



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EVALUACION DE LA CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN SUELO Y  
HORTALIZAS DE LA ZONA CHINAMPERA DE XOCHIMILCO, D.F.

**T E S I S**

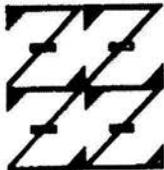
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**B I O L O G O**

P R E S E N T A:

**IMELDA JIMENEZ SANTIAGO**

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LO HUMANO EJE  
DE NUESTRA REFLEXION

DIRECTOR DE TESIS: BIOL RAUL ARCOS RAMOS

MEXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2004.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIAS

A mis padres

***Romualdo y Ma. Asunción que siempre me han brindado su apoyo y confianza, para alcanzar esta meta, doy gracias a Dios por tenerlos aún.***

A mis hermanos

***Vidal, Miguel Ángel, Cecilia, Lilia, Rosario, Gloria y Baltazar, que todo el tiempo me motivaron y apoyaron para poder realizar este trabajo inconcluso.***

A mi esposo

***Con todo cariño, ya que durante todo este tiempo me brindo su apoyo y comprensión.***

A mis hijos

***Rodrigo y César Augusto, que en algún momento los descuide, pero que este esfuerzo realizado les sirva como una base a futuro para tener una formación humana y profesional.***

***Gracias.***

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de tesis

**Biól. Raúl Arcos Ramos**

Con todo cariño y respeto le hago participe de este trabajo de tesis ya que es fruto del esfuerzo y dedicación que siempre me brindo durante todo este tiempo.

Gracias por su amistad, que como maestro, director de tesis, y amigo me ha brindado, espero que esta amistad siga perdurando durante mucho tiempo.

A mis sinodales

**Biól. José Rubén Zulbarán Rosales**  
**Biól. Eloisa Adriana Guerra Hernández**  
**Biól. Maricela Arteaga Mejía**  
**Biól. Aída Zapata Cruz**

Por sus valiosos consejos y sugerencias para lograr un buen trabajo

**Gracias.**

# ÍNDICE.

	Pág.
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1 Contaminación atmosférica	3
3.2 Contaminación de agua	3
3.3 Contaminación de suelo	5
3.3.1 pH	8
3.3.2 Materia orgánica	8
3.3.3 Capacidad de intercambio catiónico total	8
3.3.4 Sodio, potasio, carbonatos	9
3.4 Metales pesados en vegetales	9
3.4.1 Cadmio	12
3.4.2 Plomo	13
3.4.3 Zinc	15
4. ANTECEDENTES	16
5. PROBLEMÁTICA	20
6. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	23
6.1 Etimología	23
6.2 Localización la zona de estudio	23
6.3 Clima	24
6.4 Orografía	24
6.5 Rasgos geológicos principales	24
6.6 Suelo	24
6.7 Salinidad	25
6.8 Sodicidad	25
6.9 Hidrografía	26

6.10	Flora	27
6.11	Fauna	27
6.12	Cultivos prehispánicos	28
7.	JUSTIFICACIÓN	30
8.	HIPÓTESIS	31
9.	OBJETIVOS	31
9.1	Objetivo general	31
9.2	Objetivos particulares	31
10.	MÉTODOS	32
10.1	Método de campo	32
10.1.1	Toma de muestras de suelo	32
10.1.2	Toma de muestras de hortalizas	32
10.2	MÉTODO DE LABORATORIO	32
10.2.1	Muestras de suelo	32
10.2.2	Muestras de hortalizas	33
10.3	Análisis físicos y químicos	34
10.3.1	Textura	34
10.3.2	pH	34
10.3.3	Materia orgánica	35
10.3.4	Capacidad de intercambio catiónico	35
10.3.5	Carbonatos	35
10.3.6	Conductividad eléctrica	36
10.3.7	Sodio y potasio	36
10.4	Metales pesados suelo y hortalizas	36
10.5	FASE DE GABINETE	37
11.	RESULTADOS	38
11.1	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
11.1	Características de los suelos	38
11.1.1	Textura	38
11.1.2	pH	39
11.1.3	Materia orgánica	41
11.1.4	Capacidad de intercambio catiónico	43
11.1.5	Carbonatos	44
11.1.6	Conductividad eléctrica	46
11.1.7	Sodio	47
11.1.8	Potasio	48

12. Metales pesados en forma total (Cd, Pb, Zn) en suelo y hortalizas	50
12.1 Metales pesados en suelo	51
12.2 Metales pesados en hortalizas	54
13. Revisión bibliográfica	58
13.1 Zinc (Zn)	58
13.2 Plomo (Pb)	59
13.3 Cadmio (Cd)	60
14. CONCLUSIONES	63
15. RECOMENDACIONES	64
16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
17. ANEXOS	
17.1 DIAGRAMA DE FLUJO	77
17.2 ÍNDICE DE MAPAS Y TABLAS	
Mapa 1. Localización de la zona de estudio	23
Mapa 1.1 Ubicación de la zona de estudio	78
Mapa 2. Clima e isotermas anuales de Xochimilco	79
Mapa 3. Orografía de la cuenca de Xochimilco	80
Mapa 4. Geología de la zona de estudio	81
Mapa 5. Ubicación de los canales de estudio	82
Mapa 6. Cuerpos de agua de la cuenca Xochimilco-Mixquic-Tlahuác	83
Tabla No. 1 Variaciones espaciales de metales pesados en suelo	84
Tabla No. 2 Nombres científicos de las especies hortícolas	85
Tabla No. 3 Clasificación del suelo en cuanto a su valor de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000	
Tabla No. 4 Abreviaturas	88
Tabla No. 5 La norma oficial mexicana NOM-001-ECOL/96 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	89
Tabla No. 6 Metales de mayor interés en el agua, según la EPA	90
Tabla No. 7 Metales pesados más importantes y su categoría como: esenciales y/o contaminantes	91
17.3 ÍNDICE DE FOTOS	
Contaminación de canales por basura	16
Abandono de chinampas	18
Presencia de establos clandestinos	20
Riego de vegetales con agua de los canales	21
Problemas en el crecimiento de vegetales	22
Presencia de lirio acuático	27
Asentamientos humanos	29

<b>Lavado de hortalizas</b>	<b>33</b>
<b>Toma de muestras compuestas de suelo</b>	<b>34</b>
<b>Determinación de textura</b>	<b>35</b>
<b>Digestión de muestras de suelo y hortalizas</b>	<b>36</b>
<b>Canal de Apampilco</b>	<b>92</b>
<b>Canal de Trancatitla</b>	<b>93</b>
<b>Canal de Apatlaco</b>	<b>93</b>
<b>Canal de Tlilac</b>	<b>94</b>
<b>Toma de muestras de Ac. china</b>	<b>95</b>
<b>Toma de muestras de verdolaga</b>	<b>96</b>
<b>Toma de muestras de romero</b>	<b>97</b>
<b>Cultivo de Ac. china</b>	<b>98</b>
<b>Toma de muestras de espinaca</b>	<b>99</b>
<b>Molienda de hortalizas</b>	<b>100</b>
<b>Determinación de conductividad eléctrica</b>	<b>101</b>
<b>Determinación de pH</b>	<b>102</b>
<b>Determinación de metales pesados en suelo</b>	<b>103</b>
<b>Determinación de metales pesados en hortalizas</b>	<b>104</b>
 <b>ÍNDICE DE GRÁFICAS.</b>	
<b>Arena</b>	<b>38</b>
<b>Limo</b>	<b>39</b>
<b>Arcilla</b>	<b>39</b>
<b>pH</b>	<b>40</b>
<b>Materia orgánica</b>	<b>42</b>
<b>Capacidad de intercambio catiónico</b>	<b>44</b>
<b>Carbonatos</b>	<b>45</b>
<b>Conductividad eléctrica</b>	<b>46</b>
<b>Sodio</b>	<b>48</b>
<b>Potasio</b>	<b>49</b>
 <b>PROMEDIOS DE PARÁMETROS QUÍMICOS.</b>	
<b>pH</b>	<b>41</b>
<b>Materia orgánica</b>	<b>43</b>
<b>Capacidad de intercambio catiónico</b>	<b>44</b>
<b>Carbonatos</b>	<b>45</b>
<b>Conductividad eléctrica</b>	<b>47</b>
<b>Sodio</b>	<b>48</b>
<b>Potasio</b>	<b>49</b>
 <b>METALES PESADOS EN SUELO.</b>	
<b>Cadmio</b>	<b>53</b>
<b>Plomo</b>	<b>53</b>
<b>Zinc</b>	<b>53</b>
<b>Promedios de metales pesados en suelo (Cd, Pb, Zn)</b>	<b>54</b>
 <b>METALES PESADOS EN HORTALIZAS.</b>	
<b>Cadmio</b>	<b>56</b>
<b>Plomo</b>	<b>57</b>
<b>Zinc</b>	<b>57</b>
<b>Promedios de metales pesados en hortalizas (Cd, Pb, Zn)</b>	<b>57</b>

## 1. RESÚMEN.

El nivel de contaminación de la mayoría de las cuencas hidrológicas de México alcanza niveles alarmantes, prácticamente, no existe una cuenca importante libre de residuos contaminantes, ya que es una práctica común arrojar a los cauces fluviales toda clase de desperdicios urbanos, industriales y agropecuarios (Mascareño C. y Guajardo R., 1977).

Hasta finales del siglo XX, el suelo no había sido considerado como un recurso agotable ni se había planteado la necesidad de su mantenimiento. Este desconocimiento, unido a los impulsos de desarrollo de la sociedad moderna, originó una degradación progresiva de los suelos debida principalmente a la incorrecta gestión agrícola, industrial y económica, e incluso, en alguna forma, cultural (Seoánez C. M., 1999).

Los suelos del ejido de Xochimilco, hasta hace tres décadas se caracterizaban por su alto potencial agrícola. En la actualidad éste se encuentra severamente disminuido por la alteración ecológica, provocada primordialmente, por el crecimiento incontrolado de la Ciudad de México.

Por ello, los objetivos de éste trabajo fueron evaluar las propiedades físicas y químicas de los suelos de chinampa, así como la determinación de los metales pesados Cd, Pb y Zn en suelo y hortalizas.

En el presente trabajo se evaluó la calidad del suelo de la zona chinampera de Xochimilco, a partir de los parámetros, pH, Materia Orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbonatos, Conductividad Eléctrica, Sodio, Potasio, Metales Pesados (Cd, Pb, y Zn).

Los canales analizados fueron: Apampilco, Trancatitla. Apatlaco y Tlilac, donde la textura predominante de los suelos es arenosa, en cuanto a las características químicas los valores obtenidos para cada uno de los parámetros, no rebasan los niveles reportados por la NOM-021-RECNAT-2000.

En cuanto a los metales pesados en suelo, el cadmio presentó  $1.30 \text{ mg kg}^{-1}$ , plomo  $22.55 \text{ mg kg}^{-1}$  y zinc  $56.62 \text{ mg kg}^{-1}$ , estos valores son comparados con los límites permitidos para suelo por la NOM-021-RECNAT-2000 y por Alloway, B. J., 1990 considerándose estas concentraciones dentro de los límites reportados. En cuanto a las hortalizas analizadas la especie que presentó mayor concentración para cadmio fue verdolaga  $4.30 \text{ mg kg}^{-1}$ , la menor espinaca  $1.125 \text{ mg kg}^{-1}$ . Plomo con brócoli  $12.9$  y espinaca  $5.1 \text{ mg kg}^{-1}$ . El zinc en romero  $122.02 \text{ mg kg}^{-1}$ , la verdolaga  $30.61 \text{ mg kg}^{-1}$ , comparando estas concentraciones con la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL/96 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, que la calidad del agua no es adecuada para el riego de vegetales que son consumidos en crudo, cabe considerar que el cadmio es tóxico para las plantas a elevadas concentraciones, por lo que rebasa los niveles que se reportan por las normas antes mencionadas, se debe de considerar un factor importante de alto riesgo para el consumo humano.

## 2. INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas el estado de la degradación de los suelos y sus consecuencias para el futuro desarrollo de la economía mundial, han provocado reacciones políticas y sociales casi de emergencia, que inducen a tomar medidas precautorias de prevención de la contaminación de los suelos en buen estado y de protección, conservación y recuperación de los ya mencionados (Seoánez C. M., 1999).

Tradicionalmente México ha sido un país agrícola, desde la época prehispánica los pueblos mesoamericanos dependían básicamente de la agricultura y llegaron a desarrollar complejos sistemas agrícolas altamente productivos. Sin embargo en la actualidad, el problema de la contaminación altera notablemente el ecosistema.

En la agricultura los cultivos se pueden afectar de tal modo que bajan los rendimientos de los productos vegetales, con grave deterioro de la economía del campesino y déficit en la producción que ya no satisface los requerimientos de la población (Izquierdo V. C., 1985).

La contaminación del suelo puede ser tipificada como un mal funcionamiento de sus componentes en el ambiente, siendo esto propiciado por el resultado de la actividad humana (Peralta B. M., 1983).

Los vertidos industriales, urbanos, los lodos procedentes de estaciones depuradoras y los depósitos de residuos industriales aumentan, al derramarse sobre suelos, el contenido de éstos en metales pesados (Zn, Pb, Cu, y Cd especialmente) los encontramos hasta una profundidad de 35 a 40 cm. La acumulación máxima de estos metales se concentra en la superficie (5 centímetros), en cuyo caso existe la posibilidad de eliminar los problemas de toxicidad para los vegetales utilizando especies con un sistema radicular a mayor profundidad. Sin embargo, el problema se presenta cuando se quiere saber si la parte asimilable sigue el mismo proceso de distribución, o si este es completamente distinto. Varios autores coinciden en afirmar que la concentración de las fases asimilables permanece invariable durante años, presentándose en el suelo como contaminantes persistentes e irreversibles, lo que puede dar origen a graves perturbaciones, tanto en los vegetales como en los animales que lo consumen (Seoánez C. M., 1999).

Los componentes sólidos presentan la habilidad de formar iones, las diferencias entre estos minerales son influenciados por la acción del pH, las condiciones redox, y las concentraciones relativas de los iones presentes en las soluciones del suelo. En cuanto los metales pesados, existen solamente como cationes en solución del suelo, esta absorción depende de la intensidad de cargas negativas en las superficies de los coloides del suelo (Mondragón M. L., 1989).

Los factores que influyen para que los elementos pesados entren a la planta son: temperatura, suelo, pH, aireación del suelo, potencial redox y la fertilización. La absorción de la raíz puede llevarse a cabo por difusión pasiva a través de la membrana celular o por transferencia activa, por un gradiente de concentración de un potencial eléctrico. Por lo tanto la variedad de las plantas difieren en la viabilidad de la concentración de metales pesados (Fergusson J. E., 1990).

### 3. MARCO TEÓRICO.

Se puede entender por contaminación como: la presencia en el ambiente de uno o más elementos, o combinación de ellos que perjudiquen la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y fauna o degraden la calidad del aire, agua y tierra. Esta suele clasificarse según el medio que se vea alterado por las sustancias acumuladas (Molina G. A., 1988) (Stoker/Seager., 1981) (Turk-Turk W., 1973).

#### 3.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

En cuanto a la contaminación atmosférica se puede decir que es la adición de materia indeseable transportada por el aire. Hay cinco tipos de sustancias conocidas como contaminantes primarios que significan más del 90% del problema: Monóxido de carbono (CO); Óxidos de nitrógeno (NOx); Hidrocarburos (HC) por ejemplo el metano (CH<sub>4</sub>), es el que se libera a nivel global en la atmósfera en cantidades mayores que cualquier otro. Los óxidos de azufre (SOx), y por otro lado las partículas son otra fuente de contaminación y se clasifican como: viables (bacterias, hongos y esporas), y las inviables tales como compuestos orgánicos, metales, polvos, etc., (Stoker/Seager., 1981).

Los efectos de la contaminación atmosférica van a actuar por contacto directo con los órganos del aparato respiratorio y las sustancias tóxicas que contiene, pueden afectar al organismo gravemente, entre las enfermedades encontramos la bronquitis, asma, enfisema, cáncer del pulmón etc. Además se sabe que los ojos y la piel son zonas predisuestas a sufrir los efectos de la contaminación.

Asimismo los gases suelen reaccionar con componentes de la atmósfera tal es el caso del SO<sub>3</sub> que reacciona con el agua y produce las llamadas "lluvias ácidas" que alteran las rocas y causan graves daños a los vegetales (Turk-Turk W., 1973).

#### 3.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

En cuanto a la contaminación del agua, es la adición a la misma de materia indeseable que deteriora su calidad. Actualmente es uno de los problemas principales que afecta a la mayor parte del mundo, a pesar de esto, el hombre no ha hecho lo que debería de hacer para solucionar este problema, porque aún no toma conciencia y ha seguido contaminando el agua, aunque sepa que esta es parte esencial para la vida animal y vegetal (Aldana P. R., 1980).

Por otro lado los contaminantes del agua pueden ser Físicos: como desperdicios sólidos (basura, polvos etc.), ya que juegan un papel importante en la contaminación, opacan el agua, haciéndola turbia y oscura, además de alimentar a los microorganismos, producen la putrefacción de la flora, contribuyendo con esto a la escasez de oxígeno provocando la muerte de la fauna acuática, siguiendo así una cadena hasta que el agua queda no utilizable aún para uso agrícola e industrial. Químicos: (aceites, ácidos y detergentes), considerados como los máximos contaminantes del agua ya que la mayoría no son biodegradables, se desechan desperdicios de metales como Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Plata (Ag); residuos de Plomo (Pb), Arsénico (As) y Mercurio (Hg), que son tóxicos para cualquier ser vivo; los residuos biológicos como los vegetales (algas y

plantas en exceso), agotan también el oxígeno del agua dando paso al desarrollo de microorganismos, además de que provocan el estancamiento del agua (Botello V. A., 1991) (Peñaloza Z. J., 1991).

