comportamiento de los metales pesados contenidos en los suelos y cultivos que fueron muestreados y posteriormente analizados, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson, en base a los sitios de muestreo (6 sitios) y los cultivos muestreados (alfalfa, cilantro y cebolla), todo lo anterior mediante la utilización de un software estadístico (SPSS). Los resultados obtenidos mediante los análisis estadísticos se observan en los Cuadros 34, 35 y 36.

Cuadro 34. Análisis de correlación de Pearson para los metales pesados y materia orgánica en suelo y planta

Relaciones		Nivel de significancia	
		1%	5%
Cd	Ni	0.943	
Fe	Cd2		0.839
Mn	Fe	0.977	
MO	Cd2		0.824
MO	Ni		0.903

MO: Materia orgánica. 2: indica que es un parámetro en planta.

Con base en los resultados de los análisis de correlación de Pearson realizados a las concentraciones de metales pesados localizados en suelo y en cultivos, se pudieron observar cinco relaciones significativas, dos de ellas del orden del 1% y tres de ellas del orden del 5%.

La primera relación encontrada se dio entre los metales Cd y Ni ambos en suelo, con una correlación altamente significativa del 0.94, es decir, al 1% lo cual indica que cuando la concentración del Cd aumentó en el suelo la concentración de Ni aumentó proporcionalmente, con ello se establece una conducta del contenido de ambos en un futuro, basándose en el hecho que uno se comporta en función del otro.

La segunda relación que se observó fue entre el Fe en suelo y el Cd en los cultivos, con una correlación significativa de 0.84, con un nivel de probabilidad del 5%, lo que implica que cuando la concentración de Fe aumentó en el suelo, la concentración de Cd aumentó en los cultivos; dicha relación permite establecer un comportamiento de estos dos metales pesados tanto en el suelo como en el cultivo.

La tercera relación que se presentó fue entre el Mn y el Fe en cultivos, con una correlación altamente significativa del 0.97, que la ubica con nivel de probabilidad al 1%, que indica que cuando la concentración de Mn en los cultivos aumentó, la concentración del hierro también, prácticamente a la misma proporción.

La siguiente relación que se registró fue entre la materia orgánica (MO) y el Cd en suelo, con una correlación significativa del 0.82, es decir, al 5%, de manera que cuando el contenido de MO en suelo aumentó, la concentración de Cd en suelo se incremento también. Esta correlación corrobora lo encontrado por Casas y Casas, (1999) en cuanto a que el contenido de MO en suelo es un factor determinante del contenido de metales pesados, ya que su contenido limita el movimiento de los metales en el suelo.

La MO registró también una relación con el Ni en suelo, con un nivel de probabilidad del 5%, lo cual indica que cuando el contenido de MO en suelo aumentó, la concentración de Ni en suelo se incremento también; dicha correlación corrobora lo marcado por Casas y Casas, (1999) en cuanto a que el contenido de MO en suelo es un factor determinante del contenido de metales pesados, ya que su contenido limita el movimiento de los metales en el suelo.

En el Cuadro 35 se presentan los resultados del análisis de correlación de Pearson realizado a los parámetros químicos que fueron determinados a los suelos durante este trabajo de investigación.

Cuadro 35. Análisis de correlación de Pearson de los parámetros químicos en suelo

Relaciones		Nivel de significancia	
		1%	5%
Mo	Mg		0.857
CE	B		0.871
N	Ca		0.866
K	P	0.991	
P	Ca		0.894
Ca	Mg	0.919	
Mg	P		0.917
Ca	K		0.899
K	Mg	0.943	

Fuente: Elaboración propia, MO: Materia orgánica.

Con base a lo mostrado en el Cuadro 35, la primera relación encontrada fue entre la materia orgánica (MO) y el Mg, con una correlación del 0.86, es decir, del orden de 5% de significancia, dicha correlación corrobora lo marcado por Casas y Casas, (1999) en cuanto a que el contenido de MO en suelo es un factor determinante del contenido de metales, ya que su contenido limita el movimiento de los metales en el suelo. Por lo que se puede decir que cuando el contenido de MO aumentó en el estrato del suelo, la concentración de magnesio aumentó también.

La relación entre la conductividad eléctrica (CE) y el B, con una correlación del 0.88, que la ubica al nivel de 5% de significancia, lo anterior indica que cuando la CE en suelo aumentó, la concentración de boro aumentó proporcionalmente también en los suelos.

La tercera relación fue entre el N y Ca, con una correlación del 0.86, que la ubica como del 5% de significancia, que indica que cuando el contenido de N en suelo aumentó, la concentración de calcio en planta también aumentó.

La siguiente relación que se presentó fue entre el K y P, con una correlación altamente significativa de 0.99, que es del orden de 1%, que implica que cuando el contenido de K aumentó, el contenido del P también aumentó progresivamente en función del primero, lo cual muestra que el comportamiento del fósforo está limitado por la conducta del potasio, al menos en los suelos de esta zona.

La relación entre el P y Ca, presentó una correlación de 0.89, es decir, de un nivel de 5% de significancia, que implica que cuando el contenido de P en suelo aumentó, la concentración de Ca en suelos aumentó también, por lo que el aumento o disminución del contenido de este, se encuentra en función directa del comportamiento del fósforo.

La siguiente relación fue entre el Ca y Mg con una correlación altamente significativa de 0.92, que la ubica con un nivel de 1% de significancia, e implica que cuando el contenido de Ca se elevó en el estrato del suelo, la concentración de magnesio

también de forma proporcional al primero, lo cual confirma lo reportado por Dinaver, (1972) y Casas y Casas, (1999).

La relación entre el Mg y P en suelo presentó una correlación de 0.91, es decir, del nivel de 5% de significancia, que indica que cuando la concentración de Mg en suelo aumentó, la concentración de P también, por lo que en los suelos de la zona de riego del canal, el contenido de fósforo se presenta en función del magnesio.

La siguiente relación registrada fue entre el Ca y el K, con una correlación de 0.90, es decir, del orden del 5% de significancia, lo cual indica que cuando la concentración de Ca aumentó en el estrato del suelo, la concentración de K aumentó también en cada uno de los sitios, lo cual demuestra que el contenido de potasio en suelo depende en gran manera del comportamiento del calcio.

La última relación que se presentó fue entre el K y Mg, con una correlación altamente significativa de 0.94, es decir, del nivel de 1% de significancia, lo cual indica que cuando la concentración de K aumentó en el estrato del suelo, la concentración de Mg aumentó proporcionalmente, por lo que el contenido de magnesio en el suelo de la zona, depende de forma directa del contenido de potasio.

Las relaciones encontradas mediante la aplicación de un análisis de correlación de Pearson entre nutrientes esenciales para los cultivos analizados durante este trabajo se presentan en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Análisis de correlación de Pearson de los parámetros químicos en planta

Relaciones		Nivel de significancia	
		1%	5%
N	K		0.875
N	Ca		0.917
N	Mg	0.964	
Mg	Ca	0.960	
K	B		0.818

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en Cuadro 36, el nitrógeno presentó relaciones con potasio, calcio y magnesio. La primera de ellas con una correlación de 0.88, es decir, del nivel de 5% de significancia, con el calcio con una correlación de 0.92, es decir, del nivel de 5% de significancia y con el magnesio con una correlación altamente significativa de 0.96, es decir, del nivel de 1% de significancia.

De tal manera que cuando la concentración de N aumentó en los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla, el contenido de K aumentó también casi en la misma proporción que el primero en los cultivos muestreados; lo cual confirma lo reportado por Dinaver, (1972), Mengel y Kirkby, (1987) y Casas y Casas, (1999).

Cuando la concentración de N aumentó en los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla, el contenido de Ca se incrementó también casi en la misma proporción que el primero en los cultivos muestreados; que se ajusta a lo reportado por Dinaver, (1972), Mengel y Kirkby, (1987) y Casas y Casas, (1999).

En cuanto a la relación con el magnesio, cuando la concentración de N aumentó en los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla, el contenido de magnesio se incrementó también casi en la misma proporción que el primero en los cultivos muestreados; que confirma lo reportado por Dinaver, (1972), Mengel y Kirkby, (1987) y Casas y Casas, (1999).

Se presentó una relación entre Mg y Ca en cultivos, con una correlación altamente significativa de 0.96, es decir, del nivel del 1% de significancia, que implica que cuando

la concentración de magnesio aumentó en los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla, el contenido de calcio se elevó también casi en la misma proporción que el primero en los cultivos muestreados; que se ajusta a lo reportado por Casas y Casas, (1999).

La última relación encontrada en cultivos fue entre el K y B, con una correlación de 0.82, es decir, del nivel de 5% de significancia, que indica que existe una relación estrecha en cuanto al incremento del contenido de potasio en los cultivos alfalfa, cilantro y cebolla; y el contenido de boro en planta, de manera que se comportan de forma semejante en la estructura de las plantas.

6.4 CONCLUSIONES

Con referencia a los resultados

Suelo

Las concentraciones de metales pesados disponibles como Ni, Zn, Mn y Cu, encontradas en los suelos regados con aguas del canal Chilhuacán, presentaron valores considerados como normales o no dañinos. Solo en los casos del Fe, Cd y Pb se presentaron concentraciones elevadas aunque sin ser nocivas para el suelo en un futuro inmediato.

El alto contenido de materia orgánica encontrado en la zona de estudio, puede ser la explicación del por que se da el bajo contenido de metales pesados en suelo, ya que la MO tiene la capacidad de inmovilizarlos formando complejos, los cuales no permiten a los metales ser disponibles para los cultivos.

El contenido de nitrógeno en suelo resultó ser un factor determinante en el comportamiento de algunos elementos en suelo como el potasio, magnesio, calcio y boro. De acuerdo a los resultados encontrados por este trabajo se puede concluir que el contenido de metales pesados disponibles en suelo, ha disminuido hoy día, si se compara con trabajos hechos con anterioridad.

Planta

Al igual que en el estrato del suelo, el contenido de hierro en los cultivos de cilantro, cebolla y alfalfa resultaron ser muy elevados, aunque no se conocen daños por toxicidad a las plantas por este micronutriente, por lo que sólo se puede decir que la planta esta adsorbiendo este elemento en grandes cantidades, ya que se encuentra disponible en el suelo.

El contenido elevado de nitrógeno en el tejido vegetal y fruto de los cultivos analizados, es ocasionado por el uso persistente de estiércol como fertilizante principal, y de acuerdo al análisis de correlación de Pearson, este elemento esta altamente relacionado con el nivel de adsorción de la planta de otros nutrientes como el potasio, calcio y magnesio.

Se registraron niveles altos de boro en los cultivos analizados, principalmente en la alfalfa, dicho contenido fue absorbido por el forraje de los suelos e incorporado a su estructura, por lo que se corre el riesgo de que este elemento termine en la cadena trófica, ocasionando las mayores afectaciones a los animales que consumen dicho cultivo.

Los niveles de contaminación por metales pesados encontrados mediante los análisis foliares y de fruto de los cultivos de: alfalfa, cilantro y cebolla mostraron que el contenido de estos se encuentra dentro de las concentraciones estándar, según lo referido por los autores mencionados en esta investigación.