Así mismo, Otero, L. X. (2003), menciona que los cambios en la fase sólida, son influenciados por la composición de las aguas intersticiales, controladas directamente por la solubilidad y viabilidad de los metales pesados, por lo que las variaciones espacial y temporal en conductividad eléctrica, pH y metales pesados en estas aguas son elevadas.

El agua es un elemento insustituible para todas las formas de vida. Desde épocas remotas, constituyó la primera condición para el asentamiento de los grupos humanos. Las civilizaciones prehistóricas ya refieren sus sistemas de captación, distribución y almacenamiento de agua para la alimentación del hombre y de los animales, así como el riego del cultivo de sus tierras.

El uso y a veces el mal uso del agua produce una alteración de su calidad en considerable cuantía, la demanda de agua va en aumento año con año y es difícil de atender satisfactoriamente, la agricultura, la ganadería y el mantenimiento o crianza de animales domésticos, también demanda grandes cantidades. Como caso concreto tenemos la zona metropolitana de la Ciudad de México, donde se realiza la mayor parte de las actividades socioeconómicas del país y donde se asienta casi el 20% de la población total, la cual presenta una importante carencia de líquido, por lo que su tratamiento y reuso deben plantearse como actividades prioritarias. Sin embargo, dado los altos niveles de contaminación del recurso, existen en él, cantidades significativas de elementos que son tóxicos o potencialmente tóxicos, hecho que debe ser reconsiderado al momento de plantear su reutilización (Subsecretaría de Ecología., 1984).

La Organización Mundial de la Salud define la contaminación del agua (FAO/OMS, 1971; Nieto, R. J. A. 1981), como: ***“Debe considerarse que el agua está contaminada cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no se reúnen la condiciones para el conjunto de utilidades a las que hubiera sido destinada en su estado natural”*** (Wilber G. Ch., 1971).

Las aguas negras o residuales son aquellas que han sido utilizadas por el hombre para satisfacer diversas necesidades. Como las que se arrojan de talleres, fábricas e industrias. Para eliminarlas, el hombre utiliza alcantarillados y fosas sépticas. Los alcantarillados son redes de tuberías que vierten su contenido en un colector común o desagüe, que tienen como destino final ríos y mares. Estas aguas después de haber pasado por procesos de autodepuración, pueden tener los siguientes usos: como agua de riego con fines agrícolas, como agua potable y como abono mediante algunos de sus residuos, aunque siguen presentando peligros de contaminación, por la resistencia que poseen ciertos huevecillos de parásitos, que con el riego, se adhieren a los productos vegetales, y si estos se consumen crudos, pueden ocasionar trastornos.

El valor que tienen para la irrigación, resulta de su contenido de nutrimentos, cuya acción es la de fertilizar. Así mismo el efecto que el agua tiene al ser utilizada en la agricultura, dependerá de muchos factores locales, características del suelo, uso que se le da al suelo, lluvia, evaporación, recarga de acuíferos y otras condiciones climáticas.

Para que el uso de estas aguas no traiga resultados negativos, antes de ser empleadas deben de someterse, a algún tipo de tratamiento, el cual, pueda mover elementos que pudieran ser perjudiciales al suelo, a los cultivos y a la salud pública en general (Falcom C., 1983; Fair M. G., 1981; Holden W. S., 1970; Millipore, C., 1993).

La zona de Xochimilco tiene importancia hidrológica, por las innumerables zanjas y canales permanentes que limitan las chinampas y que sirven de comunicación entre las mismas. En esta zona hay 10 canales y 7 lagunas importantes, los canales son: Cuemanco, Apatlaco, Tlicuili, Nacional, Tezhuiloc, Apampilco, Japón, La Noria, Amelalco, Atlitic. Las lagunas son: El Toro, La Virgen, Tlilac, Tlicuili, Tezhuiloc, Caltongo y Xaltocan. El agua se utiliza para el riego de las tierras de cultivo, el turismo, además constituye un refugio importante para la fauna silvestre acuática de la zona. Sin embargo este recurso está pésimamente manejado, ya que no se le da la importancia que merece al contaminarlo con aguas residuales de la ciudad y de la misma zona. Se han realizado algunos estudios donde concluyen que el agua está contaminada con sodio, sales, y coliformes de origen fecal, siendo clasificada desde el punto de vista agrícola, como no apta para riego, también existen problemas de contaminación a causa del lirio acuático, aceites, detergentes y basura en general (Falcom C., 1983; López D. V., 1975).

### 3.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO.

El suelo y subsuelo constituyen un recurso natural difícilmente renovable que desempeña diversas funciones entre las que destacan su papel como medio filtrante durante la recarga de acuíferos y de protección de los mismos, también están integrados al escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y de la cadena alimentaria, además de ser el espacio donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas y las áreas verdes para generación de oxígeno.

Como parte de las actividades agrícolas, industriales, de servicio y de transporte, una gran cantidad de contaminantes se derraman al suelo irresponsable ó accidentalmente. Ante la inmensa superficie de zonas afectadas por la actividad humana, surge la necesidad de tomar acciones de remediación para controlar la dispersión de contaminantes y lograr su eliminación.

La rehabilitación de los sitios contaminados requiere a detalle conocimientos de contaminantes químicos y de rutas que como contaminantes pueden alargarse en el medio ambiente y humano. Estos conocimientos confirman la aplicación de procedimientos de riesgos de evaluación proponiendo una identificación de los objetivos de intervenciones de rehabilitación. La información generalmente concierne a los factores que determinan la distribución de la contaminación en el medio ambiente afectado por el sitio que conlleva a un modelo conceptual. La identificación de enlace entre el origen de contaminación y las matrices ambientales (suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas, etc.) contienen el objetivo potencial de los contaminantes, que confirman la formulación de exposición de escenarios (Critto A. *et al.*, 2003).

La remediación de suelos se ha venido practicando en otros países desde hace varios años. Diversas tecnologías han llegado recientemente a nuestro país, sin que éstas hayan sido aplicadas de manera inmediata como se esperaba (Saval B. S., 1995).

La contaminación del suelo puede ser tipificada como un mal funcionamiento de sus componentes en el medio ambiente, siendo esto resultado de la actividad humana (Peralta B. M., 1983). Los contaminantes de los suelos pueden ser naturales o inducidos: Los naturales son los que afectan los suelos produciendo alteraciones en la morfogénesis de sus perfiles y los contaminantes inducidos son aquellos que el hombre incorpora a los suelos como materiales de desecho. En zonas ubicadas cerca de las industrias, cuyos desechos llegan a los suelos o que han sido transportados por lluvia o aire, resultan ser los más afectados por contaminación. En estos suelos crecen vegetales que están expuestos junto con la población humana y animal a los desechos del complejo industrial, en el caso de los metales pesados estos se acumulan en el suelo a nivel superficial (Barcelo J. y Poschenrieder Ch., 1989).

El suelo es el componente de los ecosistemas terrestres, natural y agrícola, siendo esencial para el desarrollo de las plantas y el reciclamiento y degradación de la biomasa muerta. Este medio es un complejo de minerales y sólidos orgánicos, acuosos y componentes gaseosos. Los minerales presentes son desgastados en fragmentos de rocas y minerales secundarios con arcillas, óxidos de hidruro, Fe, Al y Mn y en algunos casos, carbonatos (usualmente  $\text{CaCO}_3$ ). La materia orgánica incluye organismos vivos (mesofauna y microorganismos) material muerto de plantas humus coloidal formado por la acción de microorganismos que habitan la planta, estos componentes sólidos son formas de agregados, estos crean sistemas de vacíos interconectados (poros) de varias tallas llenadas con agua o aire. Los componentes sólidos tienen la habilidad de absorber iones, con estas diferencias entre materiales son influenciados por la predominación del pH, condiciones redox y las concentraciones relativas de los iones presentes en las soluciones del suelo. La partición empleada en la solución-sólido lleva un control en el transporte y retención de los metales pesados en sistemas suelo-agua. La disponibilidad de los metales pesados en suelos depende de las concentraciones y formas químicas en la solución del suelo. Principalmente en suelos contaminados, con bajos niveles de materia orgánica (Tipping E. *et al.*, 2003).

El suelo es un sistema dinámico, sujeto a pequeños términos de fluctuaciones cada variación del estado de humedad, pH y condiciones redox, experimentan alteraciones graduales y son responsables de los cambios en el manejo de los factores del medio ambiente. Estos cambios en las propiedades del suelo afectan la bioavilidad de los metales, necesitan ser considerados en el manejo de los suelos contaminados con materiales de desecho. Los suelos son marcados por la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en macro y micro escala.

Las formas químicas de los metales pesados, en la fase sólida pueden ser fuertemente influenciados por su comportamiento, movilidad, toxicidad, viabilidad e interacciones químicas, la especiación del metal es determinante, sobre el control físico, químico y procesos biológicos que el plomo transporta y la transformación del comportamiento de los metales pesados en el medioambiente (aire, agua, biota, suelo/sedimento) en ecosistemas complejos (Zhi D. L. *et al.*, 2002).

La contaminación del suelo urbano resulta de la acumulación de contaminantes de origen de un suelo con pequeña vegetación que subsiste a las condiciones de sequía además de partículas contaminadas del suelo. Los metales pesados, radionúclidos, componentes de cloroorgánico y otros tóxicos son los contaminantes más comunes,

principalmente de emisiones de plantas industriales, tráfico vehicular e infraestructuras de carreteras. La severidad de la contaminación depende no solamente del total del metal pesado contenido en el suelo, si no de la proporción de la movilidad y la biodisponibilidad de forma, que son generalmente controlados por la textura y otras propiedades físicas y químicas del suelo. El suelo puede ser contaminado por metales pesados, como son Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Cobre (Cu), por compuestos de aguas urbanas, pesticidas, fertilizantes y emisiones de aguas de incineración municipal, tubos de escapes de carros, residuos metalíferos y metales de fusión de la industria (Lombi E. *et al.*, 2001) (Imperato M. *et al.*, 2003).

Los metales pesados existen solamente como cationes en la solución del suelo, esta absorción depende de la intensidad de cargas negativas en las superficies de los coloides del suelo. El orden de mantener la electro neutralidad, de la carga negativa de la superficie es balanceada por una cantidad igual de otra carga opuesta a los iones. El ión intercambiable se refiere al intercambio entre los iones opuestos balanceando la carga de la superficie de los coloides y de los iones de la solución del suelo.

En zonas con elevadas concentraciones de carbonatos presentan altos contenidos de metales pesados, en cambio en los suelos arcillosos se encuentran concentraciones relativamente elevadas de Níquel (Ni) y Cromo (Cr). En algunos casos estos elementos no afectan notablemente a los cultivos, esto posiblemente a que la forma en la cual se encuentran los metales pesados no sea accesible a los vegetales (Mora R. J., 1991).

El suelo es uno de los factores de mayor importancia en la estabilidad económica y social, por lo que se considera esencial en el desarrollo de las civilizaciones. De hecho, las primeras grandes civilizaciones se asentaron en lugares en los que existían condiciones ambientales adecuadas para la agricultura, entre ellas suelos fértiles.

El hombre obtiene múltiples beneficios del suelo como; materiales de cementación, para estructuras de ingeniería, eliminación del agua de drenaje, para lugares de recreo, como fuente de minerales en algunos casos, etc. Sin embargo, el interés por el suelo se ha centrado sobre su potencialidad para producir las plantas que lo abastecen de alimentos, medicinas, forrajes, fibras, productos forestales y otros satisfactores primarios. A pesar de esto, el suelo es un recurso natural renovable (en cuanto a su fertilidad) mal aprovechado ya que, por lo general se explota de manera irracional, no planificada, importando solo el beneficio a corto plazo.

La composición química de las partículas finas incluye los metales traza como son contaminantes del aire no sólo de origen natural si no relacionado con la industria y otras actividades antropogénicas. Los elementos traza pueden ser transportados a largas distancias por cursos de emisión (Athanasiadis G. A. and Rao S. T. 2003).

Los metales pesados en suelo pueden seguir formas: agua-soluble intercambiable, específicamente absorbida, asociada con materia orgánica insoluble, carbonatos, óxidos de Fe, Al, Mn y silicatos. Esto es documentado ya que la acidificación del catión intercambiable, incrementa la lixiviación de cationes base, incluyendo metales pesados. Además del pH del suelo, muchos otros factores como capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica disuelta, tienen un impacto en la movilidad del metal pesado en suelos alcalinos (Haapala H. *et al.*, 2001).

### 3.3.1 pH.

El pH es una propiedad química esencial de los suelos, esta se basa en la determinación de la actividad del ión  $H^+$  mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al  $H^+$ . La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, concentración de sales en la solución, relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión. Los iones hidrógeno atrapan la superficie negativa y tienen el poder de reemplazar a otros cationes, además es afectado por los cambios del potencial redox que ocurren en suelos que son regados con aguas residuales periódicamente, reduciendo así las condiciones que son causadas por el pH haciendo que se incremente y la oxidación decrezca

Los mecanismos como el pH varían, incluyendo los iones hidroxialuminio,  $CO_2$ , carbonatos y reacciones de cationes intercambiables. En general los cationes del metal pesado son móviles en condiciones de incremento del pH, usualmente es limitado por pH altos con rangos de 4-8.5. Los estados normales de pH son de 5-7 en regiones húmedas y pH de 7-9 en zonas áridas. El rango máximo de pH es de 2-10.5. En cultivos es de 6.5 y en suelos minerales de 5.5 (Seoáñez C. M. 1999) (NOM-021-RECNAT-2000).

### 3.3.2 MATERIA ORGÁNICA.

La materia orgánica coloidal es de mayor influencia en las propiedades de los suelos y son divididos entre los no húmicos y las sustancias húmicas. Los no húmicos son sustancias inalteradas bioquímicamente como los aminoácidos, carbohidratos, ácidos orgánicos y ceras que no cambian la forma en que son sintetizados por los organismos vivos. Las sustancias húmicas son una serie de ácidos de color amarillo y negro con electrólitos de alto peso molecular. Estos son formados por reacciones de síntesis secundarias realizadas por los microorganismos que tienen características de asimilar algunos componentes de los organismos vivos.

Los suelos cultivados están sometidos a una serie de actuaciones como las labores, los riegos o la fertilización, que hacen que los factores como el clima o la vegetación natural se vean muy postergados. Cuando el hombre actúa como agricultor, provoca un aumento en la tasa de mineralización de la materia orgánica para poder disponer así de mayores concentraciones de nutrientes asimilables, por lo que si no se dispone de esa materia orgánica bajará el coloide orgánico presente, disminuirá la CIC y habrá menos nutrimentos asimilables disponibles, además de degradarse (Seoáñez M. C., 1999)

### 3.3.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

La capacidad de intercambio catiónico, es la suma de cationes intercambiables adsorbidos es expresado en miliequivalentes por cada 1000 g de suelo secado al horno. La capacidad de intercambio catiónico del suelo mineral tiene rangos de 60 meq/100g, y en suelos orgánicos pueden exceder a 200 meq/100g, este es un factor de la capacidad de intercambio aniónico de grandes cargas negativas de las superficies coloidales. Estas cargas negativas son de las superficies coloidales. Y son de dos tipos: Las cargas

permanentes (independientes del pH) son de sustitución isomórfica de elementos mayores con iones de 2:1 de minerales arcillosos. 2) El pH depende de las cargas de los polímeros húmicos e hidróxidos (Alloway B. J., 1990) (NOM-021-REC/NAT-2000).

Los suelos de la zona chinampera de Xochimilco han sido estudiados por varios investigadores, entre los que encuentran: Lugo, 1984; Trejo, 1984 y Escobedo, 1987, ellos han encontrado algunas diferencias entre las propiedades físicas y químicas de suelo, pero en general se puede decir que tienen colores oscuros, densidades aparentes bajas, densidades reales bajas, textura franca, pH de 7.5-10.5, altos porcentajes de materia orgánica, CICT alta; ricos en nutrientes, y además con exceso de sales y sodio.

### 3.3.4 SODIO, POTASIO Y CARBONATOS.

En las áreas húmedas el sodio es lixiviado en las zonas de intercambio iónico, En las zonas secas es frecuente que se acumule como carbonato. Se puede verificar una hidrólisis entre el sodio intercambiable y el **carbonato de sodio**, dando una base muy fuerte, como es el NaOH. Un exceso de sales solubles en el suelo, sobre todo de Na, reduce el poder de infiltración, puesto que estas sales actúan mediante presión osmótica, frenando la absorción tanto del agua como de otros iones presentes en el suelo.

Como consecuencia de esta reducción de la infiltración, la estructura del suelo se degrada, disminuyendo considerablemente la capacidad del mismo para mantener una cubierta vegetal, salvo en lo que se refiere a las especies adaptadas a esta sequía fisiológica o especies halófitas. También es necesario considerar otra serie de factores como son los aniones asociados, la textura, la concentración del ión K<sup>+</sup>, etc. Los suelos calizos contienen CaCO<sub>3</sub>, compuesto relativamente insoluble, pero que cuando aparece en el fuerza para saturar el intercambio del calcio. Los suelos calizos tienen 100% de saturación de bases, y en ellos el pH está controlado por la hidrólisis del CaCO<sub>3</sub> y suele oscilar entre 7 y 8.4 (Seoáñez C. M., 1999).

### 3.4 METALES PESADOS EN VEGETALES.

En vegetales los metales pesados tóxicos al igual que todos los elementos absorbidos por la raíz pueden entrar en la cadena alimenticia, esto depende del grado de absorción y translocación del metal desde la raíz hasta el sistema caulinar de las plantas, y los efectos producidos por los elementos pesados se manifiestan en cada uno de los tejidos de la planta (Mondragón M. L., 1989).

Ginocchio R. *et al.*, 2004. Mencionan que los cambios químicos producidos en el suelo por el metal fundido puede ser principalmente estudiado a macro-escala (e. g. kilómetro, 100 metros), y los valores del metal significan que pueden ser más representativos los valores de parámetros de un área, esto en medida de la variabilidad interior del área, desde el punto de vista de la planta a escala pequeña la variabilidad química en suelo, (e.g., metros, centímetros) en altas áreas de contaminación. Son importantes; los microhabitats menos tóxicos ya que representan sitios seguros de registros de éxito y establecimiento del no-metal tolerante por las especies de plantas sensibles. Ya que el metal tolerante en las plantas puede ser considerado frecuentemente por las especies dominantes del metal de fusión contaminado en los sitios analizados.

Cuando consideramos los metales pesados en plantas hay una dimensión extracomparadas con los metales pesados, en aire, agua y suelo. Sus efectos, sin embargo no pueden ser generalizados. Los factores que influyen para que los elementos pesados entren a las plantas depende de algunos factores como la temperatura, el suelo, pH, aireación del suelo, potencial redox y fertilización, también la competición entre las diferentes especies, tipos de plantas, la capacidad de los elementos en el suelo para depositarse entre otros factores. La absorción de la raíz puede llevarse a cabo por difusión pasiva a través de la membrana celular o por el proceso más común de transferencia activa, por un gradiente de concentración de un potencial eléctrico.

La transferencia de un elemento del suelo a la raíz, puede ser por contacto de intercambio de protones, la energía para activar la transferencia puede establecerse a través del proceso de respiración. El dióxido de carbono formado con el agua produce necesariamente protones de la disociación del ácido carbónico del proceso de intercambio. Otra posibilidad es que las especies metálicas se envuelven a través de la membrana dentro del sistema de la raíz ayudado por un portador. El portador puede ser un agente que forme un complejo el cual puede ser un ácido orgánico o una proteína que garantice que las especies metálicas estén disponibles a las plantas, los materiales producidos son ácidos orgánicos, los cuales son agentes quelantes que solubilizan las especies metálicas, las micorrizas también están incluidas en este proceso. La depositación foliar ocurre quizás a través de la cutícula, la entrada es por un proceso metabólico o no metabólico, a la planta por esta vía, es muy importante en contaminación por la depositación de aerosoles. Los elementos pesados son transportados por el xilema, pero esta varía de elemento, el Cd parece ser más fijo en la raíz, los elementos existen como citrato, oxalato los cuales influyen la movilidad del elemento. Las especies metálicas se encuentran en el floema, el movimiento en el floema y xilema es particularmente dependiente de la intensidad de la transpiración y movimiento a través del agua. Por lo tanto la variedad de las plantas difieren en la viabilidad de la concentración de metales pesados. Un mecanismo de exclusión aparece como función de la planta para evitar un exceso de metales tóxicos, los restos de concentraciones de metales pesados en la planta son relativamente constantes con los niveles en el suelo intercambiable.

Un número de factores influyen los niveles de estos elementos de una planta, estos incluyen: el tipo de planta, tejido particular de la misma, concentraciones de los elementos en el suelo, capacidad de los elementos en el suelo, la distancia entre el sitio donde se encuentra el elemento, la planta, la estación y las condiciones climáticas.

Las concentraciones de estos elementos son muy variables y no es posible dar un valor medio. El método para expresar la cantidad de elementos pesados en la planta puede ser un hecho en términos de peso seco y peso húmedo de la planta.

Otros factores son constantes, esto es posible al comparar la salida de los elementos pesados por diferentes especies. Con respecto a un metal muchas plantas son clasificadas como un indicador de exclusión del elemento. La acumulación hace que la concentración de ciertos metales sea viable y larga, fuera de los efectos tóxicos. Las plantas indicadoras son las responsables de la cantidad del metal en el suelo del medio ambiente. Así mismo pueden ser usadas como bioindicadoras para la evaluación

toxicológica en ecosistemas acuáticos y terrestres (Fergusson J. E., 1990) (Youn- Joo An., 2004).

Dado que, en la mayor parte de los casos, la contaminación por metales pesados se produce y acumula en el suelo, la planta responde desde el principio, en el mismo órgano receptor con una significativa reducción del crecimiento de la raíz. Este fenómeno supone una caída de la relación raíz/parte aérea, relación que muchas veces se aprovecha como índice comparativo en los estudios de tolerancia de las plantas o los metales pesados. La situación inicial creada en la raíz con la intoxicación por metales pesados afecta sucesivamente al tallo y sobre todo a las hojas, en donde se produce una disfunción en el sistema de la compartimentación subcelular. Entre los orgánulos más dañados se hallan los cloroplastos y las mitocondrias; supone ello la alteración de los pigmentos fotosintéticos, que implica la disminución de la biosíntesis de las clorofilas y del sistema de membranas y tilacoides. Los metales pesados tóxicos pueden también inducir la formación de radicales libres, como es el caso del anión súper óxido ( $O_2^-$ ), lo que permitirá explicar, al menos en parte, los efectos lesivos sobre las membranas y el estímulo de la senescencia (Barcelo J. y Poschenrieder Ch., 1989).

Antoniadis V. and Alloway B. J., 2002. Mencionan que el carbono orgánico disuelto (DOC) consiste en varios tipos de moléculas como son: componentes orgánicos, polifenoles, ácidos alifáticos simples, aminoácidos, y ácidos de azúcar. La DOC se encuentra disuelto en la solución del suelo bajo condiciones naturales y pueden ser responsables del equilibrio de la disolución de los metales en el suelo, solución especialmente neutral de valores de pH. Es única en su papel de química de los metales pesados en suelos, esto reduce la adsorción del metal dentro de la superficie del suelo por competición más efectivamente por el ión libre del metal y la formación soluble de complejos órganos metálicos, preferentemente absorbidos dentro de la superficie del metal competitivo.

La sintomatología producida por estos elementos es variable y puede ser: clorosis, pigmentaciones, necrosis y alteraciones de desarrollo, estos efectos dependen del tipo de exposición que recibe la planta: presentándose en forma aguda con exposición prolongada a dosis bajas (Mondragón M. L., 1989).

Los vegetales comestibles concentran metales pesados tóxicos los cuales pueden ser no dañinos para las plantas, pero sí para los que se alimentan de ellas, por lo que la acumulación de estos metales en la biosfera tiene como consecuencia la presencia de ellos en el organismo humano, mediante un proceso cíclico que incluye suelo, aire, animales y hombre. Por lo tanto el grado de toxicidad depende de la naturaleza química del compuesto, de su forma de ingestión y de sus transformaciones en el aparato digestivo y en la corriente sanguínea pero generalmente todos a elevadas concentraciones son perjudiciales a la salud (Rivero B. M., 1983).

Los efectos toxicológicos de ciertos metales dentro de los ambientes acuáticos y terrestres no han sido estudiados con profundidad, sino hasta los últimos tres o cuatro años en que su posible reacción química y bioquímica, rangos de variación en condiciones ambientales y su toxicidad en relación a su estado físico han sido considerados (Fergusson J. E., 1990; Jones E. G., 1973; Llerandi D. J., 1993).

Bowen (1986). Agrupa los metales pesados en orden de importancia de acuerdo a su potencial de contaminación:

- a) Muy alto potencial de contaminación:  
Ag>Au>Cd>Cr>Cu>Hg>Pb>Sb>Sn>Te>Zn.
- b) Alto potencial de contaminación: Ba>Bi>Ca>Fe>Mn>Mo>Ti>V
- c) Potencial de contaminación moderada:  
Al>As>B>Be>Co>Ge>K>Li>Na>Ni>Rb>U>W.

Los mecanismos más importantes de la acción toxicológica de los metales están relacionados con la inactivación de diversos sistemas enzimáticos así como en la desnaturalización de proteínas esenciales (FAO/OMS 1971; Norval E. y Butter R. 1974).

Elementos tales como: oro, cadmio, mercurio, y litio pueden afectar el transporte pasivo celular e incluso al activo llegando en algunos casos a romper las membranas celulares, precipitando metalo-lipo-proteínas. (Norval E. y Butter R., 1974).

A diferencia de los contaminantes orgánicos los metales no pueden degradarse ni biológica ni químicamente, los compuestos que contienen metales pueden alterarse, pero éstos aún permanecen. En algunos casos tales reacciones desembocan en formas más tóxicas del metal, la estabilidad de los mismos también deja que sean transportados a distancias considerables. Uno de los resultados más graves de su persistencia es la amplificación biológica en las cadenas tróficas, como consecuencia de este proceso, los niveles de acumulación en los miembros superiores en la cadena pueden alcanzar valores muchas veces superiores a los que se encuentran en el agua, ello puede hacer que una gran cantidad de plantas o animales lleguen a constituir un peligro para la salud al usarse como alimento. (Dow C. R. y Horst W. J. 1972; Fergusson J. E. 1990; Llerandi D. J., 1993; Ponce U. G. y Botello V. A., 1991).

Entre los metales pesados tenemos:

**3.4.1 CADMIO.** Pertenece al grupo II B de la tabla periódica. Su valencia es +2 y presenta un número atómico de 48. Masa atómica 112.40, densidad de 8.65 g cm<sup>3</sup>, punto de fusión de 320. 9 °C (García M. 1992; Hawley G. G., 1993).

El uso principal del cadmio es como pigmento en pinturas, industria papelera, plásticos, en la fabricación de aceites, baterías y fungicidas, llega al suelo y a las plantas mediante precipitación y deposición directa. El cadmio de origen industrial, así como el de tubos de escape de vehículos de motor contribuyen a la contaminación del aire (Mondragón M. L., 1989).

La presencia de cadmio en fertilizantes fosfatados es una fuente de concentración importante; pues está presente de 1 a 2 ppm en fertilizantes como el fosfato tricálcico, y de 50 a 170 ppm en superfosfatos, por lo que es común encontrarlo en la mayoría de las plantas. Algunos autores, observaron que la asimilación en las plantas está influenciada positivamente por la concentración de zinc. También, revelaron que la asimilación fue inversamente proporcional al suministro de potasio, aluminio, calcio, zinc y fósforo,

además afecta el balance interno de cada uno de los elementos mencionados en las plantas. En el suelo se encuentra como un ión divalente, en áreas no contaminadas está por debajo de 1 ppm. Hasta la fecha no se conoce si tiene alguna función en los seres vivos. (Morvetd J. J. 1983).

La bioacumulación es observada en el análisis de plantas, por lo que el contenido en los tejidos, se incrementa cuando aumenta la concentración en el suelo. La viabilidad depende de las especies, y las plantas la cual es calculada y medida por el factor de bioacumulación (BAF), definido como la concentración de cadmio en la planta (mg Cd/kg en tejido) dividido por la concentración del mismo en el suelo (mg Cd/kg en suelo). Tiene una alta movilidad en el suelo y un potencial de toxicidad para la biota a bajas concentraciones. Asimismo esta presente de forma natural en suelos, en cantidades traza, los altos niveles son reportados en suelos del medio ambiente (Youn-Joo An 2004).

Algunos autores establecieron que el cadmio sea probablemente el metal mas potente, ya que, es un agente citotóxico que interfiere en las funciones del organismo, este y sus compuestos pueden provocar en el hombre una enfermedad crónica que se puede manifestar por años, como gastritis, aumento del grado de sedimentación de los eritrocitos, enfisema pulmonar, cálculos renales, anuria, osteoporosis, cambios dentales hipertensión cardiaca y daños testiculares.(Baez P. A. y Belmont R. 1975; Avita H. Ma. del P. 1994; Baez P. A. y Rosas I. 1980; Fergusson J. E. 1990; Osuna L. I. y Paéz O. F. 1984; Ringbom A. 1979).

La norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 limita su concentración en las descargas de aguas y bienes nacionales a un máximo de 0.4 mgL<sup>-1</sup> en uso de riego agrícola, 0.4 para embalses naturales y artificiales, 0.1 en suelo.

Las plantas carecen de mecanismos para excretar el cadmio, y una vez que lo absorbieron, lo retienen en sus tejidos. Sin embargo, la acumulación generalmente es mayor en las raíces que en la parte aérea de las plantas y esto tiende a restringir el movimiento del catión a las cadenas alimenticias (Rangsayatorn N, *et al.*, 2000; Youn-Joo An 2004).

**3.4.2 PLOMO:** Número atómico 82, peso atómico 207.19, valencia +2, +4; es un sólido gris blando, p. f. 327.4 °C, y una densidad de 11.4 mgL<sup>-1</sup>, p. eb. 1755 °C, insoluble en agua (García M., 1992; Hawley G. G., 1993).

Es utilizado en la industria automovilística, en la fabricación de acumuladores, aditivos antidetonantes como el tetraetil de plomo ocupa el segundo lugar y es la principal fuente de contaminación del medio ambiente. La concentración en suelos de cultivo, aumenta con la cercanía de esas áreas a las carreteras de intenso tráfico y de zonas urbanas, confirmando lo anterior por el hecho de haber encontrado 3000 ppm en frutas y vegetales (Tirado S., 1983).

Las concentraciones de plomo en el ambiente se han elevado conforme aumenta su uso en diversas actividades industriales. En el suelo las concentraciones varían de 2 a 200 mg/kg., sin embargo en suelos urbanos llegan a ser de 1,600 a 2,400 mg/kg. Una vez que llega al suelo, permanece allí indefinidamente, y solo una pequeña parte es

transportada por la lluvia; por eso se considera al suelo como uno de los principales depósitos de este contaminante.

La absorción por las plantas se hace a través de su sistema radicular y de su follaje, una vez asimilado por la planta es retenido por los cloroplastos y mitocondrias de la célula llegando a interferir hasta cierto grado en el metabolismo del hierro. El contenido en la mayoría de las especies de plantas es de 0.5 a 3 ppm; para determinadas especies, los niveles tóxicos son muy altos, esto crea situaciones de peligro, ya que muchas plantas no manifiestan síntomas tóxicos; pero representa un riesgo para el humano. El envenenamiento con este metal produce una enfermedad llamada saturnismo por lo que el gobierno de Estados Unidos ha decretado un máximo de 2 a 6 mg de plomo por kilogramo de fruta y verduras, resulta de vital importancia el mencionar que concentraciones por arriba de 20 ppm, en el ser humano provoca descalcificación craneana y desequilibrio en el sistema nervioso central (Morvetd J. J. 1983).

Se estima que este es tomado en un promedio de 300 µg. En alimentos sólidos, 20 µg. En líquidos de 10 µg. Por aire, cerca del 10% de la ingestión del plomo es absorbida gastrointestinalmente y del 30 al 50% es inhalado. Se excreta principalmente por orina, heces fecales y en menor grado por saliva, sudor y pelo. Se sabe que provoca una alta proporción de abortos, motivo por el cual, se ha excluido a las mujeres del trabajo en la industria de este metal. (Zhu B. and Alba A. K., 1993; Salim N. A. and Madany M. I., 1993).

La norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 limita las concentraciones de Pb en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales (para uso en riego agrícola) un máximo de 1 mgL<sup>-1</sup> para ríos 1.0 mgL<sup>-1</sup> para embalses naturales y artificiales, 10 mgL<sup>-1</sup> para suelo.

El plomo en forma soluble es captado por las raíces, donde se almacena, debido a su escasa movilidad, mientras que la contaminación atmosférica daña directamente a las partes aéreas de las plantas, especialmente hojas. La captación por parte de la raíz de una planta esta determinado principalmente por sus propiedades físicas y químicas; el comportamiento general indica que el contenido en la planta aumenta con el incremento de la fracción disponible en el suelo, cuando el pH es elevado aumenta la solubilidad y movilidad del metal disminuye, por el contrario la entrada de plomo a la raíz se incrementa cuando el pH es ácido (Broger T. C. *et al.*, 1972).

Las plantas con raíces poco profundas captan más plomo que los vegetales de enraizado profundo. La reacción de los vegetales con este metal es diferente en cada especie y aún en cada variedad. En las plantas llega a restringir la síntesis de clorofila y reduce la fijación de CO<sub>2</sub> por inhibición de la fosforilación fotosintética; esto se atribuye a que induce el cierre estomático. Disminuye el crecimiento al interferir en la producción y mecanismo del ácido indol-3-acético (IAA), que funciona quelando al calcio, proceso en el que compete el plomo, lo que genera en conjunto una disminución de la productividad (Verkleij J. *et al.*, 1991).

**3.4.3 ZINC:** Elemento metálico con número atómico 30, grupo II B de la tabla periódica, peso atómico 65.37, valencia +2, metal blanco brillante, insoluble en agua, p. f. de 419 °C, p. eb. 907 °C, fuertemente electropositivo. Presenta un radio iónico de 0.74 Å, y una densidad de 7.14 gcm<sup>3</sup> (García M., 1992; Hawley G. G., 1993).

Este se utiliza como metal de abrigo, en aleaciones (galvanización de fierro y bronce), pinturas, barnices. El contenido en los suelos normales es de 10 a 300 ppm y de 30 a 50 ppm., se encuentra como catión divalente que es la forma asimilable por las plantas. El exceso en suelo puede presentar una intoxicación en las plantas como clorosis. El aprovechamiento por las plantas es preferentemente si se presenta en concentraciones bajas (Peralta B. M., 1983).

La distribución dentro de la planta está influenciada por el nivel de nitratos, fosfatos y del hierro. En ausencia de nitratos se encuentra en las raíces fijado a las proteínas, en exceso de fosfatos se precipita en los tejidos de conducción antes de llegar a las hojas y cuando hay suficiente hierro se contrarresta el efecto de los fosfatos y se distribuye uniformemente dentro de la planta. La distribución depende también de la capacidad de absorción nutricional para cada una de las diferentes especies vegetales (Mondragón M L., 1986).

La degradación de los suelos agrícolas por el uso del agua residual, amenaza el bienestar del hombre y, particularmente al suelo principal proveedor de alimentos, una de las principales preocupaciones de la especie humana, se refiere al deterioro de los suelos, y con ello, al bajo rendimiento de los cultivos y a la mala calidad de los mismos por efecto de los contaminantes, especialmente los metales pesados los que al incorporarse a la cadena alimenticia agua-suelo-planta, afectan el rendimiento como la calidad de los productos (Rodríguez D. L. y Méndez G. T., 1995)

Por lo tanto el análisis químico de la solución del suelo ha ido cobrando mayor interés y uso por parte de los investigadores debido a que es de la solución del suelo de donde las plantas toman los nutrientes minerales y es en ella donde se llevan a cabo las reacciones químicas entre los iones presentes en suelo (Cajuste L. J. *et. al.*, 1995; Hermosillo S. J. y Espinoza A. 1995).