Los metales pesados que presentaron la concentración mas elevada, pero sin ser considerada como nociva o toxica para las plantas, fueron Cd y Pb, por lo que no es recomendable consumir estos cultivos, debido a que estos contaminantes pueden trasladarse a los animales y al hombre, para después bioacumarse en el organismo

6.5 LITERATURA CITADA

- Adriano D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments, biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Edition. Springer-Verlag. New York. 867 p.
- Bonilla F. N., Flores L. D., Romero G. H., Valera M. A. P. y González J. M. 1995. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos, planta y agua por efecto de riego con aguas negras en la región de Huaquechula y Atlixco, Puebla. 159 In: Memorias del Simposio Universitario de Edafología. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico, D.F.
- Casas C. A. y Casas B. E. 1999. Análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas en la zona peninsular. Caja Rural de Almería Plaza de Barcelona. 2^{da} Edición. 80-95 p.
- Dinaver R. C. 1972. Micronutrients in agriculture. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin: 243-264 p.
- Kabatas-Pendias A. Y. and Pendias H. Y. 1992. Trace Elements in Soil and Plants. CRC Press Inc. U.E.A. 315 p.
- Kimberly, M. F., y William H. 1999. Trace metals in Montreal urban soils and the leaves of *Teraxacum officinal*. Can. J. Soil Sci. 79:385–387 p.
- Lindsay W. L. y Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA test for soil zinc, iron, manganese and copper. J Am. Sci. Soil 42: 421-428 p.
- López R. J. y López M. J. 1978. El diagnóstico de suelos y plantas: métodos de campo y laboratorio. 3^a Edición. Editorial Mundi-prensa, Madrid. 320 p.
- Mengel, K. and Kirby, E. A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition. International Potash Institute. Bern. Switzerland. 250 p
- NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.
- Rowell D. J. 1994. Soil Science. Longman, Essex, UK. 350 p.
- Sauve S., Henderson W., y Allen H.E. 2000. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. Environ. Sci. Technol. 34:1125–1131 p.

Silva G. S. 2002. Contaminación Ambiental en la región de Atlixco, Puebla, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Campus Puebla. Puebla, México. 117 p.

Westerman R. L. 1990. Soil testing and plant analysis. 3^{er} ed. SSSA Book Series. Wis. USA. 407 p.

VII. CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES QUE UTILIZAN AGUAS RESIDUALES DEL CANAL CHILHUACÁN PARA EL RIEGO DE HORTALIZAS, FLORES Y FORRAJES

PRODUCERS CHARACTERIZATION THAT USES WASTE WATERS OF THE CHILHUACÁN CHANNEL FOR THE IRRIGATION OF VEGETABLES, FLOWERS AND FORAGES

¹Efraín Neri Ramírez, ¹Juan Alberto Paredes Sánchez, ¹Mario Alberto Tornero Campante y ¹Luciano Aguirre Álvarez ¹Colegio de Postgraduados Km. 125.5 Carretera Federal México-Puebla, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla 72760, México. Tel./fax: (22) 2-285 14 43; Tel.: (22) 2-285 14 45. efrainneri@colpos.mx

RESUMEN

En el presente artículo se plantean los aspectos más sobresalientes que se encontraron acerca de los productores que hacen uso de aguas residuales para la irrigación de sus cultivos, dicha investigación partió de la siguiente premisa: El uso de aguas residuales del canal Chilhuacán para la agricultura se encuentra condicionado por las características del productor, su nivel de conocimiento de los efectos en el uso de aguas negras y su actitud ante este problema. Se identificaron las características de los sistemas de producción de hortalizas, flores y forrajes de la zona de estudio, los factores que favorecen o limitan la persistencia del uso de aguas negras para la irrigación de cultivos, determinar el nivel de conocimiento de los productores con respecto a las afectaciones de esta práctica y determinar la actitud de los usuarios ante los efectos contaminantes en sus parcelas y salud ocasionados por el uso de aguas negras. Se aplicó un cuestionario que agrupó esos aspectos, además de llevar a cabo visitas de campo a las parcelas de los productores, una vez hecho lo anterior se logró una caracterización de los productores de la región. Se encontró que existen siete tipos de productores que se diferencian por el tipo de cultivo (forrajes, hortalizas y flores) en el cual se especializan y por el tamaño de la explotación agrícola (<3ha≤6ha y >6 ha) con que cuentan, y se pudo observar que la gran mayoría de ellos tiene conocimiento acerca del grado de contaminación de las aguas y de los riesgos de producir con ellas.

Palabras clave: *agua residual, desconocimiento, actitud.*

ABSTRACT

In the present article the aspects appear as excellent that were it(he,she) brings over of the producers who use waste water for the irrigation of his crops, the above mentioned in this research departed from the premise from that: The use of waste waters of the Chilhuacán channel for the agriculture is determined by the characteristics of the producer, and his level of knowledge of the effects in the use of this waters and his attitudes with this problem. To be able to reject or accept the previous thing there had to be identified the characteristics of the systems of production of vegetables, flowers and forages of the zone of study, find the factors that favor or limit the persistence of the use of black waters for the irrigation of his crops. To determine the level of knowledge of the producers with regard to the affectations of this practice and to determine the attitude of the users with the pollutant effects in his plots and health caused by the use of waste waters. It was necessary to apply a questionnaire that was including these aspects, beside going it finish the interview to key informants and field visits to the plots of the producers, once done the previous thing it achieves a characterization of the producers of the region. Thinking that there exist seven types of producers who differs for the type of crops (forages, vegetables and flowers) in which they specialize themselves and for the size of the agricultural development ($<3 \leq 6\text{ha} >$ 6 ha) that they possess and it was possible to observe that the great majority of they has knowledge its brings over of the degree of pollution of the waters and of the risks of producing with them.

Index words: ***Waste water, ignorance, attitude.***

7.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el campo mexicano presenta graves problemas, pero sin lugar a dudas, uno que por su importancia sobresale es el deterioro ambiental. Un componente notable de este fenómeno es la contaminación del agua de los ríos, manantiales e incluso la extraída de los pozos por bombeo, lo que genera graves problemas para la salud humana en forma directa o a través de la cadena trófica.

El estado de Puebla por su actividad agrícola, ocupa un lugar relevante a nivel nacional en la producción de hortalizas, flores y forrajes; y a su interior el municipio de Atlixco destaca como una zona altamente productiva en hortalizas como cilantro, rabanito, cebolla, lechuga y calabacita, flores: gladiola, terciopelo, crisantemo y nube, así como forrajes: alfalfa, maíz y avena forrajeras. Esta producción a lo largo del tiempo se ha orientado a satisfacer la demanda del mercado local y de las grandes ciudades del centro y sur del país.

En el caso específico del municipio de Atlixco y en particular el canal Chilhuacán, objeto de esta investigación, sus aguas provienen de una derivación del río Nexapa, que presenta descargas de aguas residuales de origen industrial y urbano sin tratamiento alguno (aguas crudas) que aunado al arrastre de gran cantidad de basura a lo largo de su cauce, presentan altos índices de contaminación.

A pesar de la contaminación de las aguas del canal, estas han sido utilizadas en la producción agrícola por más de 100 años, aunque los índices de contaminación se han agudizado en los últimos 30 años, en la actualidad existen cuestionamientos en cuanto a su utilización ya que de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 estas aguas se ubican en la categoría de “aguas condicionadas para uso agrícola”, donde su uso está restringido para cultivos hortícolas y granos, permitiéndose su aplicación a forrajes y ornamentales. Sin embargo, debido a condiciones de uso tradicional y al no existir alternativas de abasto de agua para la agricultura de la región, se considera difícil que los agricultores estén dispuestos a dejar de utilizar dichas aguas y continúen con la práctica de irrigación de sus cultivos.

En este contexto resulta pertinente plantear como preguntas guía de la investigación las siguientes:

- ¿Cuáles son las características de los sistemas de producción hortícola, florícola, y de forrajes de la zona de influencia del canal Chilhuacán?
- ¿Cuáles son los principales factores que favorecen o limitan la práctica de la irrigación de cultivos con aguas negras de la zona de influencia del canal Chilhuacán?
- ¿Cuál es el nivel de conocimiento por parte de los usuarios con relación al grado de contaminación de las aguas del canal Chilhuacán y sus efectos en la salud?
- ¿Cuál es la actitud de los usuarios ante los problemas que genera la aplicación de aguas negras en la producción agrícola?

7.1.1. Objetivo e Hipótesis

Objetivo general

- Caracterizar a los sistemas de producción de los usuarios de las aguas del canal Chilhuacán e identificar el papel que desempeñan en la persistencia de uso en la agricultura.

Hipótesis general

- El uso de aguas negras del canal Chilhuacán para la agricultura se encuentra condicionado por las características del productor, su nivel de conocimiento de los efectos del uso de aguas negras y su actitud ante este problema.

7.2 MATERIALES Y MÉTODOS

7.2.1 Ámbito de la investigación

Atlixco es un municipio del estado de Puebla, que cuenta con un suelo plano, quebrado por estribaciones del Popocatepetl. En 1995 el municipio contó con 112,570 habitantes, representando el 2.5% de la población total del estado, de los cuales 53,510 eran hombres y 58,970 mujeres, con una densidad de población de 514 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km^2) y una tasa de crecimiento anual de 1.33%.

Para el año 2000 la población pasó a 127,311 habitantes, con una densidad de población de $555 \text{ hab}/\text{km}^2$ y en el censo del 2005 contó con una población de 122,149 habitantes, de los cuales 56,813 eran hombres y 65,336 mujeres, con una tasa de crecimiento anual de 0.88% (INEGI, 2005).

La disminución del número de habitantes y las marcadas diferencias de género (mayor número de mujeres que de hombres) en la población en el periodo analizado, se puede explicar por el alto índice de migración hacia los Estados Unidos de Norteamérica que se presenta año con año y que afecta principalmente al género masculino que sale del hogar a una temprana edad (15 años); por lo que la mayor parte de población que se queda esta conformada por mujeres.

El área de estudio comprende la zona de riego del canal Chilhuacán, ubicada al Este del municipio de Atlixco y abarca las comunidades de Santa Ana Yancuilitlalpan, San Félix Almazán, Nexatengo y la Ciénega. El canal tiene una extensión de 4.5 km y beneficia a 680 ha de riego, como se observa en la Figura 18.

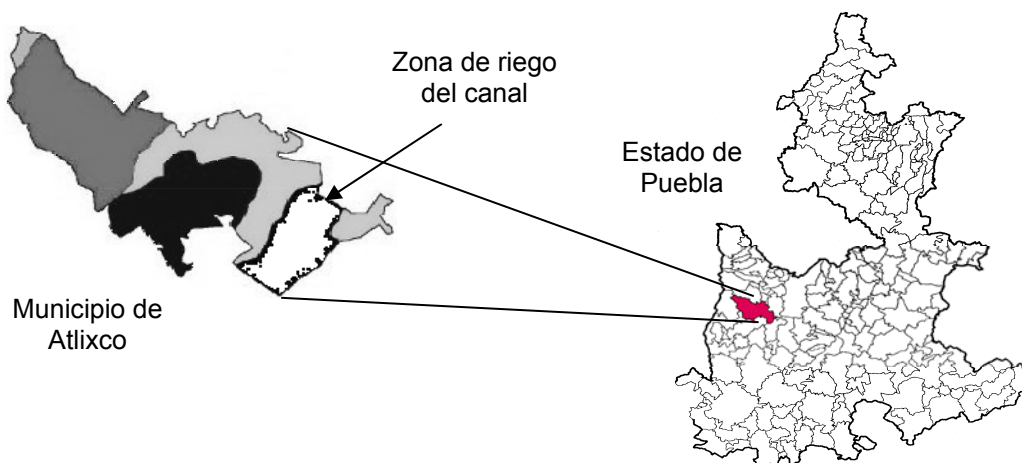


Figura 18. Área de influencia del canal Chilhuacán

Las aguas del canal son utilizadas por un total de 547 productores y se agrupan en seis unidades de riego ejidales que son: San Félix Almazán, Santa Ana Yancuitalpan, Revolución, Ricardo Flores Magón, Xonacayucan y Loma Larga con una superficie ejidal total de 637 ha. Además de dos pequeñas propiedades Maurer y Galeazzi con 40 y 11 ha respectivamente, y así la superficie total beneficiada por las aguas del canal Chilhuacán es de 688 ha. El número de usuarios por unidad de riego se observa en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Unidades de riego del canal Chilhuacán y número de usuarios en cada una de ellas

Unidades de riego	No. de usuarios
Ejido San Félix Almazán	164
Ejido Santa Ana Yancuitalpan	86
Ejido Revolución	139
Ejido Flores Magón	104
Ejido Xonacayucan	24
Ejido Loma Larga	24
Pequeña propiedad Maurer	3
Pequeña propiedad Galeazzi	3
Total	547

Fuente: Padrón de usuarios del modulo de riego 07, Nexapeños del Norte A.C.