La norma oficial mexicana NOM-001-ECOL/1996 limita su concentración en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales a un máximo de 10 mgL<sup>-1</sup> para riego agrícola.

La forma más común y móvil del Zn en el suelo es el Zn<sup>2+</sup> pero otras especies iónicas pueden encontrarse en el suelo, la absorción de este elemento es lineal, con la concentración del suelo, la tasa de absorción difiere de una manera importante tanto como la especie como el suelo. La absorción del zinc es metabólicamente controlada, sin embargo llega a dar la absorción no metabólica. La forma en que el Zn es absorbido por la raíces no está perfectamente definida, pero se cree que son las formas hidratadas, en formas de quelatos y Zn<sup>2+</sup>. El zinc ligado a compuestos orgánicos es móvil en la planta y se ha observado una deficiencia de Zn en suelos calcáreos con un pH arriba de 7.0 Su concentración en las plantas varía considerablemente; el Zn presenta posibles antagonismos con Li, Rb, Cu, Mn, Fe y Cd (Bautista Z. F., 1999).

#### 4. ANTECEDENTES.

El lago de Xochimilco, decretado como patrimonio de la humanidad en el año de 1991 por la FAO-UNESCO, existe desde hace cerca de 200,000 años, cuando los movimientos de la corteza de la Tierra y la actividad volcánica regional hicieron emerger la Sierra de Chichinautzin, que “cerró” su vaso de captación hidráulica. Desde ese tiempo el lago ha existido, surtido por aguas de lluvias y por los manantiales que le aportaban las aguas que la Sierra de Chichinautzin iba filtrando poco a poco durante todo el año. El lago de Xochimilco, en sus mejores tiempos, llegó a tener una extensión que lo hacía mantener un mismo nivel de agua, interconectado naturalmente con los lagos de Chalco y México-Texcoco. Sin embargo, la mayor parte del tiempo, el lago de Xochimilco tuvo más nivel y mejor calidad de agua, en relación a otros lagos, debido a los manantiales que lo surtían con toda la captación de la sierra (Acevedo, L. S., 1972; López, D. V. 1975).

Actualmente el lago de Xochimilco ha sufrido los efectos de la contaminación provocada por el crecimiento de la población humana y su evolución en la forma de apropiarse de los recursos naturales para su supervivencia, arrojando al ambiente por un lado desechos fecales y por otro liberando diversos productos contaminantes debido a la actividad industrial (Jeng A. S. and Ram, S. B. 1993)



FOTO 1. CONTAMINACIÓN DE CANALES POR BASURA.

Con el nacimiento de la propiedad privada, el lago de Xochimilco presenció varias guerras, entre el siglo X y XII una tribu nahuatlaca funda Xochimilco y absorbe culturalmente a los pueblos playeros que encontraron, pero la llegada de otras tribus

nahuatlacas al valle, hizo difícil la vida de los nahua-xochimilcas; en el siglo XIV Tezozómoc, señor de Azcapotzalco, ordenó a sus tribus aztecas someter Xochimilco cosa que lograron en 1378 y, conforme los aztecas fueron ganando poder político, hicieron la guerra a los mismos tepanecas de Azcapotzalco, sometiendo directamente al señorío de Xochimilco en 1430. Hasta este año las actividades económicas de estos pueblos no afectaban considerablemente las aguas de Xochimilco, ya que los pocos desechos arrojados a éstas eran fácilmente reincorporados al ambiente, consecuencia de la adecuada autodepuración del sistema, ya que el lago era continuamente surtido por aguas de numerosos manantiales. Además de que estos pueblos mantenían un equilibrio con el ambiente por su cultura e ideología en la cual amaban y respetaban a la naturaleza desarrollan un sistema de producción muy importante, la chinampa (del náhuatl "chinamitl" que significa cercado de cañas, de palos o varas entretrejidas) dichas tierras de cultivo artificial eran construidas enterrando en el fondo del lago estacas de carrizo de madera formando un cercado perimetral, el cual se rellenaba con capas de tierra, césped y aglomerado de plantas acuáticas hasta una altura que sobrepasaba los 25 cm. sobre el nivel del agua. Con el objeto de fijar el terreno y detener los arrastres se plantaban ahuejotes en los bordes de la chinampa. (Acevedo L. S. 1972; Aguilar J. 1978; Pavón M. E. 1993).

En tales chinampas se practicaba un uso intensivo del suelo y se obtenían altos rendimientos con base a las características del sistema, las cuales pueden resumirse:

- a) Suelos altamente fértiles, lo que se lograba a través de una construcción artificial de los mismos con materia orgánica (plantas acuáticas) y sedimentos limosos.
- b) Riego por capilaridad.
- c) Uso de chapines (almácigos) lo que permitía un máximo aprovechamiento de tiempo y espacio

Con esta tecnología, se obtenían varias cosechas al año, lo que permitió que la zona chinampera sur se convirtiera en la principal abastecedora de hortalizas para los antiguos pueblos del Valle de México.

A pesar de todos los cambios provocados por los españoles en el equilibrio ecológico del Valle de México, Xochimilco durante muchos años fue una zona verde productiva, húmeda, generosa y bella; hasta 1913 cuando el lago de Xochimilco sufre una de sus más amargas experiencias. En el año de 1913 (año en el cual la población sigue aumentando y la economía dominante es la industrial) se inician los bombeos de las aguas de sus manantiales (Jeng A. S. and Ram S. B. 1993), para cubrir las necesidades de la población e industria en crecimiento de la capital de México, con lo cual el lago empezó a resentirse y se fueron resecaando sus ciénegas de más bajo fondo y las chinampas se asentaron formando canales (Acevedo L. S. 1972; López D. V. 1975). Al echar andar un nuevo conjunto de pozos de extracción al final de los años cuarentas (Acevedo L. S. 1972; Jeng A. S. and Ram S. B. 1993), prácticamente se desecó el lago y sólo gracias a la defensa popular y legal que hicieran los campesinos de su ambiente hidroagrícola, pudo atenuarse el efecto de la extracción de agua del área.

El gobierno disminuyó la extracción y prometió reintegrar agua de drenaje adecuadamente tratada, para reestablecer el equilibrio hidráulico en la cuenca del lago.

Lo prometió pero no lo cumplió, lo cual trajo como consecuencia un abatimiento considerable en los niveles del lago, afectando la agricultura y turismo de la región lo que provocó abandono de las chinampas que ya era de mala calidad por el ensalitramiento, otra parte de ellas fue urbanizada, con lo cual aumentaron los desechos orgánicos en el lago cuya auto depuración disminuyó gravemente (ya no tenía sus manantiales que le alimentaban y sus niveles de agua habían disminuido) con lo cual comenzó a desaparecer la fauna lacustre, aumento el ansalitramiento, así como la difusión de plagas y enfermedades en los árboles y cultivos. (Baez P. A. y Belmont R. 1975; Alfaro S. G. y Orozco Ch. F.1991; AWWA, 1982).



FOTO 2. ABANDONO DE CHINAMPAS.

El Departamento del Distrito Federal ante tal situación estudió la forma de restituir el agua extraída, la medida adoptada fue que esta agua se restituyera con aguas negras tratadas, De esta forma en 1957 se construyó la primera etapa de la planta de tratamiento de aguas negras "Cerro de la Estrella", con una capacidad de  $0.4 \text{ m}^3/\text{seg}$ , que se puso en operación en el año siguiente. En 1967, se amplió la planta a  $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ , y de esta forma se consiguió elevar un poco el nivel de agua en los canales de Xochimilco, pero la extracción sigue siendo mayor que la recarga. Según datos de la DGCOH-DDF (1989) la recarga del sistema lacustre es insuficiente para compensar la extracción según se demuestra a continuación:

Extracción	-10.8	$\text{m}^3\text{seg}^{-1}$
Recarga natural (superficial + subterránea)	+4.356	$\text{m}^3\text{seg}^{-1}$
Aguas tratadas en Iztapalapa	+1	$\text{m}^3\text{seg}^{-1}$
Aguas tratadas en San Luis Tlaxiátemalco	+0.225	$\text{m}^3\text{seg}^{-1}$
Total	-5.219	$\text{m}^3\text{seg}^{-1}$

Como se aprecia el gran problema de Xochimilco es un desbalance continuo, promedio a lo largo del año, que es del orden de menos 5.219 litros por segundo o lo que es lo mismo  $450,921 \text{ m}^3\text{día}^{-1}$ , o bien 164, 586,170 millones de litros cada año.

En resumen, la utilización de los recursos hídricos inicialmente superficiales (manantiales) y posteriormente hidrogeológicos (pozos) para el abastecimiento de agua potable deshizo el balance hídrico de la zona chinampera provocando:

- 1) Aparición de grietas por asentamientos diferenciales, afectando a las estructuras, edificios, vías de comunicación, tuberías, colectores, canales y provocando la contaminación de aguas subterráneas.
- 2) Contaminación severa de aguas superficiales, provocada por la recarga a los canales con aguas tratadas primeramente; por recargas de aguas negras provenientes del río San Buenaventura y la zona Urbana de Xochimilco con descargas diarias de 50,400 habitantes que carecen de drenaje (una descarga diaria de  $1,383 \text{ m}^3$  de aguas negras a los canales, y descargas de 150 establos, rastros clandestinos y porquerizas aledaños a los canales que vierten excretas a los mismos así como otros desechos (vísceras, sangre etc.) con ellos los canales de Xochimilco presentan muy altas concentraciones de materia orgánica (Aguilera H. M. 1987; Chapa S., 1987).



FOTO 3. PRESENCIA DE ESTABLOS CLANDESTINOS.

## 5. PROBLEMÁTICA.

En la actualidad, la baja productividad de los suelos, es uno de los principales problemas de carácter nacional. La deficiencia de producción se debe, en parte, a la degradación del recurso, provocada por diferentes razones tales como: impacto ambiental, fertilización intensiva, uso y manejo irracional, entre otros. El incontrolado crecimiento demográfico del país ha provocado la degradación de los recursos naturales haciendo cada día más insuficiente la producción de alimentos destinados a satisfacer las necesidades de los grandes conglomerados de población (Alfaro S. G. y Orozco Ch. F., 1991).

Con respecto a la zona chinampera de Xochimilco, el deterioro de los suelos se debe al ensalitramiento, contaminación e inundaciones, problemas originados primordialmente por el acelerado crecimiento demográfico de la Ciudad de México que para satisfacer sus necesidades entubo el agua de los manantiales que alimentaban, a los canales de Xochimilco y que circundan a la zona. Esto consecuentemente provoco una disminución

en el volumen de agua de los canales, ante esta situación en el año de 1957, el D.D.F., para aliviar un poco este problema se retroalimentó a los canales con agua tratada por la planta de Tratamiento del cerro de la Estrella, lo cual en lugar de mejorar, ahondo el problema, ya que este tipo de agua arrastraba gran cantidad de contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos dentro de estos los metales pesados tóxicos que se convirtieron en uno de los problemas más graves ya que sus elevadas concentraciones afectaron todo el sistema incluyendo agua, sedimento, peces, suelo y hortalizas, ya que este tipo de agua ha sido utilizada para regar los vegetales (González M A., 1990).



**FOTO 4. RIEGO DE VEGETALES CON AGUA DE LOS CANALES.**

En el año de 1990 el D.D.F, pone a funcionar el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco para concertar en tan sólo tres años la vitalidad de la Ciudad de México, la cual se encuentra con una degradación ecológica, en consecuencia con las reservas de agua y áreas verdes más importantes para los habitantes de la zona metropolitana.

Entre los principales objetivos se encuentran los siguientes:

- Inducir la recarga de los mantos acuíferos para conservar reservas de agua del subsuelo.
- Construir Lagunas de Regulación para disminuir riesgos de inundaciones en varias Delegaciones del Distrito Federal.
- Mejorar la calidad del agua en lagos y canales, donde se autorizarán la terminación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Cerro de la Estrella, en Iztapalapa y de San Luis Tlaxialtemalco, en Xochimilco, que introducirán a toda la chinampería  $4\text{m}^3/\text{seg}$  de agua terciaria.
- Prevenir mayores hundimientos en el área lacustre.

- Evitar mayores hundimientos en el crecimiento de la Mancha Urbana en la Ciénega y en el Lago
- Como consecuencia de esto, algunas especies desaparecieron o vieron disminuidas sus poblaciones, como por ejemplo podemos citar, el acocil, ranas, tortugas y aves migratorias.
- Disminuyo el cultivo de hortalizas y flores de ornato (Moneada H., 1989) (D.D.F. Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco, 1990)

Según se ha podido establecer hasta el momento, no existen aparentemente grandes avances en la recuperación de la calidad del agua y por lo tanto no existe un mejoramiento en los suelos y hortalizas.



**FOTO 5. PROBLEMAS EN EL CRECIMIENTO DE VEGETALES.**

Por lo mencionado anteriormente se puede puntualizar que el problema de los suelos y hortalizas de la zona es un problema vigente, el cual merece una evaluación integral, la cual permitirá con posterioridad realizar recomendaciones claras y específicas acerca del mejoramiento de esta zona declarada por la UNESCO como Patrimonio cultural de la Humanidad.

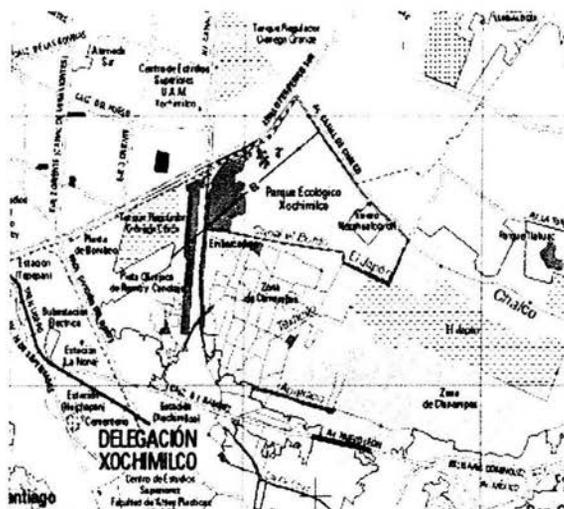
## 6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

**6.1 ETIMOLOGÍA:** El vocablo Xochimilco esta formado por la aglutinación de tres voces etimológicas:

Xochitl que significa Flor;  
Milli que significa Sementera;  
Co adverbio del lugar o locativo "En"  
"En la Sementera de Flores" (Espinoza C. S., 1971).

### 6.2 LOCALIZACIÓN:

La Delegación de Xochimilco está situado geográficamente en la parte sureste del DF., entre los 99° 9'41" y 99° 21' de longitud occidental, partiendo del Meridiano de Greenwich; así como entre los 19° 17'35" y 19°8'15" de Latitud Norte aproximadamente, teniendo una altura en términos medios de 2500 msnm, limita al Norte con las Delegaciones Iztapalapa y Coyoacán, al Sur con la Delegación Milpa Alta; al Este con la Delegación Tlhuac y al Oeste con la Delegación Tlalpan, cuenta con una superficie total de 12,202 hectáreas; está integrada por las comunidades de San Francisco Tlanepantla, Santiago Tepalcatlapan, San Mateo Xalpa, San Andrés Ahuayucan y los pueblos de San Lucas Xochimanca, Santa Cruz Xochitepec, San Gregorio Atlapulco, Tepepan, Tulyehualco y Xochimilco, el cual está dividido en la Ciénega Grande y Ciénega Chica (mapa 1) (INEGI, 2002) (ver anexo 17.2, mapa 1.1).



MAPA 1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

**6.3 CLIMA:** El clima de Xochimilco es del tipo C (W2) (w) b (y') o sea templado húmedo, considerado como el más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano. Las heladas comienzan normalmente en octubre y terminan en marzo (Aguilera H. M., 1987).

Las lluvias tienen lugar principalmente durante verano y otoño. Sin embargo, debido a la altura diferente por el relieve, se encuentran también dos subtipos de clima Cwb (de llanura y región baja de los declives), y Cwc, (templado con invierno frío) que corresponde a las zonas más altas de los declives situados al sur de la Delegación (Acevedo L. S., 1972) (Chapa S., 1987) (López D. V., 1975).

Las temperaturas medias anuales varían de 14°C a 16°C, en la porción norte, disminuyendo hacia el sur, donde se tiene un régimen térmico cercano a 12°C. Los meses con mayor temperatura son mayo y junio y los de mayor precipitación de julio a septiembre (ver mapa 2) (anexo 17.2) (Chapa S., 1987).

**6.4 OROGRAFÍA:** Se puede dividir el sistema orográfico de Xochimilco en tres importantes zonas:

- a) Zona media laboral de la Sierra del Ajusco (2300 msnm).
- b) Zona entre Tlalpan y Xochimilco (2500 msnm).
- c) Zona de llanura. Llena de área lacustre, inclinada de sur a norte, a 2000 msnm.

La zona montañosa consiste en una serie de accidentes geográficos con relación entre sí, y que forman unas especies de "faja" que rodea al sur de la llanura, especialmente sierra de Cuautzin, al sureste de la Sierra del Ajusco y al este de la Sierra Nevada, aunque esta última no está en el DF.

La superficie montañosa de esta zona está comprendida entre los 2200 y 2500 msnm. El sistema orográfico se subdivide principalmente en tres zonas:

El norte de la Sierra del Ajusco, entre los Cerros Teuhtli y Rzompole, al norte del Cuautzin. Los principales cerros con que cuenta, de este a oeste, el Teuhtli, Tlamacaxco, Teoca, Tochuca, Santiago y Xichitepec.

La tercera zona es la llanura formada por depósitos aluviales y lacustres, donde se encuentran los cerros Moyotepec, Xilotepec y la Noria (ver mapa 3) (anexo 17.2).

**6.5 RASGOS GEOLÓGICOS PRINCIPALES:** Afloran rocas del terciario al reciente, volcánica, fluvio-aluviales y lacustre: andesitas, dacitas, basaltos y materiales efusiva, gravas, arenas, limos y arcillas, la cuenca se convierte en endorreica en el cuaternario al cerrarse el drenaje natural hacia el sur (ver mapa 4) (anexo 17.2)

**6.6 SUELO:** El suelo tiene diferentes configuraciones y colores van de gris al negro-humo en la parte alta, y del negro al café claro, en la parte baja o de chinamparía. El limo sacado por el hombre de los canales es la composición de la chinampa, fuentes de producción agrícola.

Por la intemperización de la roca madre la parte baja presenta materiales de depósitos de migajones volcánicos y constituyen la "llanura lacustre" con textura areno arcillosa o franca (Acevedo L. S., 1972).

El suelo siempre ha sido fértil, ha permitido cultivos que durante cientos de años se han efectuado con provecho. Es suelo pleno de limos, de materia orgánica, de color negro, llamado "Chernozem" (suelo negro en ruso).

Por regiones, los suelos más importantes son: Los suelos en materia orgánica, principalmente en nitrógeno, que se localiza en la zona de llanura. Su origen es una capa vegetal llamada humus, que al bajar el nivel de las aguas deja un suelo rico en nutrientes vegetales, que actualmente se utilizan principalmente para el cultivo del maíz.

En las altas de Xochimilco predomina el suelo de textura migajón-arenoso  $\mu\text{m}$ , y por la tala inmoderada de bosques y la subsiguiente erosión resulta que los suelos proporcionan poca materia orgánica.

**6.7 SALINIDAD:** La zona de Xochimilco por ser una cuenca cerrada al interior de la cual se transportan sales a través de los efluentes del drenaje y otras aguas que llevan sales originadas en rocas intemperizadas. Más aun, la alta evapotranspiración, que excede a la cantidad anual de lluvia, contribuye a la acumulación de sales en el suelo, debido a que el nivel de iones en el agua de drenaje es mayor que en el agua de los manantiales que alimentaban el lago en el pasado, es probablemente que sea el agua del drenaje la causa principal de las sales en el sistema actual, por otra parte, en vista de que el efluente crece mientras la dimensión de receptáculo (lago) disminuye, la carga de sales también se incrementa relativamente.

Otra posibilidad es la acumulación de sales como resultado de los riegos realizados durante la época de secas. Más aún, muchos cultivo en la estación lluviosa evapotranspiran tanto como la cantidad de lluvia o más. Consecuentemente el lavado de sales es poco probable, y la acumulación de las mismas puede continuar interrumpidamente por muchos años. Siendo así, el incremento de sales en el suelo puede alcanzar niveles muy elevados trayendo fracasos en los cultivos, especialmente en aquéllos que son muy sensibles a las sales (Alfaro S. G., 1980) (Aguilera H. N., 1987) (Cárdenas L. P., 1990).

Los principales iones acumulados en el suelo de Xochimilco son:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^-$  el pH de los extractos de los suelos mantiene rangos entre condiciones casi neutras a ligeramente alcalinas y nos indica problemas específicos, fuera de los efectos nutricionales tales como la disponibilidad de fósforo y micro nutrimentos (Alfaro S. G., 1980) (Cervantes G. E., 1988) (Duflus H. J., 1983) (Pavón M. E., 1993).

**6.8 SODICIDAD:** La información de campo muestra ocurrencia de proporciones altas de sodio en extractos saturados del suelo. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es también alto. Niveles altos de sodio acompañados por niveles altos de PSI usualmente causan severa dispersión coloidal y restringen movimientos adecuados de agua y aire en el suelo. Sin embargo, en este caso, este fenómeno no se observa en Xochimilco y la estructura del suelo está en buenas condiciones. La presencia de una gran cantidad de materia orgánica es la causa principal de la excelente estructura del suelo. Los niveles de magnesio también son altos, especialmente en las capas superiores, excediendo al calcio. El Boro se encuentra presente en agua y suelo, mostrando posibles efectos en los cultivos (Alfaro S. G., 1980) (Cárdenas L. P., 1990) (Duflus H. J., 1983).

**6.9 HIDROGRAFÍA:** Del suelo de la Delegación surgían numerosos manantiales de agua potable que abastecían a la población, pero ahora están agotados. Actualmente llega agua entubada desde San Gregorio y el puente de Urrutia directamente desde la planta de tratamiento de aguas negras, en el Cerro de la Estrella, Iztapalapa.

La Delegación de Xochimilco cuenta con corrientes de importancia, como son algunas corrientes intermitentes que bajan las laderas del Ajusco y el Cuautzin a las partes más bajas de la zona de lagos, así como las del:

- a) Río San Buenaventura. Viene del Ajusco, y pasa por diversas barrancas hasta llegar al lago de Xochimilco desde Tepepan hasta el final del bordo donde desemboca.
- b) Río Parres. Recorre las planicies de Tlalpan para llegar a Xochimilco, cambiando su nombre a Santiago al pasar por el pueblo del mismo nombre. Desemboca en la presa de San Lucas (ver mapa 5) (anexo 17.2).

Los principales canales de la región son: Cuemanco, Apatlaco, Tlilac, Trancatitla, Tecuitetl y el canal de Chalco que sirve de límite entre Tlahuac y Xochimilco (Báez P. A. y Belmont R., 1975) (Chapa S., 1987) (ver mapa 6) (anexo 17.2).

El sector agrícola de las chinampas se alimenta:

- a) Por un lado de las descargas del sector turístico (si llega a haberlas en estiaje) a través de dos vertederos fijos susceptibles de sobreelevarse con tabloncillos de dos metros de ancho cada uno.
- b) Por el norte, reciben el aporte (750 L/seg) de aguas de planta de tratamiento del Cerro de la Estrella, en época seca (Octubre- Junio). La descarga se realiza hacia el poniente, por el canal de Cuemanco en dirección sur-norte al Canal Nacional, a través de dos tubos de 0.2 m de diámetro, hacia la Pista Olímpica de recreo y Canotaje, por un vertedero de 0.4 m de anchura.

El Canal Nacional-Cuemanco es, actualmente, el sistema de drenaje principal existente; este sigue una dirección sur-norte, iniciándose en las chinampas. Recibe por el margen izquierdo al Río San Buenaventura y la descarga por bombeo de unos 500 L/seg de aguas negras tratadas (hasta 4m<sup>3</sup>/seg en tormentas). Por el margen derecho recibe, por bombeo (hasta 4m<sup>3</sup>/seg) las descargas del Canal de Chalco (Báez P. A. y Belmont R., 1975) (AWWA., 1982) (Jeng A. S and Ram S. B., 1993).

Además los vertidos de aguas negras, tanto del San Buenaventura como de las estaciones de bombeo, convierten al Canal Nacional en una cloaca de aguas negras casi estancadas. Existe un colector de cintura que une núcleos urbanos (Santa Cruz, San Gregorio, San Luis y Tulyehualco) con la laguna de oxidación de San Luis, que debido a asentamientos y filtraciones, no operaba en forma adecuada (Báez P. A y Belmont R., 1975). Actualmente en San Luis existe una planta de tratamiento biológico secundario.

Los ríos que descargan directamente en el sistema lacustre Xochimilco Tlahuac son San Buenaventura, Santiago, San Lucas, Mixquic y Milpa Alta, aunque algunos ya están entubados (Acevedo L. S., 1972) (Báez P. A. y Belmont R., 1975) (AWWA, 1982) (Jeng A. S. and Ram S. B., 1993).

**6.10 FLORA:** La flora de Xochimilco fue abundante, especialmente en los bosques mixtos, las montañas estaban cubiertas de ellos. La vegetación en la actualidad es pobre, debido a la tala inmoderada en las zonas de vegetación. Por la erosión del suelo, sobrevinieron diversos hechos biológicos: cambio de clima, escasez de precipitaciones y aumento de la temperatura.

La vegetación propia de esta zona lacustre está formada principalmente por ahuejotes, típicos de la región, que fueron sembrados con el fin de fijar las chinampas al fondo del lago. Bordeando los canales se encuentran árboles de casuarina, sauce llorón, alcanfor y eucalipto.

En la superficie de los canales encontramos plantas tales como: lirio acuático, ombligo de venus y las ninfas, la lechuga de agua. Los más comunes son el chichicaste y la lentejilla.



FOTO 6. PRESENCIA DE LIRIO ACUÁTICO.

En los canales y zanjas abundan la hoja de flecha y el alcatraz. Sobre la tierra se agrupan las lenguas de vaca y la ortiga, ligulas blancas y estrella de agua, abunda el zacate de varias especies. En las partes elevadas de Xochimilco hay pequeñas zonas de bosque mixto con algunos pinos, cedros, ahuehuetes, ocotes, encinos. En zonas de menor elevación podemos hallar capulines, eucaliptos, alcanfores, toloache y chilacayote (Ramos B. y Cajuste J., 2001).

**6.11 FAUNA:** En los parajes de Xochimilco, la fauna fue abundante, terrestre, acuática y aérea, había liebre, tigrillo y venado; serpientes, roedores y cacomixtle, tlacoache, tejón, tuza, tepexcuintles (perros criados para cocinarse), que ahora casi desaparecieron, quedando algunas de esas especies en cautiverio. Las aves canoras que eran abundantes han desaparecido causa de la tala de árboles. Las aguas tenían carpas de gran tamaño, charales, ranas jumiles, acociles y ajolotes. La fauna típica de Xochimilco está desapareciendo. Se ha extinguido gran parte de ella, otra ha huido a lugares más

seguros. Todavía el siglo pasado se mencionaba al venado entre los animales de la región, y ahora ha desaparecido totalmente. Quedan varias especies, algunas útiles y otras nocivas: coyote, tlacoache, comadreja y zorrillos, tejón y cacomixtle, armadillos, ardilla, conejo y ratón (Rojas R. T., 1993).

Acerca de la fauna acuática, la existente antes de la introducción de aguas negras a los canales de Xochimilco era abundante: carpa, ajolote, almeja, rana, carpa roja, blanca y negra, trucha, acocil, tortuga y huil. Estas especies eran importantes porque aseguraban un ingreso económico extra a los vecinos y una dieta rica. En la actualidad es muy difícil obtener cualquiera de estas especies, y es interesante agregar que el D.D.F., y la S.A.G. trajeron carpas de Israel para establecer el nivel ecológico original, pero murieron al poco tiempo, o no se reprodujeron por la calidad inadecuada del agua para su desarrollo. Queda un poco de carpa, huil y metaxpique, acocil y cochinilla de humedad. En verano y otoño, en los canales se encuentran aves migratorias como la gallina, la agachona y el pato silvestre (Chapa S., 1987) (López D. V., 1975).

**6.12 CULTIVOS PREHISPÁNICOS.** Los estudios de los suelos de chinampa de la zona lacustre de Xochimilco tienen especial interés ya que constituye una técnica de cultivo prehispánico única en el mundo, clara representación de las relaciones existentes entre el hombre-suelo-agua-planta (Vallejo A. C., 1992). Así mismo a estos suelos se les considera uno de los métodos más intensivos que se haya dado, modelo del ingenio mexica que supo aprovechar y combinar con éxito las circunstancias de su medio (Vallejo A. C., 1995).

En la actualidad las chinampas se encuentran en peligro de desaparecer debido al crecimiento urbano en la Ciudad de México y a la sobreexplotación de los mantos acuíferos de esta región. Desde la introducción de aguas negras parcialmente tratadas, el problema de ensalitramiento se ha incrementado. La salinización de los suelos de chinampas repercute en la sustitución de hortalizas por plantas de ornato y finalmente su abandono. Además se han reportado concentraciones de metales pesados como Pb, Cd, y Cr que sobrepasan los límites recomendados por la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos en los sedimentos y en los suelos de la zona lacustre, para que las chinampas constituyan un agrosistema en equilibrio y digno de mostrarse como una atracción turística (Aguilera H. N., y Ramos B. R., 1987).

De las numerosas plantas nativas de Mesoamérica que se producen en estas parcelas, la de maíz ha sido la principal y la más constante a través de los siglos. El jitomate le sigue en importancia, con una producción orientada al mercado; el tomate, los chiles y las calabazas también se cultivaron en forma predominante. Frijoles, chíca, chayote, chilacayote, diversas flores de ornato, hierbas de olor y quelites, completan la lista de cultivos mesoamericanos en las chinampas, si bien algunos de ellos han sido solo huéspedes temporales.



FOTO 7. ASENTAMIENTOS HUMANOS.

Prácticamente todas las hortalizas así como gran parte de las flores y de las hierbas de olor traídas por los españoles durante la colonia, fueron incorporados, paulatinamente, al repertorio de las plantas cultivadas en las parcelas lacustres: pepino, coliflor, col de bruselas, alcachofa, ajo, cebolla, espinaca, acelga, cilantro, perejil, betabel, apio, nabo, rábano, poro, brócoli, etc.

Un total de 95 especies entre frutales, hortalizas, cereales y flores, sin contar las forestales han sido y algunas siguen siendo cultivadas en la delegación de Xochimilco, pocas zonas en el mundo pueden presumir de tanta variación en cuanto a especies cultivadas (Rojas R. T., 1993).

## 7. JUSTIFICACIÓN.

La zona chinampera de Xochimilco se ha visto seriamente afectada en las últimas décadas debido a la presencia de aguas residuales industriales no tratadas, aguas residuales domésticas y en general a un deterioro ecológico muy marcado afectando el crecimiento de las hortalizas ahí cultivadas.

En este proyecto, se evalúa la concentración de algunos metales pesados tóxicos (Cd, Pb, y Zn), en suelo así como en los vegetales (Acelga china, Coliflor Verdolaga, Romero, Brócoli y Espinaca) que son cultivados en las chinampas.

El hecho de que el agua de los canales de Xochimilco contengan gran cantidad de contaminantes orgánicos como inorgánicos y considerando que con esta misma agua son regados el suelo y las hortalizas de la zona, existe la posibilidad potencial de que dichos vegetales estén contaminados con estos elementos, es de preocupar la contaminación de los vegetales por los metales pesados tóxicos, ya que por su poder de bioacumulación son peligrosos para el consumo humano (Ramos B. y Cajuste J. 2001).

Por lo cual resulta de vital importancia, evaluar los metales pesados en suelo en forma total; así como la concentración que se presenta en las hortalizas en la parte comestible, ya que son potencialmente consumibles por el ser humano.

Esto nos permitirá establecer la posible movilidad de los metales pesados en la relación suelo-planta.

## **8. HIPÓTESIS:**

Al comparar la concentración de metales pesados tóxicos presentes en las hortalizas; con la concentración de estos contaminantes (Cd, Pb, y Zn) en suelo de la zona, se podrá establecer la eficiencia de absorción de las hortalizas, así como el grado de contaminación del sistema edáfico y la influencia de los parámetros físicos y químicos del suelo

## **9. OBJETIVOS:**

### **9.1 OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar la concentración de tres metales pesados tóxicos (Cd, Pb, y Zn) en suelo de las chinampas de Xochimilco, su relación con algunos parámetros físicos y químicos del mismo, así como detectar la presencia de los elementos tóxicos mencionados en la parte comestible de las hortalizas cultivadas en la zona.

### **9.2 OBJETIVOS PARTICULARES:**

1. Determinar algunas propiedades Físicas y Químicas del suelo: pH, Materia Orgánica, Textura. Capacidad de Intercambio Catiónico Total, Carbonatos, Sodio y Potasio Solubles, Conductividad Eléctrica.
2. Determinar la concentración de metales pesados totales (Cd, Pb y Zn), en el suelo del área de estudio.
3. Determinar la concentración de metales pesados tóxicos (Cd, Pb y Zn), en la parte comestible de las hortalizas cultivadas en la zona chinampera de Xochimilco. (Acelga china, Coliflor, Verdolaga, Romero, Brócoli, Espinaca).
4. Establecer la posible relación entre los metales pesados tóxicos del suelo, con los parámetros físicos y químicos y la concentración en la parte comestible de las hortalizas. Tomando como referencia la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL/1996, que limita su concentración en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales para riego agrícola, la NOM-021-RECNAT-2000, clasifica al suelo en cuanto a su valor así como concentraciones de cadmio y plomo. Además utilizando algunos criterios según la EPA en la que menciona algunos metales de mayor importancia en el agua, en la que se encuentran en forma iónica, y los clasifica en prioritarios y no prioritarios (Tabla No. 6) (anexo 17.2).

## 10. MÉTODOS.

El trabajo se dividió en actividades de Campo, Laboratorio y de Gabinete

### 10.1 MÉTODO DE CAMPO

La zona chinampera de Xochimilco es alimentada por gran cantidad de canales; para un estudio adecuado e integral, se seleccionaron cuatro diferentes sitios de monitoreo, en los cuales se escogieron las chinampas cultivadas al azar, para poder tomar las muestras de suelo así como de vegetales, ya que estas son regadas con aguas de los canales y así poder establecer el grado de contaminación que va a repercutir en la relación suelo-planta.

Las chinampas analizadas se encuentran en los siguientes canales:

Canal de Apampilco  
Canal de Trancatitla  
Canal de Apatlaco  
Canal de Tlilac

(Ver mapa 6) (Anexo 17.2)

**10.1.1 TOMA DE MUESTRAS DE SUELO:** Las muestras se tomaron a una profundidad de 0 a 30 cm, estableciendo un muestreo en zig-zag, a lo largo de una línea dentro de la chinampa el cual se escogió un lado del terreno, escogiendo al azar el punto de partida para definir el plano de muestreo y cubrir homogéneamente la zona las muestras se tomaron antes de una lluvia ó de fertilizar ya que estos factores tienden a modificar el estado natural del suelo en que se desarrollan los sistemas radiculares de las plantas. A partir de esto se obtuvo una muestra compuesta de toda la chinampa la cual se preparo con submuestras con un mismo volumen de suelo para un buen proceso de homogeinización de aproximadamente 2 kg., la cual se depositó en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas para su respectivo análisis en laboratorio (Castro Z. R., 1987) (Jackson M. L., 1982).