Del total de la superficie, al menos 400 ha producen forrajes, mayormente alfalfa y en algunos casos maíz y avena forrajera. Las hortalizas ocupan el segundo sitio en importancia con mas de 200 ha, siendo el cilantro, rabanito y cebolla los cultivos que predominan; el resto de la superficie se distribuye en ornamentales y básicos.

Ahora bien dentro de la problemática que enfrentan los productores de la zona, además del uso de aguas negras para la irrigación, es la difícil comercialización de los productos regados con estas aguas, situación que es aprovechada por intermediarios para ofrecer precios bajos por estos productos, ocasionando afectaciones a la economía de los productores.

7.2.2 Fuentes de obtención de información

Para la obtención de la información se aplicaron diversas herramientas como visitas de campo y cuestionarios. Esta última fue la base de la investigación y se planteo el cuestionario con base a lo recomendado por Pérez, (1994).

7.2.3 Tamaño de muestra. Se consideró como población de estudio al total de usuarios del canal (547 productores), y para determinar la muestra se utilizó la fórmula estadística de varianza máxima, obteniéndose un tamaño de muestra de 60 productores.

La fórmula aplicada para la obtención del tamaño de muestra fue la siguiente:

$$\eta = \frac{N (Z\alpha /2)^2 (pq)}{N d^2 + (Z\alpha /2)^2 (pq)}$$

Donde:

η = tamaño de muestra

N= tamaño de población

$(Z\alpha /2)^2$ = Confiabilidad, se utilizó $\alpha = 0.05$ y $pq = 0.25$

d= error estándar, se utilizó 10% (0.10)

Sustituyendo valores, se tiene que:

$$\eta = 547 (1.64)^2 (0.25) / 547 (0.10)^2 + (1.64)^2 (0.25)$$

Por lo cual:

$$\eta = 60$$

En la búsqueda de representatividad para su análisis estadístico se distribuyó proporcionalmente entre los usuarios de las diversas unidades y pequeñas propiedades.

En el Cuadro 38 se presenta el número de cuestionarios aplicado por unidad de riego, el cual fue calculado a partir de la utilización del factor de muestreo de 0.109 (aproximadamente un 10% de los usuarios de cada unidad) que multiplicado por el número de usuarios de cada unidad dio como resultado el número de productores a entrevistar.

Cuadro 38. Número de cuestionarios por unidad de riego

Unidades de riego	No. de cuestionarios
Ejido San Félix Almazán	18
Ejido Santa Ana Yancuitalpan	9
Ejido Revolución	15
Ejido Flores Magón	10
Ejido Xonacayucan	3
Ejido Loma Larga	3
Pequeña propiedad Maurer	1
Pequeña propiedad Galeazzi	1
Total	60

Fuente: Trabajo de campo

Sin embargo, al momento del levantamiento del cuestionario, se obtuvo información de 61 usuarios, uno más de la propuesta original, debido a la variación observada en la unidad de riego Loma Larga.

7.2.4 Descripción del cuestionario. Con la finalidad de dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas, el cuestionario se integró en tres grandes apartados:

1. Caracterización de las unidades de producción con 23 preguntas que abarcaron características generales de los productores de la zona de estudio, considerando factores como la edad, nivel de estudio, número de integrantes del núcleo familiar, superficie de tierra, padrón de cultivos, costos de producción, administración y uso del agua que hacen los usuarios de la zona para la irrigación de sus cultivos. Además de aspectos como la distribución y/o comercialización de los productos, y el grado de aceptación de los mismos por la población.
2. Nivel de conocimiento sobre los problemas ambientales provocados por las aguas negras del canal, con 16 preguntas que se enfocaron en aspectos relacionados a los efectos de la contaminación en suelos y cultivos. Además de englobar aspectos referentes a las afectaciones que se esperarían encontrar en los suelos, cultivos y salud humana, así como sobre las normativas mexicanas existentes en materia de uso de aguas negras, con el objetivo de dar respuesta a la hipótesis inicial con respecto a los factores que favorecen la persistencia de esta práctica.
3. Un tercer apartado para conocer la visión de los usuarios ante la continuidad del uso de las aguas del canal para fines agrícolas con 19 preguntas que trataron asuntos como la actitud del productor ante la persistencia de esta práctica, la problemática que representa mantenerla, su punto de vista sobre las futuras consecuencias y las posibles soluciones para dejar de usar dichas aguas o al menos mejorar la calidad de las mismas.

El trabajo de campo se llevó a cabo en los meses de mayo y junio de 2007, mediante la aplicación de 60 cuestionarios a los productores y/o usuarios del canal siguiendo el procedimiento definido anteriormente.

7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado se describen los resultados obtenidos a partir de la información recabada en los 60 cuestionarios así como de los recorridos de campo y las entrevistas informales realizadas. La información se presenta organizada en base a los objetivos planteados en la investigación.

7.3.1 Caracterización de los productores

En primer lugar se presentan las características más sobresalientes de los productores que hacen uso de las aguas del canal Chilhuacán en la región de Atlixco, para posteriormente presentar una tipología de productores con la finalidad de pasar de un nivel general a un nivel intermedio de análisis que permita una mayor comprensión de la información obtenida y por lo tanto del problema en estudio.

7.3.2 El productor y su núcleo familiar

El productor de la zona de influencia del canal Chilhuacán, es una persona de edad madura, fundamentalmente hombres, con una tendencia a la búsqueda de estabilidad económica y un marcado arraigo a sus costumbres.

Presenta una edad promedio de 53 años, con una mínima de 25 años, una mediana de 45 años y una máxima de 85 años. En cuanto al rango de edad, el 34.4% (21 productores) con menos de 50 años, el 42.6% (26 productores) tiene entre 50 a 60 años y el 22.9% (14 productores) se ubica entre los 61 a 85 años. Con relación a su clasificación por género el 98.4% son hombres y 1.6% son mujeres.

En el nivel de estudios, resulta importante notar que el 16.4% de los productores entrevistados no tiene ningún tipo de estudio, el 77% cuenta con educación elemental (es decir, primaria completa), el 3.3% cuenta con educación secundaria, el 1.6% realizó estudios de bachiller y finalmente el 1.6% cuenta con estudios universitarios y de posgrado.

En lo que se refiere al número de miembros del núcleo familiar el 16.4% está integrado por tres o menos personas, el 57.4% tiene de cuatro a seis integrantes y el 26.2% es considerado como familia “grande” por integrarse por 7 a 10 miembros. El 83.6% supera a la media nacional y del estado, que es de tres miembros por familia (INEGI, 2000).

Con relación a los integrantes de la familia que trabajan en la explotación agrícola, en el 73.8% de los casos menos de tres miembros de la familia laboran en esta actividad, el 23% trabajan de cuatro a seis personas y el 3.3% cuentan con más de seis miembros que ayudan en la labor.

Con relación a los niveles de escolaridad de los productores, la gran mayoría son bajos, aunque son superiores al de otras regiones del estado. La presencia de productores con licenciatura y postgrado, indica que existe una condición muy diferente a los productores minifundistas de hace unos años atrás, tanto en necesidades como en expectativas. Así mismo, se pudo detectar que un considerable número de productores cuenta con hijos con estudios profesionales y en particular en áreas de la agronomía, los cuales trabajan como corresponsables en la unidad de producción, introduciendo novedades tecnológicas en la búsqueda de la eficiencia productiva de la explotación.

Debido a la fuerte demanda de mano de obra en la producción de hortalizas, forrajes y flores; por el tamaño y dinámica de la familia se esperaría una alta participación del núcleo familiar en la producción, sin embargo solo un porcentaje mínimo de la fuerza de trabajo es realizada por él, ya que la mayoría de los integrantes varones de la familia salen del hogar desde la adolescencia en la busca de otros horizontes, mediante procesos de migración regional, nacional e internacional (a los Estados Unidos). Esta situación es provocada por factores de tipo económico, social y cultural, como es la búsqueda del mejoramiento del nivel de vida, el nivel de disponibilidad de recursos productivos y la disminución del “gusto” por la actividad agrícola. Es importante destacar que la información obtenida corrobora lo descrito por Aguirre

(2007) con respecto a las características más comunes de los productores de hortalizas en el estado de Puebla, como la edad, el tamaño de explotación de la tierra y el tamaño de núcleo familiar.

7.3.3 Tamaño de explotación y tenencia de la tierra

Con relación a la disponibilidad de tierra, la unidad de producción tiene una mediana de tres hectáreas, con un mínimo de media hectárea y un máximo de 40 hectáreas. Por lo tanto la explotación dominante es minifundista, ya que el 96.72% cuenta con hasta cinco ha, mientras que el 1.64% se puede considerar como de tamaño medio al contar con más de cinco y hasta 11 hectáreas, mientras que sólo el 1.64% de las explotaciones se considera grande y que cuenta con más de 15 hectáreas, sin superar las 40 hectáreas (Cuadro 39). Es necesario resaltar que la totalidad de la superficie de la zona de influencia del canal Chilhuacán es de regadío.

Cuadro 39. Clasificación de las explotaciones por superficie

Clasificación	Superficie (ha)	Frecuencia	Porcentaje (%)
Minifundio	0.5 a 5.5	59	96.72
Mediana	6 a 15	1	1.64
Grande	>15	1	1.64

Fuente: Trabajo de campo

Con relación a la tenencia de la tierra, el tipo predominante es el ejidal con un 83.6% de la superficie, seguido por la combinación ejido-pequeña propiedad con un 9.8%, la pequeña propiedad con un 3.3%, la combinación ejido-renta con un 1.6% y finalmente el tipo de sólo renta tuvo el 1.6%, en este caso el usuario entrevistado no pertenece a las comunidades de la zona de riego (Cuadro 40).

Cuadro 40. Tipo de tenencia de las explotaciones de la zona de influencia del canal

Tenencia de la tierra	Frecuencia	Porcentaje (%)
Solo ejido	51	83.60
Solo pequeña propiedad	2	3.28
Ejido y pequeña propiedad	6	9.83
Ejido y rentan	1	1.64
Solo rentan	1	1.64

7.3.4 El factor agua

La zona de estudio sólo cuenta con aguas residuales superficiales (aprovechamiento del río Nexapa) para la actividad agrícola, ya que no existen pozos profundos por ser una zona de veda, por lo tanto existe una disponibilidad limitada de agua, que en época de estiaje hace más grave esta situación, por lo que un elevado número de productores con superficies mayores a tres hectáreas recurren a la compra de horas agua (alrededor de \$50.00 la hora) a otros usuarios para abastecer las necesidades de sus cultivos.