**10.1.2 TOMA DE MUESTRAS HORTICOLAS:** Las muestras de vegetales en crecimiento se tomaron en zig-zag, en los mismos puntos donde se tomaron las de suelo en las chinampas establecidas, esto por medio de una pala de plástico, posteriormente se depositaron en bolsas de papel previamente etiquetadas y se transportaron al laboratorio para su análisis (Chapman D. H., 1981).

### 10.2 MÉTODO DE LABORATORIO.

**10.2.1 MUESTRAS DE SUELO.** Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, posteriormente se molieron en un mortero de porcelana, tamizándolos con una malla de 2mm de diámetro (malla 10), la cual se procedió a realizar las determinaciones de los parámetros físicos y químicos.

**10.2.2 MUESTRAS DE HORTALIZAS:** Las hortalizas colectadas se lavaron a chorro de agua, se pusieron a escurrir y se secaron en la estufa a una temperatura de 180°C, por 48 hrs. Posteriormente se molieron en un mortero de porcelana y se tamizaron con una malla de 2 mm de diámetro, se procedió a realizar la determinación de los metales pesados (Cd, Pb y Zn).



**FOTO 8. LAVADO DE HORTALIZAS.**



FOTO 9. TOMA DE MUESTRAS COMPUESTAS DE SUELO

### 10.3 ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS:

**10.3.1 TEXTURA.** Es la proporción relativa por tamaños de partículas de arena, limo y arcilla, Se realizó por el método del hidrómetro de Bouyocus. Modificado por (Villegas *et al.*, 1978).

**10.3.2 pH.** Determina el grado de acidez o alcalinidad de un suelo, expresado en términos de escala de pH, de 0 a 14. Se determinó mediante un potenciómetro en una suspensión suelo-agua en relación 1:2.5 (Jackson M. L., 1982).



FOTO 10. DETERMINACIÓN DE TEXTURA.

**10.3.3 MATERIA ORGÁNICA.** La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de  $Fe^{+3}$  y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso (Jackson M. L., 1982).

**10.3.4 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL.** Se determinó empleando acetato de Amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante. El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ión amonio; lavado del exceso de saturante con alcohol (Jackson M. L., 1982).

**10.3.5 CaCO<sub>3</sub>.** Método para la determinación de carbonatos de calcio equivalentes por neutralización ácida. Se sigue el método de titulación rápida por Piper, también llamado método ácido de neutralización. La muestra es tratada con ácido diluido y el ácido restante, se titula (Richards L. A., 1980).

**10.3.6 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.** Es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica, la conductividad de una solución electrolítica depende de la concentración total de iones presentes en agua, de la movilidad de cada uno de los iones disueltos, su valencia y de la temperatura a la que se hace la determinación, esto por medio de un Conductímetro (Chapman D. H., 1981).

**10.3.7 SODIO Y POTASIO SOLUBLES.** Método para determinar los cationes solubles en el extracto de saturación por medición de un aparato, espectrofotómetro de flama (Richards L. A., 1980).

**10.4 METALES PESADOS TOTALES PARA SUELO Y HORTALIZAS.** Método para determinación de metales contaminantes (cadmio, plomo y zinc) del suelo fundamentalmente se asocian a su capacidad para disolver o extraer alguna forma química del metal presente en el suelo La eficiencia de extracción dependerá de la capacidad de cada solución para poder recuperar parte de aquellas formas de metales presentes en el suelo, las cuales generalmente se asocian a la cantidad de metal que es absorbido por los cultivos.

Se determinó por separado el análisis de metales para suelo y hortalizas, adicionando 1 g de suelo y 1 g de vegetal con 3 mL. de Ac. Nítrico concentrado y 2 mL de Ac. Perclórico concentrado a un matraz Kjeldahl, para su digestión a una temperatura de 80°C durante 24 hrs. Posteriormente se analizaron los metales pesados por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Chapman D. H., 1981).

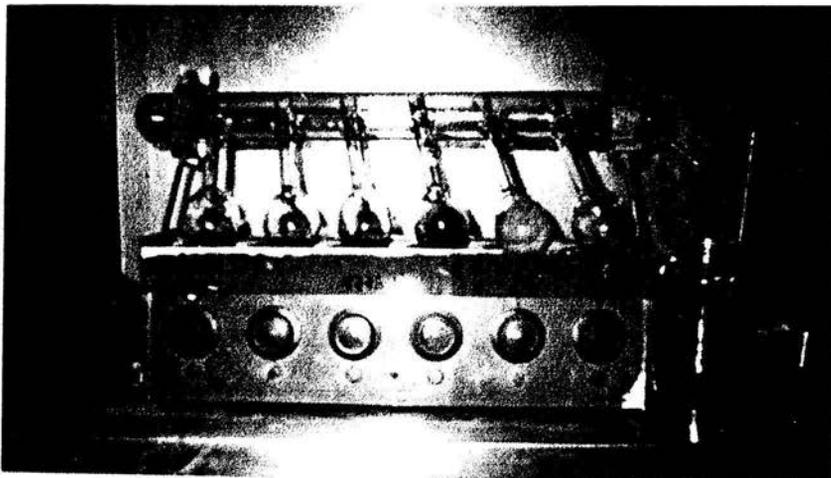


FOTO 11. DIGESTIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y HORTALIZAS.

### 10.5 FASE DE GABINETE.

Con los resultados obtenidos de los parámetros físicos y químicos y los valores de las concentraciones de metales pesados (Cd, Pb y Zn) en suelo como de vegetales, se realizó un análisis estadístico univariado relacionando los valores y promedios, para establecer el posible grado de asociación entre las propiedades del mismo y las concentraciones de los metales pesados analizados, así mismo se estableció cual ó cuales metales ejercen mayor influencia en la relación suelo-planta.

## 11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

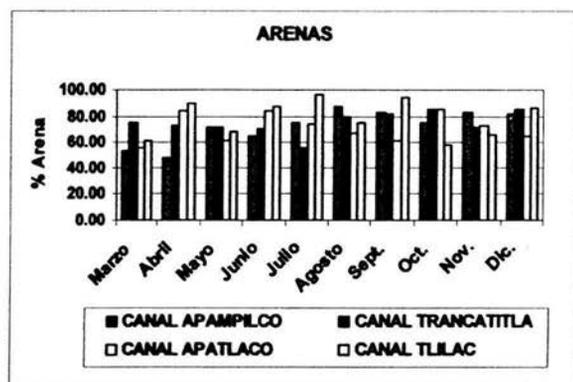
### 11.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS.

En las gráficas siguientes, se muestran los resultados obtenidos para la textura, pH, Materia Orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT), Carbonatos, Conductividad Eléctrica, Sodio y Potasio, para cada uno de los sitios analizados.

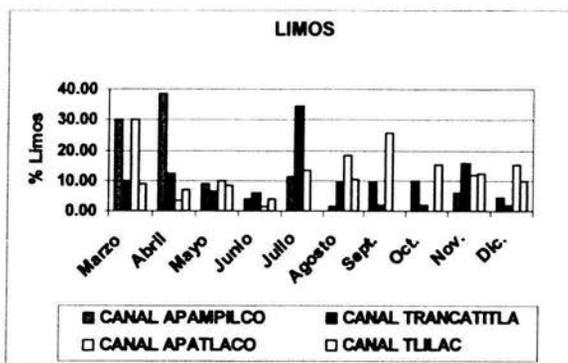
#### 11.1.1 TEXTURA

La textura determina la proporción y magnitud de muchas reacciones físicas y químicas del suelo, ya que establece el tamaño de la superficie sobre la cual ocurren tales reacciones. Las partículas de arena son comparativamente de mayor tamaño en relación a las del limo y arcilla.

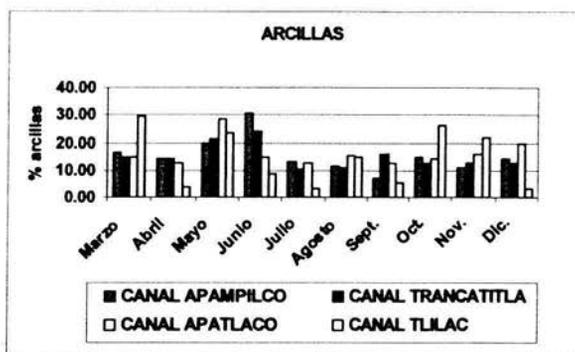
Para los cuatro sitios analizados Apampilco, Trancatitla, Apatlaco, Tlilac, los contenidos de arena Gráf. 1 oscilan entre 47.28 y 96.72 %, lo cual indica que el suelo tiene un buen drenaje y aireación. Esto debido a que en los suelos chinamperos se han realizado estudios por Vallejo, (1992) que reporta una textura de migajón limosa, migajón arcilloso, arcilla franca o migajón arenoso. Podemos observar que las arenas presentes no varían una de otra de cada canal analizado con respecto a cada mes muestreado. Es importante encontrar proporciones de limos como se muestran en la Gráf. 2 con 0.00 y 38.36 %, y arcillas Gráf. 3 con los siguientes contenidos 3.14 y 30.72 % esto con referencia a lo ya mencionado anteriormente se puede decir que las mismas tienen influencia sobre la capacidad total de retención de agua, así como en la disponibilidad de nutrimentos, se hace evidente que las arenas son predominantes para todo el sistema.



Gráfica 1. Comportamiento Temporal.



Gráfica 2. Comportamiento Temporal.



Gráfica 3. Comportamiento Temporal

### 11.1.2 pH

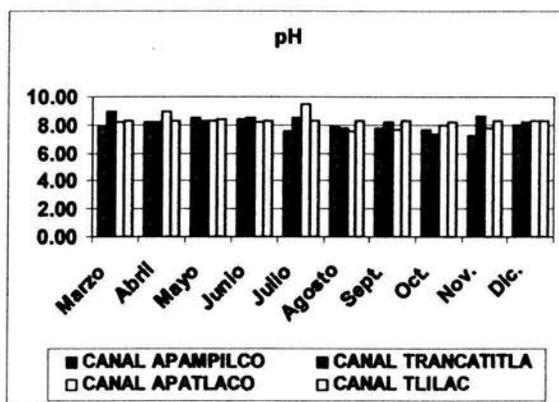
El pH del suelo es importante porque indica el estado químico del mismo, así como su efecto en varios procesos biológicos que incluyen el crecimiento vegetal. De acuerdo al análisis de cada una de las estaciones de muestreo Gráf. 4, tenemos que el canal de Apampilco presentó valores de 7.20 a 8.53; mientras que para el canal de Trancatitla los valores de 7.34 a 8.94, Apatlaco 7.59 a 9.52 y por último Tlilac con 8.20-8.37, respectivamente. Por lo tanto podemos observar que el canal de Apatlaco presenta, en el mes de abril y julio el pH más básico siguiéndole Trancatitla el cual permaneció constante durante todos los meses. Por lo que respecta a Tlilac y Apampilco el comportamiento fue muy similar.

Se han reportado resultados similares a los obtenidos en los cuatro puntos de muestreo, por Aguilera, (1987) con valores de 8.6-9.3, menciona que el pH en los primeros 30 centímetros, es básico. Además el pH tiende a aumentar al disminuir la profundidad, esto debido a la acumulación de las sales que no alcanzan a ser lavados por la lluvia y/o por el riego, y por efecto de capilaridad asciende hasta la superficie donde frecuentemente afloran y forman costras de colores pardos y blancos; Alfaro y Orozco

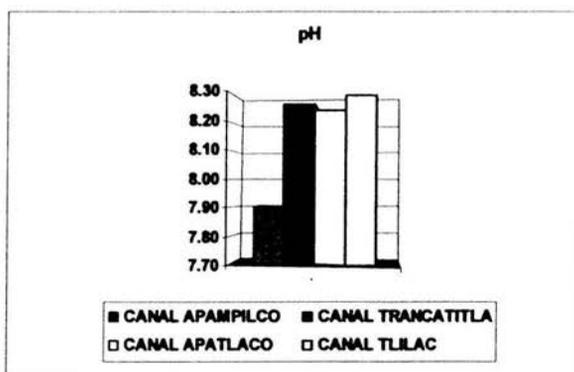
(1991), realizaron también estudios en la zona del Ejido de Xochimilco (Ciénega Grande), obteniendo resultados de pH de 7.6-9.3 considerando el pH como básico. Otros autores como Jones y Wolf, (1984), clasifican el pH en escala de 7.4-8.3 con una categoría de Alcalino, y >8.3 como fuertemente alcalino.

El pH óptimo para las especies agrícolas cultivadas, están dentro de un intervalo de 6-8 y pueden ser tolerantes a la salinidad del suelo esto se puede observar con respecto a los vegetales que se cultivan en las chinampas. Wong, S. C. et. al., 2002. Maneja el pH del suelo en cultivos de arroz y suelos naturales que van de 4.06-7.22, 5.69-5.90 y 7.07-5.19 respectivamente. El promedio que presentan cada uno de los canales, tienen valores parecidos por lo que estos indican que el pH es alcalino y no varían mucho uno del otro excepto para Apampilco que presentó un pH de 7.9 Gráf. 5, estos siguen un orden ascendente: Apampilco<Apatlaco<Trancatitla<Tlilac, los cambios de pH en el suelo no son dañinos siempre y cuando se presenten en menor medida esto debido al poder amortiguador de los coloides del suelo (arcillas y humus). Esto contrario a lo que sucede en los cambios de pH del agua.

Sin embargo como el pH es básico este va a presentar una barrera, y se refiere a sitios en los cuales se encuentra un cambio en las condiciones del pH, considerando que los suelos de las partes altas son, generalmente ácidos y en las partes bajas en pH aumenta, y se forma dicha barrera, en ella se acumulan los metales pesados como son los siguientes: Sr, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, y Pb, los tres últimos son analizados en este trabajo. Los suelos alcalinos potencialmente pueden contener cantidades importantes de dichos metales. Con respecto al cadmio, a valores altos de pH este es inmóvil, lo cual precipita posiblemente por la baja solubilidad de los carbonatos y fosfatos. El plomo presente en el suelo se encuentra principalmente en forma de  $Pb^{2+}$ , no realiza un papel esencial en las plantas; la absorción se reduce al aumentar el pH ( $PbCO_3$ ) y por bajas temperaturas. Entre los metales pesados, el zinc es uno de los más móviles, aunque esta movilidad varía en función de su solubilidad, que a su vez depende muy directamente del pH, a baja solubilidad el zinc es relativamente alto a pH 4 y por encima de estos niveles la solubilidad va decreciendo, hasta alcanzar valores casi nulos en los suelos muy básicos. Esto es con relación del pH con los metales pesados analizados.



Gráfica 4. Comportamiento Temporal.



Gráfica 5. Variaciones estacionales de pH.

### 11.1.3 MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica presente en los suelos chinamperos es elevada Gráf. 6 y varía de acuerdo a cada sitio de muestreo; presentándose para Apampilco un porcentaje de 3.1-15.97 %, Trancatitla 3.62-20.09 %, en cuanto a Apatlaco tenemos valores de 2.17-13.89 % y por último Tlilac 7.82-17.87 %, considerándose; que esto le confiere una alta fertilidad a los suelos por el buen abastecimiento de nutrientes, las chinampas que presentaron un alto contenido de materia orgánica fue Trancatitla en el mes de agosto; así mismo Tlilac presentó valores parecidos con respecto al mes de mayo, pero de acuerdo a la gráfica podemos observar que todo el sistema tiene porcentajes que van de 2 a 20 % esto se debe a que la chinampas son sometidas a una serie de procesos para proporcionarle una alta fertilidad a los suelos agregando, abonos (lirio acuático, sedimentos, aplicación de estiércol, fertilizantes etc.). Mondragón (1989), menciona que la materia orgánica del suelo proviene de los restos de plantas y animales, y representa una etapa determinada en un movimiento interminable de los elementos (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo, Azufre) entre los organismos vivos y los minerales. Los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos (NPK), usados en los suelos agrícolas, benefician enormemente su fertilidad y por lo tanto la producción de cultivos, pero al llegar a los cuerpos de agua, propician la eutrofización, cambiando la población de sus organismos y generando problemas de acumulación de materia orgánica que los lleva a convertirse en pantanos.

Las sales en el agua no ocasionan efectos negativos, a menos que se descarguen grandes cantidades de ellas en cuerpos de agua dulce. Sin embargo, en los suelos, pequeñas cantidades (0.02 eq/L, del extracto de la pasta de saturación del suelo) ocasionan grandes daños a la biota (Bautista Z. F., 1999).

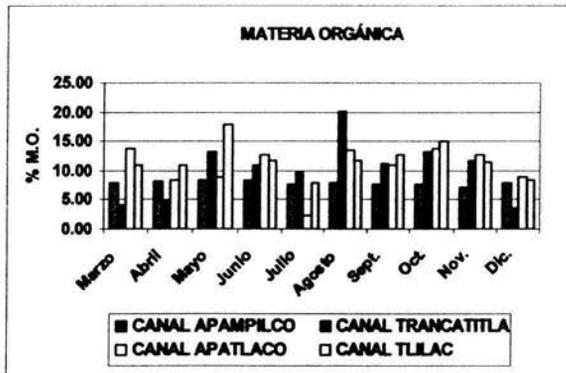
Así como los nutrientes contenidos en las aguas residuales son de vital importancia para el buen desarrollo de las plantas cultivadas, estos poseen un alto poder fertilizante sobre los suelos. La norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 recomienda el empleo de aguas residuales, con predominancia de compuestos orgánicos, en el riego

sobre los suelos de uso agrícola. En estudios realizados por Vallejo (1992), reporta valores de materia orgánica alta para los suelos chinamperos que varían de 6.3 y 22.6% y los contenidos más frecuentes son del 10 y 20%. Aguilera y Ramos (1987), reportan que la materia orgánica presente en el suelo forma complejos, lo cual disminuye la captación de metales pesados por la raíces de las plantas.

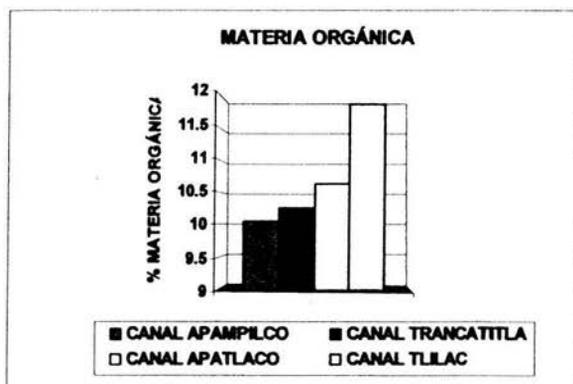
Con lo que respecta al promedio presente en la zona analizada Gráf. 7, tenemos que dichos porcentajes van de acuerdo al siguiente orden: Tlilac>Apatlaco>Trancatitla>Apampilco. Velasco (1983), clasifica a la Materia Orgánica >4.21 como Extremadamente rico, la NOM-021-RECNAT-2000, lo clasifica >16 como muy alto.

Haapala, H. *et al.*, (2001), relaciona la materia orgánica del suelo con los efectos en la concentración del metal pesado a diferentes valores de pH, La materia orgánica en suelos inmoviliza los metales pesados fuertemente bajo condiciones ácidas (para Cu y Pb los valores bajos de pH 4, Zn pH 5.5, y Cd pH 6), los metales se movilizan a condiciones ácidas a alcalinas por la formación insoluble a soluble del metal orgánico complejo, respectivamente. Para el caso del cadmio tiene una alta afinidad con la materia orgánica, oxihidróxidos de hierro, alofano e imogolita, en general podemos decir que a pH ácido los oxi-hidróxidos de hierro y la materia orgánica controlan la solubilidad del cadmio.

Finalmente, la materia orgánica, independientemente de mejorar las propiedades físicas del suelo y de ser una fuente de elementos nutritivos para las plantas, va a aumentar la capacidad de intercambio Catiónico total (Bohn *et al.*, 1985).



**Gráfica 6. Comportamiento Temporal.**

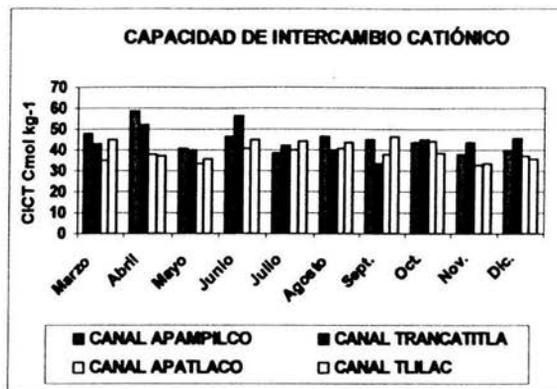


Gráfica 7. Promedio de variaciones de Materia Orgánica.

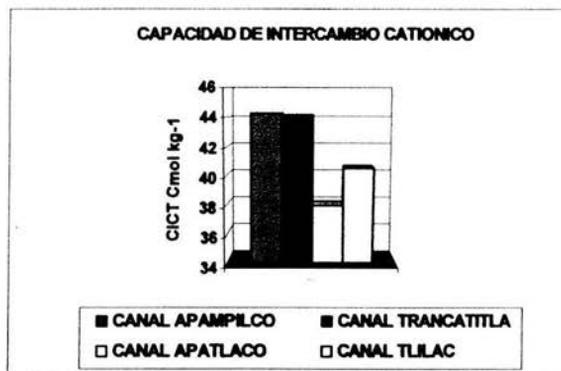
#### 11.1.4 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL (CICT).

Al igual que la materia orgánica, la CICT en los cuatro sitios analizados, muestran valores relativamente altos Gráf 8, se tienen los mayores valores en Apampilco 37.54-58.4 Cmol kg<sup>-1</sup>, en Trancatitla van de 33.88-56.08 Cmol kg<sup>-1</sup>, Apatlaco 32.52-44.2 Cmol kg<sup>-1</sup> y Tlilac 33.8-46.74 Cmol kg<sup>-1</sup>. Los valores más altos se presentaron para los meses de abril y junio, aunque para los demás la capacidad de intercambio se mantuvo constante lo cual indica que las plantas tienen una buena absorción de estos cationes, se observa también que existe una relación directa entre esta capacidad y la materia orgánica aunque presenta algunas fluctuaciones en los diferentes canales analizados sigue siendo alta. Con lo que respecta a los promedios analizados en cada uno de los canales Gráf. 9, tenemos el siguiente orden Apampilco > Trancatitla > Tlilac > Apatlaco; donde podemos considerar que este último presenta menor capacidad, lo cual esto traería como consecuencia un bajo intercambio de cationes que en un momento dado afectaría la absorción de los mismos por las plantas. La mayoría de los nutrientes son tomados del suelo, principalmente en forma de iones (aniones o cationes), y la absorción de estas depende de las condiciones de humedad, aireación y concentración de los mismos en el suelo.

Se han realizado estudios en el Ejido de Xochimilco (Ciénega Grande) por Alfaro y Orozco (1991). donde reportan valores de CICT altos. Así mismo Vallejo (1995) reporta una CICT alta y estos valores van de 31.3-64.6 Cmol kg<sup>-1</sup>, teniendo un comportamiento similar al contenido de la materia orgánica, como ya se mencionó anteriormente. La materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico; así como otros factores (porcentaje de saturación de bases, tipo de arcillas, etc.), influyen en las características químicas del suelo, el pH, ya tiene una importancia en la asimilación de los nutrientes por las plantas. El crecimiento y desarrollo de las plantas, se encuentra determinado por diversos factores del suelo y clima, dentro de los cuales los nutrientes tienen un papel muy importante. Cottenie 1980, clasifica la CICT >40 Cmol kg<sup>-1</sup> como muy alta, al igual que la NOM-021-RECNAT-2000.



Gráfica 8. Comportamiento Temporal.

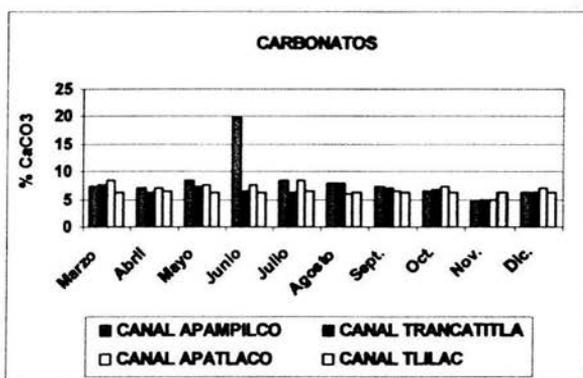


Gráfica 9. Promedio de Variaciones en la CIC.

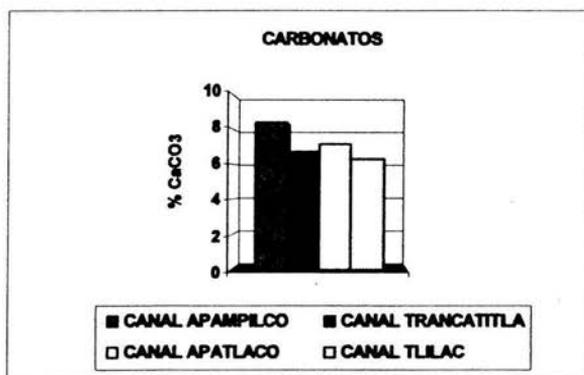
### 11.1.5 CARBONATOS

Los porcentajes de carbonatos alcalino-térreos obtenidos, presentan la misma tendencia en los cuatro sitios analizados Gráf. 10, presentándose las mayores concentraciones en el siguiente orden: Apampilco 4.64-19.77 % > Apatlaco 4.95-8.5 % > Trancatitla 4.95-7.79% > Tlilac 6.2-6.45 %. Esto indica que para el mes de junio el valor del contenido de carbonatos fue mayor que los otros meses para el canal de Apampilco esto quizás se deba a que el suelo presento un pH básico, ya que las concentraciones de carbonato de calcio requeridos están en función de la acidez y alcalinidad de los suelos debido al hidrógeno y sodio intercambiable. Además si el pH es mayor a 8.5 este requiere enalado para aumentar el calcio intercambiable en los suelos. Vallejo, (1992), reporta contenidos de hasta 7.0 – 10 % en la zona chinampera. En cuanto a los promedios obtenidos en la zona analizada Gráf. 11, tenemos el siguiente orden decreciente: Apampilco < Apatlaco < Trancatitla < Tlilac, esto se debe a que Apampilco presentó un valor de 8.37 lo cual fue predominante para esta zona.

Los carbonatos se encuentran en cantidades notables en el suelo, ya que estos provienen de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y la dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) principalmente, considerando a la fertilidad del suelo, es conveniente conocer el contenido de carbonatos, ya que los altos contenidos de los mismos pueden producir deficiencias de fósforo, zinc, hierro y/o manganeso en los cultivos. En cuanto al cadmio bajo condiciones extremas de oxidación tiende a formar minerales como  $\text{CdO}$  y  $\text{CdO}_3$ . Así también con plomo forma  $\text{PbCO}_3$ . Para el zinc forma el  $\text{ZnCO}_3$ . Varios autores reportan valores parecidos, sólo válidas para los primeros 30 centímetros de profundidad, como es el caso de los suelos chinamperos analizados. Guerrero 1989, reporta porcentajes de ( $\% \text{CaCO}_3$ ) como bajo de 5-10 %.



Gráfica 10. Comportamiento Temporal.



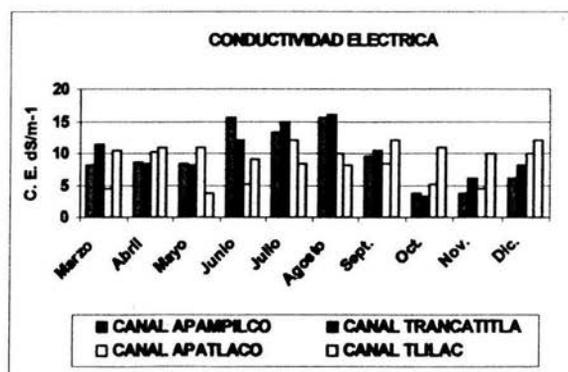
Gráfica 11. Promedios de Variaciones de Carbonatos.

### 11.1.6 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

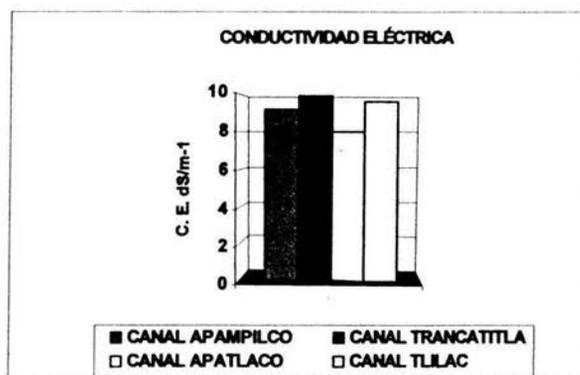
La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y la concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición. Por lo tanto las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tiene una conductividad muy escasa o nula, la cual se mide en mili siemens por centímetro ( $\text{dS/m}^{-1}$ ) APHA, (1996). La conductividad eléctrica se utiliza para indicar el contenido de sales solubles en la clasificación de los suelos por salinidad.

Los valores obtenidos en los cuatro sitios analizados se muestran en la Gráf. 12, para la superficie del suelo de Apampilco, se obtuvieron valores de  $3.65\text{-}15.5 \text{ dS/m}^{-1}$ , Trancatitla  $3.35\text{-}16 \text{ dS/m}^{-1}$ , Apatlaco  $4.4\text{-}12.2 \text{ dS/m}^{-1}$  y para Tlilac  $3.7\text{-}12.2 \text{ dS/m}^{-1}$ , observándose que los valores presentes en cada zona, son relativamente parecidos. Los valores mas altos se observan en los meses de junio, julio y agosto esto se debe quizás al uso de fertilizantes en las chinampas. En cuanto al promedio obtenido en los canales analizados el orden que siguen es: Trancatitla > Tlilac > Apampilco > Apatlaco respectivamente presentando una similitud con los valores obtenidos en la Gráf 13. Vallejo (1995), reporta valores en superficie de C.E. que superan los  $4 \text{ dS/m}^{-1}$  y disminuye con la profundidad en los suelos chinamperos.

Algunos autores clasifican la salinidad del suelo por medio de la conductividad eléctrica de  $4.0\text{-}8.0 \text{ dS/m}^{-1}$  se reducen los rendimientos de muchos cultivos y de  $6.0\text{-}16.0$  solo los cultivos tolerantes van a rendir satisfactoriamente. La NOM-021-RECNAT-2000, clasifica al suelo de  $8.1\text{-}16 \text{ dS/m}^{-1}$  como fuertemente salino.



Gráfica 12. Comportamiento Temporal



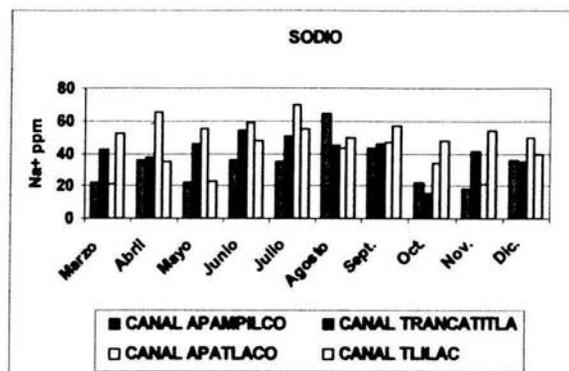
Gráfica 13. Promedios de Variaciones de C. E.

### 11.1.7 SODIO

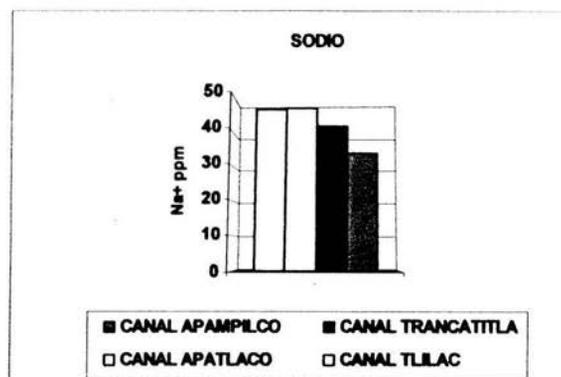
A lo largo del muestreo se observó que la cantidad de sodio presente es muy alta para cada uno de los sitios de muestreo Gráf. 14. Para el canal de Apampilco los valores van de 18.5-64 ppm, Trancatitla 15.5-54 ppm, Apatlaco 21-70 ppm y por último Tlilac 23-57 ppm.

Los valores más altos lo presentaron Apatlaco en los meses de abril a julio, en el caso de Tlilac todos los meses presentaron valores parecidos excepto para el mes de mayo que presente un valor bajo de sodio. Trancatitla tuvo fluctuaciones parecidas, de marzo a diciembre mientras tanto en el mes de octubre el valor bajo. Apampilco presento fluctuaciones donde el valor más alto lo presento en agosto, quizás estas variaciones presentadas para cada uno de los canales se deba a que estos fueron regados con aguas de baja calidad, como es el caso de las aguas de los canales que tienen un deficiente tratamiento, además de que este es influenciado por el pH y la alcalinidad presente en el agua ya que esta asociada a los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , los suelos chinamperos presentan un alto contenido de materia orgánica, también se puede deber a una excesiva abundancia o empobrecimiento de nutrientes en el suelo y al exceso de productos tóxicos. El exceso de sales solubles en el suelo, sobre todo de sodio va a reducir el poder de infiltración ya que las sales actúan mediante la presión osmótica. En cuanto al promedio Gráf. 15, tenemos que los valores son altos presentándose en el siguiente orden: Apatlaco>Tlilac>Trancatitla>Apampilco, estos valores los podemos asociar al contenido de sales obtenidas en la conductividad eléctrica.

Vallejo 1995. Reporta contenidos de sodio muy elevados en la zona chinampera y oscilan entre 48.9 y 13.6 ppm por lo que estos suelos presentan problemas de sodicidad, lo que genera dispersión de coloides y pérdidas de la estructura del suelo, el drenaje se hace muy lento y a veces se impide; además el pH se eleva y disminuye la asimilabilidad de algunos nutrimentos.



Gráfica 14. Comportamiento Temporal.



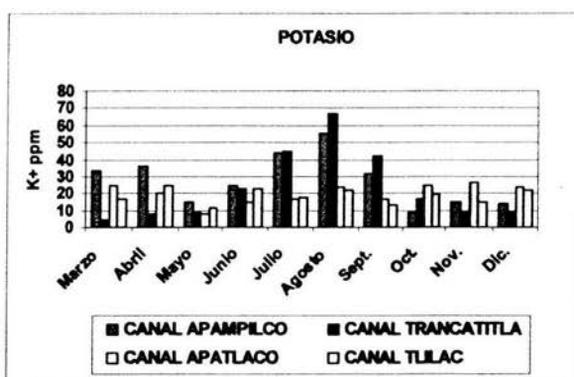
Gráfica 15. Promedio de Variaciones de Sodio.