En cuanto al costo del agua, es conveniente mencionar que los usuarios del canal Chilhuacán solo pagan una cuota anual, que se aplica para el mantenimiento de las redes de conducción, ya que el costo por hectárea de riego es de alrededor de \$100.00.

El desarrollo de la infraestructura de conducción y manejo del agua se puede considerar como deficiente, ya que todos los productores entrevistados manifestaron que la conducción de las aguas de la derivación del río a la parcela se realiza con canal de tierra y pequeños tramamos de canaleta. A nivel parcela, en el 100% de los casos se utiliza el sistema de riego “rodado por gravedad”. Esta es una de las características de atraso tecnológico en cuanto a la explotación eficiente del agua, situación que se ve aún más agravada con la dispersión de las parcelas, ya que en ocasiones el agua tiene que recorrer distancias superiores a los cinco kilómetros del canal principal a la parcela, por lo que se tienen grandes pérdidas de agua por evaporación y percolación.

En cuanto a la repartición del agua en las ocho unidades, se hace mediante el tandeo del volumen total del agua que es conducida por el canal (alrededor de 600 l s^{-1}), de tal manera que los usuarios de cada unidad puedan regar al menos dos veces al mes sus cultivos, aunque se encontró que existen productores que riegan hasta tres veces al mes sus cultivos, recurriendo a la compra de horas de agua y al uso de un jagüey que se encuentra en la parte media de la extensión del canal, para poder almacenar y regar sus parcelas por la noche para evitar la evaporación.

7.3.5 Maquinaria agrícola e insumos

Considerando que el desarrollo tecnológico de la actividad agrícola depende en gran medida de la disponibilidad y tipo de maquinaria empleada, se puede afirmar que el productor de la zona de influencia del canal Chilhuacán realiza un uso intensivo de ésta, ya que el 60% cuenta con tractor y sus implementos, el 30% cuenta con yunta y el 10% no tiene ninguna de las dos, siendo su equipo de trabajo las herramientas básicas para labores y aplicación de agroquímicos, este tipo de productor renta el servicio de maquinaria disponible en la misma localidad.

Con relación a los insumos agrícolas, se presenta una fuerte dependencia con el mercado internacional, ya que las semillas mejoradas están en manos de transnacionales, sin embargo es importante destacar que en el área de estudio se usan en casos particulares semillas producidas localmente, como es la alfalfa y la gladiola. En relación a los fertilizantes químicos la industria nacional, también ha cedido terreno a empresas transnacionales, así mismo se pueden encontrar agroquímicos que en otros países están prohibidos (como es el caso de: Aldrin, D.D.T., Bromuro de Metilo y Paration) debido a una deficiente regulación y control de los mismos por las autoridades locales, regionales y nacionales.

7.3.6 La producción de cultivos

La superficie total que manejan los 61 productores entrevistados es de 200 hectáreas, de las cuales el 100% cuenta con riego. Con relación a la intensidad del uso de la tierra, los productores realizan de uno hasta tres cultivos en un año agrícola, teniéndose un índice promedio en la explotación de la tierra de 2.5 cultivos por año, es decir explotan el equivalente a 500 hectáreas. Con referencia a la variedad de cultivos, se producen nueve cultivos diferentes, sin embargo, su producción se concentra por orden de importancia en alfalfa, cebolla, cilantro, maíz y rabanito con el 80% de la superficie sembrada.

La intensidad en el uso del suelo está determinada en gran medida por el predominio de cultivos que se pueden sembrar prácticamente todo el año, sin que se establezca una definición clara entre los ciclos (ejemplo: el cilantro y rabanito), dependiendo más de las variedades utilizadas e intereses del productor y presentando sólo como limitantes las correspondientes a la presencia de plagas, enfermedades y condiciones climáticas extremas.

7.3.7 Costos de producción de cultivos

Un factor importante dentro de este trabajo de investigación fue sin lugar a dudas, el conocer de primera mano en primer lugar la variedad de cultivos que se siembran en la zona de estudio y por consiguiente sus costos de producción, de tal forma que se pudiera indagar en el hecho de que tan rentables son las unidades de producción. Se seleccionaron los tres cultivos más representativos, agrupándolos en dos tipos, es decir, forrajes (alfalfa) y hortalizas (cebolla y cilantro).

Cultivo de alfalfa

En la zona de estudio este forraje es uno de los más importantes por la superficie con que cuenta. En el Cuadro 41 se presenta el análisis desglosado de costos de este cultivo, en el cual se puede observar un costo total de producción de \$16,580.00 por ha, los demás conceptos se presentan en el mismo Cuadro 41.

Cuadro 41. Costo de establecimiento del cultivo de alfalfa por hectárea

CONCEPTO	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	IMPORTE (\$)	COSTO TOTAL
Preparar terreno						2360.00
	Barbecho	paso	1	700.00	700.00	
	Rastra	paso	2	680.00	1360.00	
	Melgueo	paso	1	300.00	300.00	
Fertilizacion organica						800.00
	Abono	tonelada	5	100.00	500.00	
	Mano de obra	jornal	2	150.00	300.00	
Fertilizacion						4900.00
	18-46-00	kg	300	5.00	1500.00	
	superfosfato	kg	100	6.00	600.00	
	urea	kg	500	5.00	2500.00	
	Mano de obra	jornal	2	150.00	300.00	
Siembra						4120.00
Semilla var. Atlixquena F1	Semilla	kg	40	82.00	3280.00	
	Maquina siembra	pieza	1	300.00	300.00	
	Rastra de ramas	paso	1	300.00	300.00	
	Mano de obra	jornal	2	120.00	240.00	
Emergencia de semilla						1100.00
	Riegos	riego	2	100.00	200.00	
	Mano de obra	jornal	6	150.00	900.00	
Crecimiento						3300.00
	Riegos	riego	8	100.00	800.00	
	Mano de obra	jornal	8	150.00	1200.00	
	Herbicida	l	1	550.00	550.00	
	Insecticidas y fung.	l	1	300.00	300.00	
	Fertilizante foliares	lote	1	150.00	150.00	
	Mano de obra	jornal	2	150.00	300.00	
Total establecimiento						16580.00

Fuente: Aguirre, 2007 y trabajo de campo

Es importante notar del Cuadro 41, que se aplican en promedio ocho riegos por hectárea para el establecimiento de este forraje, teniendo en cuenta que el valor aproximado de cada uno de ellos es de \$100 por riego/ha, puede considerarse como notablemente bajo al compararlo con los costos de bombeo por extracción de agua de pozos profundos (se considera un costo promedio de \$200.00. por riego/ha), por lo que el hacer uso de estas aguas residuales es considerablemente más rentable que las aguas subterráneas, sin embargo, desde el punto de vista ambiental no es así, debido al daño que puede ocasionar a los suelos y cultivos.

Así mismo, al identificar los costos promedio para el desarrollo y manejo en un periodo de tres años de este cultivo se determinó un costo de \$18,600.00 por ha, donde el costo del riego apenas significa el 6.45% del costo total representado por 12 riegos por año/ha, con lo cual se reafirma el hecho de que el costo del agua es simbólico, ya al ser comparado con la extracción de agua, esta alcanza más del 50% del costo total de la producción (Cuadro 42).

Cuadro 42. Costo de cultivo de alfalfa, producción por 3 años (2006-2009) por hectárea

CONCEPTO	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	IMPORTE (\$)	COSTO TOTAL
Fertilizacion						4600.00
	18-46-00	kg	300	4.00	1200.00	
	superfosfato	kg	100	6.00	600.00	
	urea	kg	500	5.00	2500.00	
	Mano de obra	jornal	2	150.00	300.00	
Crecimiento						4800.00
	Riegos	riego	12	100.00	1200.00	
	Mano de obra	jornal	12	150.00	1800.00	
	Insecticidas y fung.	l	3	300.00	900.00	
	Fert y horm foliares	l	3	150.00	450.00	
	Mano de obra	jornal	3	150.00	450.00	
Cosecha						9200.00
	Corte y alomillado	paso	10	120.00	1200.00	
	Mano de obra	jornal	10	150.00	1500.00	
Empacadora	Costo por paca	paca	1300	5.00	6500.00	
Total desarrollo						\$ 18,600.00

Fuente: Aguirre, 2007 y trabajo de campo

Los costos promedio para el desarrollo y manejo a tres años que es la vida media del mismo, debido a que este cultivo es cortado en periodos de 45 días de forma incesante hasta ser reemplazado por uno nuevo. De manera que conjuntando los precios por: fertilización, crecimiento, cosecha y el empacado del forraje, oscilan entre un valor promedio de \$18,600.00. Es necesario, hacer mención que en algunos casos la vida media de este forraje excede los 3 años, llegando a cambiarlo por uno nuevo hasta en 5 años, y en cuanto al volumen de agua que recibe por año una hectárea de alfalfa es de poco mas de 10 m³, es decir, alrededor de 30 m³ de agua en tres años que se mantiene el cultivo.

Una vez presentado los costos de establecimiento y producción calculados a tres años, es necesario presentar ahora las expectativas de producción desde el punto de vista de ingresos que genera, mediante un análisis económico que a continuación se muestra en el Cuadro 43.

Cuadro 43. Análisis económico del cultivo de alfalfa por hectárea

ANÁLISIS ECONÓMICO		
Producción esperada	pacas/ha/año	1300
Precio medio esperado	\$/paca	\$ 45.00
Ingreso esperado	\$/año	\$ 58,500.00
Costo de producción	Estab./3 años	\$ 5,526.67
	Producción	\$ 18,600.00
	Suma Total	\$ 24,126.67
Utilidad esperada	\$/año	\$ 34,373.33

Fuente: Aguirre, 2007 y trabajo de campo

Cultivo de cebolla

El proceso de establecimiento y desarrollo del cultivo de cebolla (ciclo de producción de 90 días) es uno de los más costosos, debido a que se contemplan aspectos como la preparación del terreno, la fertilización, la siembra, labores de cultivo, riegos, manejo de plagas y enfermedades, lo cual genera un costo de desarrollo de \$16,413.00 . Si se suma a esto los costos de cosecha y transportación, los costos se elevan hasta \$24,033.05, dicho valor queda amortizado al 100% y genera una utilidad/ha de \$20,966.50, lo cual lo hace un cultivo atractivo para los productores de la zona de estudio, no obstante de que es un cultivo que requiere grandes laminas de riego para su producción.

Una vez hecha la valoración anterior, se puede decir que el cultivo de cebolla representa para los productores, un importante ingreso, tan solo comparable con el ofrecido por algunas flores como la gladiola, ya que sus costos de establecimiento y desarrollo son muy parecidos; sin embargo la cebolla presenta un mejor precio en el mercado a lo largo del año en comparación con la gladiola, que se vende solo por épocas, lo cual convierte a la cebolla como esencial para la economía de la región.

Al comparar los ingresos que genera este cultivo contra los generados por la alfalfa se observa que, los costos de producción son más elevado en el caso de la hortaliza, así como las utilidades, sin embargo la producción de alfalfa produce un menor daño a los suelos debido a que para su establecimiento se requiere la aplicación de menor cantidad de agroquímicos que para la cebolla. En los Cuadros 44 y 45 se presentan los costos promedio de establecimiento y un análisis económico del cultivo de cebolla.

Cuadro 44. Costo de establecimiento y desarrollo por ha del cultivo de cebolla
(Ciclo de desarrollo de 90 días)

CONCEPTO	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	IMPORTE (\$)	COSTO TOTAL
Preparar terreno						1313.00
	Barbecho	paso	1	713.00	713.00	
	Rastra	paso	2	300.00	600.00	
Fertilizacion						950.00
	Abono	tonelada	5	100.00	500.00	
	Mano de obra	jornal	3	150.00	450.00	
Siembra						5350.00
Compra de semilla	Semilla	kg	30	150.00	4500.00	
	Surcado	paso	1	400.00	400.00	
	Mano de obra	jornal	3	150.00	450.00	
Labores de cultivo						4500.00
Trabajos	Aporque y escarda	paso	3	250.00	750.00	
Destape	Mano de obra	jornal	5	150.00	750.00	
Deshierbe manual y destape (lafan)	Mano de obra	jornal	10	150.00	1500.00	
	Herbicida	l	3	450.00	1350.00	
	Mano de obra	jornal	1	150.00	150.00	
Riegos						2500.00
	Suministro de agua	riego	10	100.00	1000.00	
	Mano de obra	jornal	10	150.00	1500.00	
Manejo de plagas y enfermedades						1800.00
Manejo de plagas	Compra Plaguicidas	lote	2	750.00	1500.00	
Aplicacion	Mano de obra	jornal	2	150.00	300.00	
Costo total produccion						16413.00
Cosecha						6800.00
	Tule	ramo	8	100	800.00	
	Mano de obra	jornal	40	150.00	6000.00	
Total de costos de produccion incluida cosecha						23213.00
Transporte						820.50
Viaje a Atlixco	Canioneta propia	gasolina (l)	10	7.05	70.50	
cargador	Mano de obra	jornal	5	150.00	750.00	
Total desarrollo						\$ 24,033.50

Cuadro 45. Análisis económico del cultivo de cebolla por hectárea.

ANÁLISIS ECONÓMICO		
Producción esperada	manojos	3,000
Precio medio esperado	\$/pieza	\$ 15.00
Ingreso esperado	\$/ha	\$ 45,000.00
Costo de producción	costos/ha	\$ 24,033.50
Utilidad esperada	\$/ha	\$ 20,966.50
Precio de equilibrio	\$/pieza	\$ 8.01
Tiempo siembra-cosecha meses		3
Utilidad esperada/mes		\$ 10,483.25

Cultivo de cilantro

Los costos de establecimiento y desarrollo del cultivo de cilantro son muy parecidos al de la alfalfa. Los costos de establecimiento fueron de \$15,320.00 que aunado a los costos de cosecha y transporte para comercialización su costo total se eleva a un valor de \$18,550.55 por hectarea. Que genera una utilidad neta de \$21,449.50 lo cual convierte al cultivo de cilantro en uno de los más rentables y de facil acomodo en el mercado.

Un aspecto destacado de este cultivo es que al ser de ciclo corto (45 días) el productor tiene la oportunidad de sembrar justo cuando el mercado mas requiere este producto. Se puede decir que este cultivo es uno de los que equilibra la economia de los productores de la región, ya que al presentarse gran variedad en cuanto a los cultivos que se producen, existe una mayor probabilidad de que aunque se presente una baja en los precios de alguno de ellos, al menos uno puede presentar un buen precio y con ello amortizar al resto de los cultivos.

Es necesario mencionar que para la producción de cultivos como cilantro y cebolla, se hace uso de un tractor para casi todas la labores desprendidas de la producción agricola, asi como tambien un seguimiento y manejo de la misma por gente capacitada, lo cual hace que dificilmente se presenten problemas en la producción de cilantro y cebolla, y hace que los productos sean comercializados en tiempo, forma y buen precio en la mayoría de los casos.

En los Cuadros 46 y 47 se presentan los costos de establecimiento, desarrollo y un análisis económico del cultivo de cilantro.

Cuadro 46. Costo de establecimiento y desarrollo por ha del cultivo de cilantro.

CONCEPTO	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	IMPORTE (\$)	COSTO TOTAL
Preparar terreno						1900.00
	Barbecho	paso	1	800.00	800.00	
	Rastra	paso	2	350.00	700.00	
	Surcado a nivel	paso	1	400.00	400.00	
Fertilizacion orgánica						800.00
	Abono	tonelada	5	100.00	500.00	
	Mano de obra	jornal	2	150.00	300.00	
Fertilizacion química						3280.00
	urea	kg	200	5.00	1000.00	
	18-46-00	kg	600	2.80	1680.00	
	Mano de obra	jornal	4	150.00	600.00	
Siembra						1350.00
Compra de semilla	Semilla	saco 10 kg	3	300.00	900.00	
Siembra	Mano de obra	jornal	3	150.00	450.00	
Labores de cultivo						2500.00
Trabajos	Aporque y escarda	paso	3	250.00	750.00	
Herbicida Luron 45	Compra herbicida	l	2	350.00	700.00	
Aplicacion de herbicida	Mano de obra	jornal	2	150.00	300.00	
Deshierbe manual y destape	Mano de obra	jornal	5	150.00	750.00	
Riegos						2500.00
	Suministro de agua	riego	10	100.00	1000.00	
	Mano de obra	jornal	10	150.00	1500.00	
Manejo de plagas y enfermedades						2900.00
Manejo de enfermedades	Compra fungicidas	lote	2	750.00	1500.00	
Manejo de plagas	Compra insecticidas	lote	1	500.00	500.00	
Aplicacion	Mano de obra	jornal	6	150.00	900.00	
Costo total produccion						15230.00
Cosecha						3320.50
	Compra de tule	rollo	10	100.00	1000.00	
Corte	Mano de obra	jornal	10	150.00	1500.00	
Viaje a Atlixco	Camioneta propia	gasolina (l)	10	7.05	70.50	
cargador	Mano de obra	jornal	5	150.00	750.00	
Total de costos de produccion incluida cosecha					\$	18,550.50

Cuadro 47. Análisis económico por hectárea del cultivo de cilantro.

ANÁLISIS ECONÓMICO		
Producción esperada	tonelada	20
Precio medio esperado	\$/tonelada	\$ 2,000.00
Ingreso esperado	\$/ha	\$ 40,000.00
Costo de producción	costos/ha	\$ 18,550.50
Utilidad esperada	\$/ha	\$ 21,449.50
Precio de equilibrio	\$/pieza	\$ 927.53

Con relación al nivel tecnológico para la producción, se observó que existen diferencias notables entre usuarios, ya que los pequeños propietarios al concentrar la mayor superficie de tierra y contar con un poder adquisitivo elevado, se traduce en mayores inversiones hacia la mejora de la producción que aunado a un mejor posicionamiento en el mercado son los que presentan una mayor rentabilidad de su unidad de explotación. Así mismo, es necesario mencionar que casi la totalidad de los productores utiliza el tractor para las principales labores de cultivo, además de contar con un vehículo exclusivo para el manejo de insumos y la producción.

7.3.8. Establecimiento y utilización de tipologías

En la estructura y funcionamiento de explotaciones agropecuarias, intervienen una gran diversidad de variables (físico, biológicas, socioeconómicas, culturales, etc.) presentándose un alto grado de heterogeneidad de las mismas, por lo que se establecen mecanismos de clasificación para su análisis, de esta manera una tipología de explotaciones permite reducir la diversidad existente, a un nivel tal que facilita su análisis, sin caer en el excesivo particularismo, ni en la generalidad de la información que restaría capacidad de interpretación (Aguirre, 2007).

Se reconoce que no existen tipologías de aplicación universal, se elaboran a partir del objetivo que pretenda cumplir y éste determina la selección de criterios y atributos a utilizar en cada caso. Así, se pueden aplicar métodos univariados ó multivariados, estos últimos pueden ser clasificados en unidimensionales ó multidimensionales.

Con la finalidad de dar un mejor manejo a la información desprendida de este trabajo, se estableció una clasificación de explotaciones a partir de las variables de: 1) dimensión física y 2) diversidad de la explotación en cuanto a su grado de especialización en la producción agrícola.

1.- Dimensión física, definida por el tamaño de la explotación:

- a) Pequeña explotación. Hasta 2.9 hectáreas de superficie.
- b) Mediana explotación. De tres a seis hectáreas.
- c) Gran explotación. Superior a seis hectáreas.

2).- Diversidad de la actividad de la explotación, definida por el grado de especialización en cultivos agrícolas, entendido como el porcentaje de superficie del cultivo agrícola dominante (forrajes, hortalizas y ornamentales) con respecto al total de la superficie que maneja la explotación.

- a) Productor forrajero. La unidad de explotación dedica más del 50% de la superficie a la producción de forrajes.
- b) Productor ornamental. La unidad de explotación dedica más del 50% de la superficie a la producción de cultivos ornamentales.
- c) Productor hortícola. La unidad de explotación dedica más del 50% de la superficie a la producción de hortalizas.

De las combinaciones posibles de estas variables se identificaron siete tipos dominantes y sobre éstos se llevó a cabo el análisis de la información obtenida. Los tipos identificados se pueden observar en el Cuadro 48. Otras variables descriptivas utilizadas, que complementan esta clasificación son: la edad del productor, nivel de estudios, tamaño de la familia, disponibilidad de maquinaria agrícola y transporte de sus productos.

Cuadro 48. Tipología de explotaciones a partir de las variables seleccionadas

Superficie	No. de usuarios	Especialización	No. de usuarios	Caracterización
Pequeña explotación (0-2.9 ha)	34	P. Forrajero	22	Tipo 1. Explotación pequeña con producción dominante de forraje.
		P. Ornamental	4	Tipo 2. Explotación pequeña con producción dominante de ornamentales.
		P. Hortícola	8	Tipo 3. Explotación pequeña con producción dominante de hortalizas.
Mediana explotación (3-6 ha)	25	P. Forrajero	22	Tipo 4. Explotación mediana con producción dominante de forrajes.
		P. Hortícola	3	Tipo 5. Explotación mediana con producción dominante de hortalizas.
Gran explotación (>6 ha)	2	P. Forrajero	1	Tipo 6. Explotación grande con producción dominante de forraje.
		P. Hortícola	1	Tipo 7. Explotación grande con producción dominante de hortalizas.

Fuente: Trabajo de campo

7.3.9 Tipología de los productores de la zona de influencia del canal Chilhuacan

En este apartado se describen las características de los tipos de explotación identificados.

Tipo 1. Explotación pequeña con producción dominante de forraje

En este tipo de explotación se integró a 22 productores (36.5%) con una edad promedio de 53 años, con cinco integrantes por familia, las actividades agrícolas las realizan principalmente con mano de obra familiar. Estas explotaciones cuentan en promedio con una superficie de 2.5 ha y son tierras ejidales, dedicadas de forma dominante a la producción de forrajes. Para llevar a cabo su actividad disponen y/o

alquilan tractor para las labores de preparación del terreno. El 100% dispone de un vehículo (camioneta pick up, modelo con menos de 10 años de antigüedad).

No cuenta con infraestructura específica para su almacenamiento, su producto se vende principalmente en el mercado local, es común la venta a intermediarios en la parcela, y vende productos en los mercados regionales.

Tipo 2. Explotación pequeña con producción exclusiva de ornamentales

En este tipo de explotación se integró a cuatro productores (6.25%) con una edad promedio de 47 años, con seis integrantes por familia de los cuales tres aportan la mano de obra familiar en actividades agrícolas y el resto estudian y no participan en la actividad productiva. Estas explotaciones cuentan en promedio con una superficie de 2.0 ha y son tierras ejidales, las cuales son dedicadas de forma dominante a la producción de cutivos ornamentales a lo largo del año. Al igual que en la explotación tipo 1, los productores cuentan con un vehículo automotor tipo pick up, sin embargo en este caso el modelo cuenta con menos de 5 años de antigüedad y es usado para el transporte del producto de la parcela al mercado. El productor perteneciente a este grupo no cuenta con infraestructura especializada para el manejo post-cosecha de las flores, es decir, deben vender sus productos en un tiempo corto ya que la vida media de las flores es de tres a cinco días después de cosechada. La mayor parte de la producción se comercializa en el mercado local, aunque en épocas festivas el nicho de mercado se amplía a mercados regionales y nacionales.

Tipo 3. Explotación pequeña con producción dominante de hortalizas

En este tipo de explotación se integró a ocho productores (13.11%) con una edad promedio de 50 años, con cinco integrantes promedio por familia, participando la totalidad de ellos en la producción de hortalizas. La superficie promedio de este grupo de productores es de 2.1 ha con un tipo de tenencia ejidal, y en las cuales se produce de forma dominante hortalizas de ciclo corto. El productor cuenta con vehículo automotor tipo pick-up y en la mayoría de los casos con camioneta de 3 toneladas de capacidad de carga con menos de 5 años de antigüedad para el proceso de

producción, cosecha y comercialización de sus cultivos. En cuanto al aspecto de infraestructura especializada para el almacenamiento de las hortalizas, la gran parte de los productores no cuentan con un espacio determinado, por lo que la práctica más común es cosechar y llevar al mercado de forma inmediata el producto. Los nichos de mercado a los que se dirigen estos cultivos son principalmente para alcances locales (Atlixco) y en algunos casos regionales (central de abastos de Puebla).

Tipo 4. Explotación mediana con producción exclusiva de forrajes

En este tipo de explotación se ubicó a 22 productores (36.06%) con una edad promedio de 60 años, un número de integrantes promedio de familia de tres, participando sólo uno de ellos en las labores de producción, de manera que la mayor parte de la fuerza de trabajo proviene de asalariados con un número aproximado de cinco jornales permanentes. La superficie promedio de este tipo de productor es del orden de 3 ha, son ejidales en su mayoría, y que al igual que el “tipo 1” produce forrajes de forma dominante, mayormente alfalfa. Este grupo de productores cuenta con al menos 2 vehículos automotores de tipo pick up y de carga que son usados para el proceso de producción, cosecha y comercialización de los forrajes. En el aspecto de infraestructura la mayoría de los productores cuenta con una bodega para el almacenamiento de los forrajes. Su producto lo orientan predominantemente para la alimentación de su propio ganado y en menor medida para el mercado local.

Tipo 5. Explotación mediana con una producción dominante de hortalizas

En este tipo de explotación se ubicó a tres productores (4.9%) con una edad promedio de 49 años y con un número promedio de integrantes de familia de cuatro individuos, de los cuales dos participan en la producción de hortalizas y contratan de dos o más asalariados. La superficie promedio de esta explotación es de 3.5 ha que en su mayoría son ejidales, en las que se produce de forma exclusiva hortalizas al igual que en el “tipo 3”, sin embargo en éste caso se lleva a cabo una mayor intensidad en la explotación de la tierra a lo largo del año. Este grupo de productores cuenta con dos o más vehículos automotores tipo pick-up y de carga, que son usados para las diferentes fases de la producción. Este tipo de explotación no cuenta con infraestructura

especializada para el almacenamiento de los productos. En cuanto al nicho de mercado que se dirigen las hortalizas, se mantiene la tendencia hacia el mercado local.

Tipo 6. Explotación grande con una producción exclusiva de forrajes

En este tipo de explotación se ubica a un productor (1.64%) con una edad de 40 años y con seis integrantes de familia, sin embargo sólo uno participa de la fuerza laboral, por que hace uso de al menos 10 jornaleros. Cuenta con 11 hectáreas en la modalidad de pequeña propiedad y produce en forma dominante forrajes.

El productor perteneciente a este tipo de explotación cuenta con al menos 3 vehículos automotores del tipo pick-up y camiones de carga que son utilizados en las diferentes fases de la producción forrajera. El productor cuenta con infraestructura necesaria para el almacenamiento de la producción en forma de pacas, lo cual le permite guardar su forraje y sacarlo al mercado en las épocas de mayor precio. Si bien, con su producción satisface las necesidades alimentarias de su ganado, alrededor del 50% del producto es dirigido a los mercados local y regional.

Tipo 7. Explotación grande con una producción exclusiva de hortalizas

En este tipo de explotación se encuentra un sólo productor (1.64%), con una edad de 45 años y un número de integrantes del núcleo familiar de cinco, de los cuales sólo uno participa en la actividad agrícola y hace uso de al menos 20 asalariados para las labores de producción a lo largo del año. La superficie con la que cuenta es de 40 ha dedicadas de forma dominante a la producción de hortalizas, con un tipo de tenencia de la tierra de pequeña propiedad.

El productor cuenta con cinco vehículos automotores del tipo pick-up y de carga para las diferentes fases de producción. En el aspecto de infraestructura de almacenamiento, el productor cuenta con un espacio determinado para ese uso que le permite al igual que en el caso anterior, guardar su producción y sacarla al mercado cuando más demanda se tiene de ella. Debido a que este productor cuenta con una

especialización de hortalizas, los mercados se amplían para él, por lo que comercializa en mercado local, regional y hasta nacional.

7.3.10. Nivel de conocimiento de la contaminación de las aguas residuales por los usuarios

Con la finalidad de adentrar en la comprensión del nivel de conocimiento de los productores, con respecto al nivel de contaminación de las aguas, las afectaciones al medio ambiente y salud humana, se incorporaron 13 preguntas al cuestionario, a continuación se describen los principales resultados:

Para la explotación “Tipo 1”, se presenta un conocimiento medio (50% del total entrevistado) sobre el nivel de contaminación de las aguas con que riegan, por lo cual la mitad de los productores entrevistados (11 usuarios) no conocen en lo absoluto las condiciones y/o la carga contaminante que contienen dichas aguas, este hecho implica que un gran número de ellos riega sin saber los riesgos que corre y los daños que puede ocasionar a su suelo y cultivo. Sin embargo algunos de ellos dijeron haber presentado afectaciones en suelo y cultivos al menos en una ocasión, es decir, se presenta una formación de “nata” en el suelo después de aplicar el agua y una “quema” de los cultivos al aplicar el primer riego sobre ellos.

En el caso de la explotación “Tipo 2”, el 75% de sus integrantes manifestó que saben que las aguas que conduce el canal están contaminadas y las usan para regar cultivos ornamentales en los que se especializan y sólo un usuario dijo desconocer que las aguas presentan algún tipo de contaminación, sin que esto signifique un problema ya que estos cultivos no son para consumo humano y pueden ser cultivados sin ninguna restricción.

En el caso de la explotación “Tipo 3”, el 37.5% (3 productores) dijo conocer que las aguas que usan para el riego de sus hortalizas se encuentran contaminadas, y el restante 62.5% (5 productores) dijo desconocerlo y mucho menos que representen un peligro de posibles afectaciones a sus parcelas y hortalizas en las que se especializan.

Lo anterior puede catalogarse como grave ya que estos productores muestran poco interés en los aspectos relacionados con las fuentes y el grado de contaminación de las aguas con que riegan sus cultivos en particular las hortalizas; cultivos restringidos para su producción con estas aguas por los daños que pueden llegar a ocasionar a la salud humana.

En el caso de la explotación “Tipo 4”, el 59.1% (13 usuarios) conoce que las aguas con que riegan sus parcelas están contaminadas, aunque no saben con certeza en qué grado. El restante 40.9% (9 productores) dijo desconocer que dichas aguas estuvieran contaminadas, y mucho menos que de seguir usándolas se pudieran presentar problemas, tanto en los suelos como en la calidad de sus forrajes.

Para la explotación “Tipo 5”, el 66.6% (2 usuarios) tiene conocimiento sobre los niveles de contaminación de las aguas del canal, y aun así persiste en la producción de hortalizas, ya que representa una fuente de ingresos importante para las arcas familiares. El 33.3% (un usuario) dijo desconocer que las aguas estuvieran contaminadas, por lo que ha persistido en la producción de hortalizas, este hecho es de consideración, ya que en este tipo de explotación se produce a una escala mayor que en el “Tipo 3”.

Para el caso de la explotación “Tipo 6”, conformada por un solo productor especializado en forrajes, dijo tener conocimiento que las aguas están contaminadas en un alto grado, sin embargo durante la entrevista mencionó que considera que no existen problemas por su orientación productiva hacia forrajes.

Finalmente para la explotación “Tipo 7”, conformada por un sólo productor especializado en la producción de hortalizas, dijo saber que existe un problema de contaminación de las aguas, sin embargo manifestó desconocer el tipo de agentes contaminantes que contiene y también el nivel de ellos en las aguas.

A partir de lo anteriormente citado, se puede decir que los productores que presentaron el mayor nivel de conocimiento e interés sobre los niveles de contaminación de las aguas y efectos, se especializan en la explotación de forrajes y ornamentales, cultivos para los cuales no está restringido su riego con estas aguas y que no representan un riesgo para la salud al no ser de consumo humano. Por otro lado los productores que manifestaron un menor nivel de conocimiento y desinterés sobre el grado de contaminación de las aguas y sus efectos, resultaron ser los que se especializan en la producción de hortalizas, hecho grave ya que precisamente estos cultivos no pueden ser regados con aguas residuales, debido a las afectaciones que puede llegar a ocasionar en quienes consuman estos productos. De forma general se puede concluir en este apartado que, existe un nivel de información superior al 50% con respecto a la contaminación y efectos, sin embargo predomina entre los usuarios el desinterés ante esta problemática, tal vez justificado por el hecho de que las aguas residuales son la única fuente de este vital líquido para actividad agrícola.

7.3.11. Actitud de los productores ante los daños ocasionados por esta práctica

Con el objetivo de introducirse en la comprensión de la “actitud del productor” hacia la problemática del uso de aguas residuales en el riego de sus cultivos, se incorporaron 16 preguntas al cuestionario, las cuales se integraron en tres subgrupos y son los siguientes: a) Actitud ante los daños ocasionados a la salud humana, b) Relación entre la persistencia de esta práctica con el aspecto económico que genera y representa, y c) Expectativas hacia el futuro en el uso de aguas residuales para riego agrícola.

a) Actitud ante los daños ocasionados a la salud humana

En la cuestión de actitud de los productores ante los posibles daños a la salud que pueden presentarse debido al contacto con aguas y productos contaminados, se observó en las diferentes “Explotaciones Tipo”, lo siguiente.

En la explotación “Tipo 1”, se encontró que el 90.1% (20 usuarios) considera que no han presentado problemas de salud ocasionados de forma directa por el contacto con las aguas y productos regados con los mismas, sin embargo dijeron presentar problemas gastrointestinales y cutaneos pero el productor no hace la asociación de sus padecimientos con esta actividad, ya que son atribuidos a otras causas, por lo que presentan una actitud de indiferencia ante los problemas ocasionados por las aguas contaminadas; mientras que el 9.9% (dos usuarios) asocia este tipo de padecimientos (enfermedades cutaneas como erupciones y hongos) al uso de estas aguas, lo cual ha generado en ellos una preocupación, ya que dicen desconocer el tipo de contaminantes que contienen las aguas.

En el caso de la explotación “Tipo 2”, se encontró que los productores pertenecientes a este grupo, presentan una actitud un tanto distinta al interior ya que el 75% (tres usuarios) dijo conocer sobre sus efectos en la salud y haber presentando algun tipo de padecimiento relacionado con el uso de estas aguas, sin embargo a pesar de una actitud de preocupación, los productores argumentaron no contar con otra fuente de abasto de agua, por lo que sólo les resta ser más cuidadosos al tener contacto con las mismas. El 25% (un usuario) dijo desconocer acerca de los efectos a la salud que puede ocasionar el contacto con el agua y/o los productos regados con ellas, presentando una posición de desinterés ante el problema ya que descarta la existencia de daños reales ocasionados por esta práctica.

Para el caso de la explotación “Tipo 3”, se encontró que el 62.5% (5 usuarios) dijeron saber sobre los efectos e implicaciones a la salud por el uso de aguas residuales en la producción y más aun en las hortalizas, sin embargo su actitud es que no creen que las enfermedades sean ocasionadas de forma directa por el contacto con las aguas y los productos regados con ellas, ya que comentan que cada hortaliza cosechada es lavada antes de ser comercializada. El 37.5% (3 usuarios) comentó desconocer por completo los efectos a la salud ocasionados por esta práctica y mucho menos dijo haber padecido algun malestar, tanto por contacto directo con las aguas como por consumir las hortalizas que ellos producen. Por lo que se puede afirmar que en este tipo de

explotaciones domina una actitud de indiferencia ante los problemas causados por el uso de aguas residuales.

Para el caso de la explotación “Tipo 4”, se registró que el 68.2% (15 usuarios) sabe acerca de los efectos a la salud que provoca el uso de aguas contaminadas en el riego de sus forrajes, sin embargo, al igual que en los casos anteriores, no consideran que los padecimientos que han presentado se deban al agua contaminada ya que es una actividad de bajo riesgo. El 31.8% (7 usuarios) dijo desconocer toda información con respecto a los efectos a la salud, y comentó que no existe ningún riesgo por seguir con esta práctica, ya que a lo largo de los años no han presentado ningún problema. En general en este tipo de explotaciones domina la actitud de indiferencia anteriormente mencionada.

Para el caso de la explotación “Tipo 5”, el 66.6% (2 usuarios) comentó conocer de primera mano los efectos a la salud ocasionados por el contacto directo con estas aguas, ya que han presentado al menos una vez, algún tipo de padecimiento principalmente en la piel, sin embargo dijeron que no representa un peligro el consumir las hortalizas producidas, debido a que a través de los años jamás se ha presentado algún caso de enfermedad relacionado con el consumo de las mismas. El 33.3% (1 usuario) dijo desconocer los efectos a la salud que puede ocasionar el uso de estas aguas y aún más el consumir hortalizas regadas bajo estas condiciones, por que desde su punto de vista no existe mayor problema con seguir con esta práctica.

El único productor que pertenece a la explotación “Tipo 6”, comentó que conoce acerca de las posibles afectaciones a la salud para aquellos que tienen un contacto directo con las aguas del canal, aunque no considera que sus forrajes se vean afectados por esta práctica ya que los animales consumen este cultivo y no el ser humano. Según el productor entrevistado ninguno de sus trabajadores ha padecido de algún tipo de enfermedad de la piel y mucho menos entérica, por lo que rechaza que esta práctica pueda ocasionar daños severos a la salud.

Al igual que en la anterior explotación “Tipo 7”, al ser cuestionado sobre este aspecto respondió que conoce de las implicaciones a la salud del uso de estas aguas, aunque comenta que él realiza un transplante de plántula en las parcelas y sólo hace uso de estas aguas para su crecimiento, lo cual reduce el contacto con esta fuente de contaminación por lo que no son afectadas en un grado grave.

Una vez comentando lo anterior se puede decir que, en la mayoría de las Explotaciones Tipo se han presentado padecimientos (enfermedades estomacales y de la piel) las cuales pueden ser causadas por las aguas residuales, no obstante para los productores estas no son ocasionadas de forma directa por esta práctica, por lo que sólo un grupo pequeño de ellos considera como riesgoso el regar con estas aguas los diversos cultivos de la zona de influencia del canal. De forma general se puede concluir que la actitud predominante en el usuario es de indiferencia ante esta problemática, situación que se considera grave en particular en las explotaciones productoras de hortalizas, y sólo una minoría de ellos muestra una preocupación por los efectos ocasionados a la salud.

b) Relación entre la persistencia de esta práctica con el aspecto económico que genera y representa.

En cuanto al papel que desempeña para la economía familiar esta práctica, en las siete explotaciones tipo, la actividad agropecuaria representa la fuente de mayor ingreso y en algunos casos la única para poder dar sosten a las necesidades del núcleo familiar.

Además de que un aspecto importante para que esta práctica persista en esta región, es que los costos del agua son prácticamente nulos, ya que sólo pagan una cuota anual para mantenimiento de las redes de conducción que se refleja en un costo por riego de \$100.00, que al ser comparado con productores de otras partes del estado de Puebla que riegan con aguas de pozo profundo, donde además de la inversión inicial en la perforación y equipamiento del pozo profundo (se estima una inversión de alrededor \$1,200,000.00) así como de los costos de mantenimiento y reparación del

equipo de bombeo, se tienen altos costos de energía para la extracción del agua; por lo que regar con aguas superficiales del río Nexapa que hace que sea relativamente barato, sobre el entendido de que éstas se encuentran contaminadas.

Finalmente un aspecto que fue cuestionado, se relacionó con la persistencia de la producción de hortalizas bajo estos regimenes, si la gran mayoría de los usuarios conoce de las restricciones de los mismos, a lo que contestaron que este tipo de cultivos se han producido por años y no se han presentado problemas de salud ni deterioro grave de sus suelos, aunque un factor que favorece su persistencia es el hecho de que estos cultivos cuentan con un precio considerablemente alto a lo largo del año y su aceptación por los mismos es buena.

c) Expectativas hacia el futuro en el uso de aguas residuales para riego agrícola.

En este apartado se buscó conocer de primera mano las expectativas de los productores a futuro de seguir con esta práctica, así como las posibles soluciones que permitan dejar de usar estas agua para uso agrícola.

En el caso de los integrantes de la explotaciones Tipo 1 a Tipo 5, el 59.1% de los usuarios señalaron que de seguir usandose estas aguas no se presentaría ningún tipo de problema en sus parcelas, cultivos y salud, ya que consideran que con el establecimiento de una nueva normatividad con referencia a las descargas industriales y urbanas, que obliguen al tratamiento de sus aguas residuales, la contaminación disminuirá al paso de los años. En cambio, el 40.9% mencionó que de seguir con esta práctica, en un futuro se presentarán afectaciones graves al medio ambiente y a la salud humana.

Al ser cuestionados sobre cuales serian las posibles soluciones a esta problemática, el 51.6% mencionó que debe instalarse una planta de tratamiento de aguas, el 26.6% comentó que la mejor solución seria perforar pozos profundos, mientras que el 20% dijo

que la mejor opción sería sembrar sólo cultivos que no se consumen por el ser humano y el 1.6% restante expresó que no existe alternativa y/o solución para esta problemática (Cuadro 49).

Cuadro 49. Alternativas al uso de aguas residuales en la agricultura para las explotaciones Tipo 1 a 5

Alternativa	Usuarios	%
Planta de tratamiento de aguas	31	51.66
Perforar pozos profundos	16	26.66
Sembrar cultivos que no se consumen en fresco	12	20
Ninguna	1	1.66

Fuente: Trabajo de campo

En el caso de las explotaciones Tipo 6 y 7, expresaron que sin lugar a dudas en un futuro se incrementarían los problemas de contaminación a las parcelas, daños al medio ambiente y la salud humana, destacando que están dispuestos a apoyar las estrategias que se juzguen pertinentes para aminorar el daño y de forma progresiva se disminuya el uso de estas aguas.

En cuanto a las posibles soluciones para esta problemática, ambos coincidieron en que la mejor opción es descontaminar las aguas a la entrada del canal o aguas arriba mediante la implementación de una planta de tratamiento de aguas, la cual ellos saben sería de un costo elevado, por lo que estarían interesados en conocer algún otro proceso que no implicara una inversión muy alta.

Cabe destacar en este rubro que prácticamente la totalidad de los usuarios entrevistados, se mostraron con la mejor disposición de invertir en la mejora de la calidad de las aguas, ya que por el momento son las únicas con las que cuentan.

7.4 CONCLUSIONES

Con base en los aspectos analizados durante esta investigación se pueden mostrar las siguientes conclusiones, que fueron ordenadas en función de los objetivos del trabajo de tesis, de los resultados obtenidos y finalmente las posibles soluciones a esta problemática que enfrenta la región de Atlixco, Puebla.

a) Referente al objetivo de la investigación

Partiendo del análisis realizado a la información recabada mediante trabajo de campo, los resultados obtenidos y su consiguiente interpretación, se puede decir que se contrasta la hipótesis con que se partió en esta investigación y que afirma que: “El uso de aguas negras del canal Chilhuacán para la agricultura se encuentra condicionado por las características del productor, su nivel de conocimiento de los efectos por el uso de aguas negras y su actitud ante este problema”.

De manera que las conclusiones que a continuación se presentan tratan de dar respuesta a los objetivos planteados en un principio, con base en los resultados encontrados a lo largo de la elaboración de este trabajo de tesis.

b) Referente a los resultados de la investigación

En cuanto a las características identificadas en los sistemas de producción de hortalizas, flores y forrajes de la zona de estudio, se puede decir que:

Existen al menos siete tipos de productores que se diferencian principalmente por su tamaño de explotación y especialización de cultivos en la zona de estudio. La gran mayoría de los productores son personas maduras de más de 50 años y con un promedio de cuatro integrantes de familia, donde la mayor parte de los jóvenes varones emigran hacia los Estados Unidos de Norteamérica.

El tipo de cultivo que predomina en la zona de estudio es el forraje con aproximadamente 400 ha (58.82%) de la superficie total, siendo la producción de alfalfa la de mayor proyección, las hortalizas y flores ocupan el segundo y tercer lugar respectivamente, con alrededor de 280 ha (41.17%).

En lo referente al nivel de conocimiento de los productores con respecto a las afectaciones de esta práctica se puede concluir que el 51% de los productores sabe que las aguas están contaminadas y consideran que los efectos en la salud ocasionados por el contacto directo con aguas residuales son relativamente bajos, aunque no descartan que el uso de las mismas pueden ocasionar daños en sus parcelas y mayormente en los cultivos.

En cuanto a la actitud de los usuarios ante los efectos contaminantes en sus parcelas y salud ocasionados por el uso de aguas negras, se presentó una paridad en relación con la ideología de que, a pesar de saber que las aguas están contaminadas, no pueden dejar de usarlas ya que son las únicas con las que cuentan para la producción. Por lo que la actitud del 96.7% de los productores fue de desinterés ante este problemática y el restante 3.3% mostró una actitud de preocupación al considerar que los daños al medio ambiente y salud son realmente tangibles y graves hoy día.

En relación con las posibles soluciones se presentó un consenso entre la mayoría de los productores acerca de que solo existen tres caminos a seguir para dar solución a esta problemática: a) Establecer una planta de tratamiento b) Perforar pozos profundos y c) Cambiar el padrón de cultivos. Cabe mencionar que el productor promedio de la zona, esta en la mejor disposición de participar y aportar en la búsqueda de una solución que logre disminuir las afectaciones al medio ambiente, por lo que sería conveniente estudiar a fondo las opciones de solución que existen, con la finalidad de encontrar la que más se adecue a los factores de eficiencia y factibilidad de costos.

c) Sobre futuras líneas de acción

Sería importante llevar a cabo un análisis exhaustivo de las condiciones de salud en la que se encuentran los usuarios de estas aguas, mediante análisis clínicos a los productores en primer lugar, lo cual podría permitir conocer los daños reales que son ocasionados de forma directa por el contacto con las aguas del canal Chilhuacán, así como de los principales consumidores de estos productos, para poder tener la certeza de que los cultivos regados con aguas residuales son o no dañinos para la salud humana. Además de sería conveniente revisar los historiales médicos de las casas de salud, hospitales regionales, etc., para conocer cuales son la enfermedades mas recurrentes de la zona.

Un factor importante que sería recomendable estudiar a corto plazo es el relacionado con los sedimentos que son retenidos en los jagüeyes y canales en forma de azolve, ya que estos pueden contener metales pesados en su estructura, y el peligro de estos se manifiesta cuando son removidos por los usuarios e incorporados a los suelos en las parcelas. Una vez analizados se podría conocer si el contenido contaminante es retenido en los cúmulos formados en forma de sedimentos y si se les puede dar algún uso a estos.

Y finalmente el factor que sería ampliamente recomendable estudiar, es el relacionado con los mecanismos de depuración de las aguas para su saneamiento, lo cual como se comentó en el apartado respectivo debe considerar además de ser eficiente, la cuestión de costos accesibles de establecimiento y de operación del mismo, bajo este criterio las soluciones se reducen a aquellas que contemplen mecanismos naturales para su autodepuración como es el caso de los “humedales artificiales”, que implican costos de establecimiento y mantenimiento considerablemente bajos en comparativa con otros sistemas y cuenta con una eficiencia alta en cuanto a la reducción de materia orgánica y aun de metales pesados.

7.5 LITERATURA CITADA

- Aguirre. A. L. 2007. Efectos de las políticas macroeconómicas en la competitividad de la agricultura mexicana en el caso de la producción de hortalizas en el estado de Puebla, México. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 253 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005 Estados Unidos mexicanos. II Censo de Población y Vivienda, 2005. Resultados Preliminares. INEGI, México.
- Pérez S. G. 1994. Investigación cualitativa, retos e interrogantes. Ed. La Muralla. Madrid. 120 p.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Una vez realizado el análisis y la discusión de resultados, se pueden mencionar algunas conclusiones generales sobre los objetivos establecidos y las hipótesis probadas en este trabajo de investigación.

a) Referente a los objetivos de la investigación

Con relación al primer objetivo específico del presente trabajo, se puede concluir que se cumplió cabalmente, ya que se realizaron las determinaciones de las concentraciones de metales pesados y de la contaminación por los agentes microbiológicos: coliformes fecales y huevos de helminto, y se realizó la evaluación de la calidad del agua de riego del canal Chilhuacán.

El segundo objetivo específico también se cumplió de acuerdo al planteamiento inicial para determinar la concentración de metales pesados solubles en suelos de la zona de estudio y en los cultivos de alfalfa, cilantro y cebolla.

En cuanto al tercer objetivo, se cumplió ya que se realizó el estudio sobre la caracterización de los productores de la zona y se logró conocer su percepción sobre los efectos ambientales ocasionados por regar con aguas residuales sobre su salud y sus ingresos.

b) Referente a las hipótesis de investigación planteadas

Con relación a la hipótesis general, se puede decir que se contrasta la hipótesis con que se partió en esta investigación y que afirma que: “Las aguas residuales con que se riegan los cultivos de la zona de influencia del canal Chilhuacán, representan un riesgo para el suelo, planta y salud de los productores, por sus niveles de contaminación”. De acuerdo a los resultados encontrados, sólo los agentes bacteriológicos rebasan la norma, por lo que no se puede rechazar por completo dicha premisa.

Al considerar la primer hipótesis específica con que se dio inicio a este trabajo con respecto a que: “La concentración total de metales pesados (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb y Cd), y agentes microbiológicos (coliformes fecales y huevos de helminto) exceden los límites máximos permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la calidad del agua no tiene limitantes para su uso”, puede ser rechazada parcialmente con base a los análisis realizados en las aguas, ya que los metales pesados se encuentran en una concentración muy por debajo de lo marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996, no así los agentes microbiológicos y la calidad de agua, que presenta un exceso de sales que la hace condicionada para ser usada en el riego agrícola.

El alto contenido de coliformes fecales registrados durante los tres meses muestreados, representan un alto riesgo para la salud de los usuarios que tienen un contacto directo con las mismas.

En cambio las concentraciones de metales pesados totales como contaminantes del agua de riego del canal Chilhuacán no exceden los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Las concentraciones de Pb y Cd en las aguas del canal Chilhuacán son bajas, no obstante pueden representar un riesgo a largo plazo, ya que tienen la capacidad de acumularse en suelos agrícolas.

La carga contaminante en el agua de riego presentó variaciones durante el periodo de muestreo y se concluye que fue en el mes de febrero, cuando se presentaron los niveles más elevados de metales pesados, agentes microbiológicos y la peor calidad de agua.

En cuanto a la hipótesis que menciona que: “La concentración de metales pesados disponibles en el suelo y los cultivos son altas, y representan un riesgo de toxicidad de cultivos y contaminación del suelo”, puede ser rechazada parcialmente, ya que no se encontraron evidencias que confirmen altas concentraciones de metales pesados en

suelos y mucho menos problemas de toxicidad en las plantas, por lo que no representan un riesgo de contaminación grave.

De igual manera las concentraciones de metales pesados en hojas y frutos de alfalfa, cilantro y cebolla, son consideradas como normales, pero la sola presencia de ellos en tejidos de las plantas permite concluir que no es conveniente producir no consumir cultivos que son regados con las aguas residuales del canal Chilhuacán, sobre todo si son consumidos en fresco.

En referencia a la tercera hipótesis específica que plantea: “Los productores desconocen la problemática que se genera y los riesgos que conllevan para él, su familia y sus animales el regar sus cultivos con aguas residuales del canal Chilhuacán”. Se rechaza ya que con base en los resultados y su posterior interpretación, más de la mitad de los usuarios entrevistados mencionó conocer los riesgos de usar aguas residuales para la producción agrícola, aunque no por ello han dejado de utilizarlas en la producción agrícola.

La percepción de la mayoría de los productores sobre la salud es que los efectos ocasionados por el contacto con las aguas residuales con las riegan son bajos o nulos, y cuando se llegan a presentar son en forma de daños en la piel (cutáneos) y gastrointestinales, aunque la actitud predominante es la indiferencia.

IX. ESTRATEGIA PROPUESTA

Con base en los aspectos estudiados y los resultados encontrados durante este trabajo, para dar solución a la problemática del uso de aguas residuales en la producción de cultivos que se consumen en fresco, fue necesario plantear y proponer una estrategia que a continuación se presenta.

Partiendo de los resultados encontrados en esta investigación, el mayor peligro de usar aguas residuales del canal Chilhuacán para el riego de productos hortícolas, es el alto contenido de agentes microbiológicos y los altos niveles de salinidad de las mismas.

Por lo que el primer paso a seguir sería concientizar a los productores acerca de los efectos negativos que puede ocasionar en los suelos, cultivos y salud humana el regar con aguas residuales cultivos que se consumen en fresco.

Este proceso de concientización se podría realizar mediante talleres participativos, en los cuales se presente información relacionada con el grado de contaminación de las aguas y sus riesgos potenciales, además de buscar mecanismos que permitan modificar de forma sistemática el tipo de cultivos que se siembran en la zona, ya que bajo ninguna consideración deben ser sembrados cultivos hortícolas, debido a que se corre el riesgo de que estas contengan coliformes fecales, huevos de helminto y fracciones de metales pesados.

a. Estrategias propuestas por los productores

Dentro de este trabajo se cuestionó a los productores acerca de las posibles soluciones para disminuir el uso de aguas residuales para el riego de sus cultivos, a lo que ellos respondieron con dos posibles soluciones las cuales fueron: a) La construcción de una planta de tratamiento y b) La perforación de pozos profundos. La planta de tratamientos, al ser la más costosa requeriría del apoyo de las instancias federal y estatal, además del aporte de los productores, por lo que resulta difícil que pueda llegar a cristalizarse, al menos no en un futuro cercano, sin embargo su construcción permitiría producir hortalizas sin restricciones.

En el caso de la perforación de pozos profundos en la zona, resulta difícil que se lleve a cabo debido a que la mayor parte del área de riego del canal Chilhuacán es considerada como de veda, además de que el costo de perforación de pozos profundos es también muy elevado, de manera que para que se llevara a cabo esta solución sería necesario el apoyo del gobierno estatal y de la institución correspondiente de brindar las concesiones de agua subterránea (Comisión Nacional del Agua-Puebla), sin embargo aumentaría el costo de producción de los usuarios al tener que pagar ahora el bombeo del agua, por lo que sería complicado que se realizaría.

b. Estrategia propuesta

Debido a que la mayor carga contaminante que se encontró en las aguas residuales del canal Chilhuacán, fue de tipo microbiológica (aguas de origen domestico), se esperaría que la tendencia en el futuro para esta contaminación sería de seguir aumentando antes de empezar a disminuir, debido a la creciente explosión demográfica y los consecuentes desechos que generaría. De tal manera que una opción viable para brindar un proceso de descontaminación a las aguas a bajo costo, sería la implementación de “humedales artificiales” en la parte alta de la zona de riego, ya que se cuenta con un área lo suficientemente grande para ser construida.

Este mecanismo de depuración natural de las aguas, permitiría dar solución a los problemas de contaminación (agentes microbiológicos, fracciones de metales pesados y bajar la salinidad de las mismas) sin hacer un esfuerzo económico grande, ya que no requiere de mucha inversión para su construcción y mantenimiento. El principio mediante el cual funciona este sistema es mediante la conducción del agua mediante canaletas de tierra y pasto en forma de curvas durante un tiempo considerable, para que la superficie de contacto (vegetación y fricción con pasto y/o grava) permita limpiar el agua. Las plantas tienen la función de asimilar y retener los nutrientes y los metales pesados del agua, ya que quedan retenidos en la grava y en el tejido vegetal.

Los humedales funcionan como una planta tratadora de aguas residuales, pero todo bajo un ordenado equilibrio y lento proceso natural, por lo que se puede considerar como una opción viable y a corto plazo para tratar de dar solución a una problemática que ha persistido en la región por más de medio siglo.

De manera que con el uso de este sistema de depuración natural de aguas residuales, se espera resolver la contaminación de las aguas que conduce el canal Chilhuacán y con ello permitir a los usuarios continuar con la producción de forrajes, ornamentales y hortalizas con una mejor calidad, y sin los riesgos de salud y deterioro a suelos y plantas que representa en la actualidad.