### 11.1.8 POTASIO

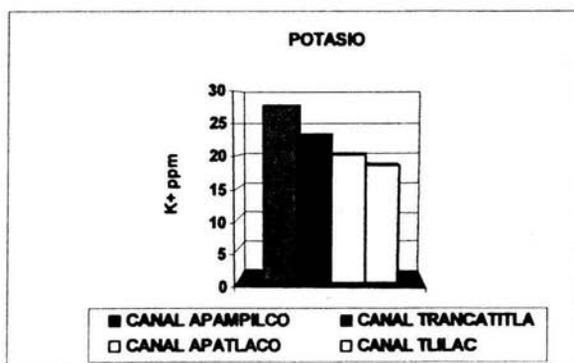
El potasio es un elemento mineral sumamente importante ya que influye en diversas funciones sobre las plantas, incrementa la eficacia de las hojas para elaborar azúcares, y ayuda a mantener la permeabilidad de la célula., etc. A lo largo del muestreo Gráf 16, el canal de Apampilco presento valores que van de 9-55 ppm; Trancatitla 4.5-67 ppm; Apatlaco 8-26 ppm y por último Tlilac de 11-25 ppm. Los valores más altos los presentó el canal de Trancatitla en los meses de julio, agosto y septiembre, encontrándose una variación dentro de los tres primeros y los tres últimos meses, al igual que el canal de Apampilco en los meses de marzo, abril, julio, agosto y septiembre presentaron valores altos mientras que para los meses de mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre valores bajos. Tlilac presento las fluctuaciones más bajas. Con lo que respecta al nivel promedio tenemos que siguen el mismo orden, como se mencionó anteriormente Gráf. 17, Apampilco>Trancatitla>Apatlaco>Tlilac, para lo cual

hay que tomar en cuenta que existe un equilibrio entre el potasio no intercambiable, el intercambiable y el que se encuentra en solución, por lo que el potasio el en suelo se encuentra absorbido a las micelas del complejo de intercambio y en pequeña cantidad en la solución del suelo. Las cantidades obtenidas las podemos considerar como de un nivel medio, es decir que no hay deficiencias en cuanto a este elemento. Vallejo (1992) reporta en estudios realizados valores altos de potasio, la CICT, y los cationes intercambiables ambos presentan un comportamiento similar al contenido de materia orgánica. Moreno (1978), clasifica este, de 50-70 ppm como mediano.

La relación que existe entre los parámetros y los metales pesados ya se analizaron anteriormente por lo que; De Matos A. T. *et al.*, 2001, menciona que, las características de los suelos son correlacionados con la retención del cadmio (Cd), pH, contenido de materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CEC). La retención del Zinc es correlacionada con el pH, CEC y la retención del Plomo es correlacionada con el contenido de arcillas y pH.



Gráfica 16. Comportamiento Temporal.



Gráfica 17. Promedio de Variaciones de Potasio.

## 12. METALES PESADOS EN FORMA TOTAL (Cd, Pb y Zn) SUELO Y HORTALIZAS

El suelo puede describirse como un sistema abierto y dinámico, compuesto por tres fases: sólida (orgánica e inorgánica) líquida y gaseosa. La fase sólida está formada principalmente por minerales complejos, óxidos, sales y materia orgánica en diferentes etapas de descomposición. Los espacios libres están ocupados por gases, de diversa composición y en parte por la fase líquida. Esta, también llamada solución del suelo, que está compuesta por iones disueltos procedentes de las otras fases, es la más activa y conforma un subsistema dinámico en el que llevan a cabo, entre otras, reacciones de formación de complejos solubles, oxidación-reducción, adsorción y precipitación-disolución.

Las propiedades químicas de los metales pesados nos indican que su movilidad en los suelos es regida por el equilibrio entre el agua, los carbonatos, los silicatos y los fosfatos; así como también la interacción de los cationes de los metales pesados con los aniones de la solución del suelo para formar iones complejos y quelatos con aniones orgánicos. En condiciones normales, la mayoría de los compuestos de los metales potencialmente tóxicos en cantidades fijadas por consideraciones de orden geológico y en formas químicas muy insolubles, no representan un peligro para la biota. No obstante, como consecuencia de las diversas actividades humanas, principalmente la industrial, esta situación ha cambiado radicalmente. Se han acumulado en los suelos diversos compuestos de estos elementos en grandes cantidades y/o en formas solubles, rompiendo el equilibrio natural causando la contaminación de acuíferos y, en ocasiones la introducción de estos elementos en la red trófica. Particularmente importantes en este sentido son los llamados metales pesados, que se definen como aquellos elementos que tienen una densidad mayor o igual a  $5 \text{ g/cm}^3$ , por lo tanto en la tabla No. 6 se muestran los metales de mayor importancia en el agua, en la que se encuentran en forma iónica, se clasifican en prioritarios y no prioritarios, según la EPA.

Los cationes de los metales pesados (Cadmio, Plomo y Zinc) representan una amenaza a todas las formas de vida ya que aún en pequeñas cantidades de estos cationes son concentrados en la cadena alimenticia (Mondragón M. L., 1989).

En el siglo pasado, los límites aceptables para metales pesados en suelo se basaban en concentraciones totales. En muchos países, los comportamientos de la nueva legislación en suelos contaminados toman en cuenta a los metales pesados como un riesgo dentro del ambiente. Esta legislación se basa en la evaluación de enlaces de riesgo en sitios específicos, como es la presencia de contaminantes y sus efectos en receptores. Estos receptores pueden ser ambos humano y medio ambiente. Similarmente, la evaluación de procesos de remediación muestran ser hechos en base a los efectos del ambiente, semejante a organismos del suelo y plantas (Lombi E. *et al.*, 2002).

Hay metales pesados importantes y cada uno de ellos actúa en los suelos y las plantas de manera diferente en pequeñas concentraciones, algunos de estos elementos son esenciales para el desarrollo de las especies vegetales cultivables y para algunos animales, sin embargo a medida que se incrementa la concentración y depósito de estos

elementos en el suelo pueden volverse tóxicos. El aspecto biológico de los metales pesados es una connotación de toxicidad y contaminante en el ecosistema. Los mayores contaminantes en la industria son el cadmio, mercurio, plomo, cromo, oro y zinc, ya que quedan disueltos en la fase de agua y suelo.

La contaminación de metales pesados comúnmente son resultados de actividades antropogénicas, hornos de fusión, metales electro platinados, operación de máquinas de combustión interna, producción de combustible, aplicación de fertilizantes y pesticidas y la generación de aguas municipales. Estas actividades son concentradas como metales pesados en ciertas áreas por arriba de los niveles peligrosos de vida del organismo. El zinc es uno de los metales pesados absorbidos a través del sistema de la raíz induce clorosis de hojas, deficiencia de elementos esenciales e inhibición de crecimiento y penetración de la raíz. Con respecto a los factores internos, es de tomar en cuenta la carga ( $z$ )/radio del ión hidratado ( $r$ ) denominado potencial iónico, pues se ha comprobado que los elementos que forman iones de gran tamaño y de menor valencia son los más solubles. La valencia es simplemente la carga eléctrica de una especie iónica, como el radio iónico de los metales depende del número de coordinación, es necesario tomarlo en cuenta para cationes que como el potasio, tienen varios números de coordinación (número de aniones que rodean al catión). El radio iónico disminuye cuando la valencia se incrementa, pero aumenta con el número de coordinación de iones de la misma valencia (Bautista Z. F., 1999).

Los niveles de los metales pesados en las plantas son similares al resultado de la bioacumulación de estos mismos en varias especies de plantas analizadas en el siguiente orden: Cd ( $0.77-1.21 \text{ mg kg}^{-1}$ ) < Cu ( $8.9-11.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) < Zn ( $72.0-255.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) < Pb ( $10.5-406 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Kim I. S. *et al.*, 2003).

Walter I. *et al.*, (2002). Menciona en un estudio realizado, con repeticiones hechas del metal pesado contaminado (biosólidos) puede significativamente incrementar las concentraciones de metales tóxicos en los suelos de agricultura. El traslado del metal como biosólido al suelo posteriormente a plantas pasa a ser un potencial de riesgo para la salud, ya que puede entrar a la cadena alimenticia y al medio ambiente.

## 12.1 RESULTADOS DE METALES PESADOS EN SUELO

En base a los resultados obtenidos en suelo, se observó que para los sitios analizados, las concentraciones de cadmio presentes son las siguientes: Trancatitla > Apampilco > Tlilac > Apatlaco, donde podemos observar que Trancatitla en el mes de junio y octubre presentaron concentraciones elevadas, manteniendo pequeñas fluctuaciones en los meses anteriores. En Apampilco el mes de mayo y octubre al igual que Apatlaco en el mes de septiembre y por último Tlilac en noviembre presentó la concentración más elevada. Comparando los resultados en suelo es notable considerar que el suelo estuvo hasta hasta ese tiempo expuesto a un constante riego con agua de los canales, lo cual trae como consecuencia, la acumulación de dicho metal en el suelo, estas concentraciones afectan la disponibilidad para la absorción del mismo, ya que coincide con los valores más altos en plantas durante todo el muestreo. Cabe mencionar que existe una relación del ión cadmio con el pH del suelo, así como con la materia orgánica, ya que como se menciono, el cadmio a pH alcalinos precipita, por lo que es inmóvil, por lo que este no rebasa el límite máximo permisible para embalses naturales

y artificiales para uso de riego agrícola el cual establece  $0.2 \text{ mgL}^{-1}$  de Cd según la NOM-001-ECOL-1996. Así mismo la NOM-021-RECNAT-2000 sugiere valores de elementos tóxicos en el suelo según la tolerancia de los cultivos como: normal  $0.35 \text{ mg kg}^{-1}$  y como peligroso de  $3-5 \text{ mg kg}^{-1}$ .

En cuanto al plomo en la Gráf. 19 sigue un orden decreciente: Apampilco>Trancatitla>Apatlaco>Tlilac. Apampilco presentó una elevada concentración en el mes de julio, esto quizás se deba a la influencia que ejerce el riego con aguas contaminadas por plomo sobre el suelo. Para los siguientes canales estos mantienen pequeñas fluctuaciones en todos los meses manteniéndose dentro de un rango de  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ . El plomo en general se considera un constituyente del suelo y su concentración varía dependiendo de la ubicación en relación a las zonas de tráfico automovilístico, ya que es un producto de la combustión de la gasolina y favorece la formación de compuestos al reaccionar con sulfatos, carbonatos, fosfatos como son: hidróxido de plomo, carbonato de plomo, ortofosfato de plomo etc. Según la NOM-001-ECOL-1996, establece  $0.5 \text{ mgL}^{-1}$  para embalses naturales y artificiales para uso de riego agrícola. Al igual que la NOM-021-RECNAT-2000, establece valores de los elementos tóxicos en el suelo según la tolerancia de los cultivos como normal  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  y como peligroso de  $100-300 \text{ mg kg}^{-1}$  por lo que se considera que el plomo no rebasa estas concentraciones mencionadas., al igual que Alloway B. J. (1990), reporta concentraciones parecidas.

El zinc presentó las concentraciones más altas Gráf 20, donde Trancatitla tiene las mayores concentraciones de marzo a noviembre, habiendo un incremento en diciembre, para Apampilco se observa una concentración elevada en casi todos los meses excepto en julio baja este valor. Tlilac presenta fluctuaciones de marzo a junio y un incremento en julio, y de agosto a diciembre, por último Apatlaco presentó concentraciones bajas en los meses de septiembre a noviembre y vuelve a decrecer en diciembre. La razón por la cual el zinc se encuentra en mayores concentraciones se debe a que este metal se encuentra formando complejos orgánicos e incorporado a la materia orgánica. Según la NOM-001-ECOL-1996, los resultados anteriores no rebasan los límites máximos permisibles para embalses naturales y artificiales para uso de riego agrícola, Así como Alloway B. J., 1990, reporta valores de  $10-300 \text{ mg kg}^{-1}$ .

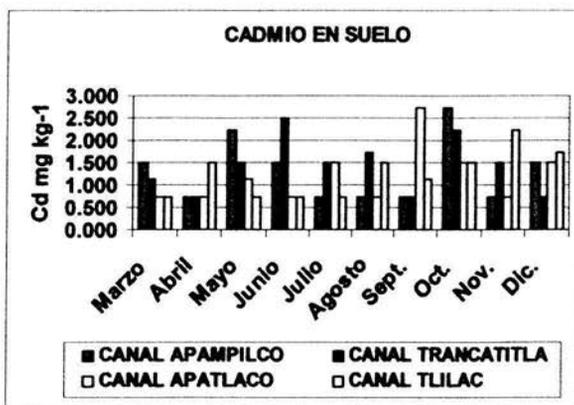
Respecto a los promedios analizados (Gráf. 21), tenemos que los metales pesados en suelo de los sitios analizados presentan el siguiente orden:

Zinc: Trancatitla>Apampilco>Tlilac>Apatlaco.

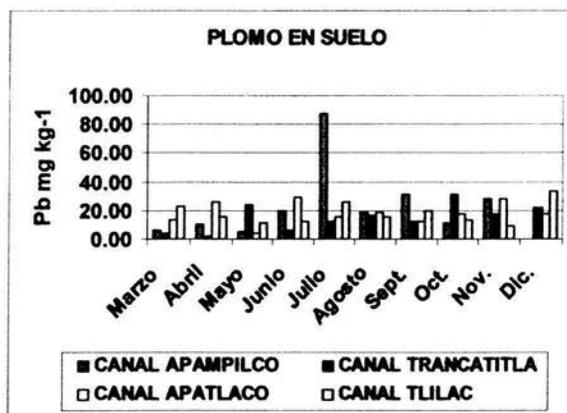
Plomo: Apampilco>Apatlaco>Tlilac>Trancatitla.

Cadmio: Trancatitla>Apampilco>Tlilac>Apatlaco.

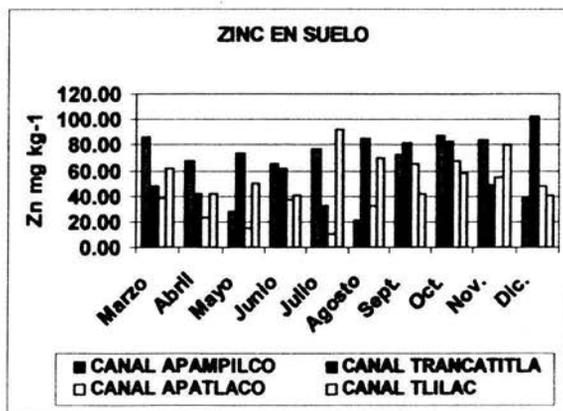
En promedio van en el siguiente orden: Zinc  $56.37 \text{ mg kg}^{-1}$ >Plomo  $19.12 \text{ mg kg}^{-1}$ >Cadmio  $1.30 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente, por lo que los resultados son comparados con los niveles que reporta la NOM-021-RECNAT-2000; Alloway B. J. (1990), así como la NOM-001-ECOL-1996.



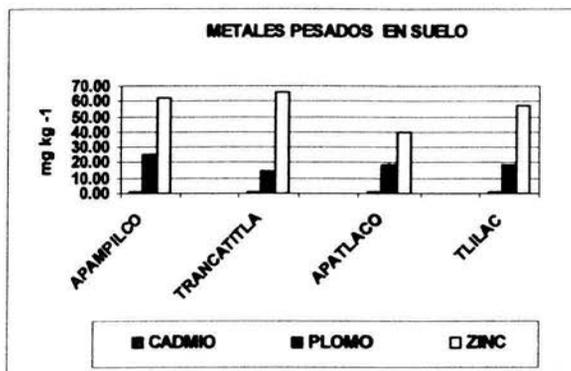
Gráfica 18. Comportamiento Temporal.



Gráfica 19. Comportamiento Temporal.



Gráficas 20. Comportamiento Temporal.



Gráfica 21. Promedios de Metales Pesados en Suelo.

La inmovilización de tres materiales químicos como son: la piedra caliza en agricultura, la roca mineral de fosfato y el fosfato de amonio son evaluados, usando experimentos a determinada capacidad de reducir la superficie del transporte del material en fusión con el suelo contaminado Basta N. T. *et al.*, (2004). En estudios realizados mencionan que la composición química de las soluciones del suelo varían substancialmente, ambas durante el transecto y entre muestras: cuatro soluciones de muestras  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y Cd son concentraciones que a distancias cercanas de una fertilización, indican una asociación con la aplicación del fertilizante (Taylor M. D. and Percival H. J. 2001).

## 12.2 RESULTADOS EN HORTALIZAS.

Para los resultados obtenidos en las hortalizas tenemos que los cuatro sitios analizados siguen la misma secuencia que en suelo,  $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd}$ .

Para el caso del Cadmio con respecto a la Gráf. 22 tenemos que presentan el siguiente orden:

Trancatitla: Ac. China > Verdolaga > Coliflor > Romero > Brócoli.  
 Apampilco: Verdolaga > Ac. China > Espinaca > Romero > Coliflor.  
 Tlilac: Romero > Coliflor > Ac. China > Verdolaga.  
 Apatlaco: Romero > Coliflor > Verdolaga > Ac. China.

Donde se observa a las hortalizas que presentan una mayor concentración de dicho metal ya que estas son regadas con aguas de los canales, en la zona de Apampilco y Trancatitla, solo la Espinaca y Brócoli se colectaron, debido a que las mayorías de las chinampas fueron abandonadas, el cadmio tiene relación con el pH, que es básico y tiene una elevada afinidad con la materia orgánica, no así con las arcillas. En las plantas la absorción de cadmio, se correlaciona con otros elementos con los cuales compete, como son: Cr, Cu, Mg, Ca; afectando a las plantas seriamente en el caso de prevalecer el cadmio, ya que las funciones de estos elementos son de activación de sistemas enzimáticos, este metal es fácilmente transportado a diferentes partes de la planta (Duflus H., 1983; Bernad M., 1993).

En cuanto al Plomo presente ver Gráf. 23 tenemos las siguientes hortalizas que se clasifican de acuerdo a la concentración presente.

Tlilac: Ac. China>Verdolaga>Romero>Coliflor.  
Apatlaco: Romero>Ac. China.>Verdolaga>Coliflor.  
Apampilco: Romero>Verdolaga>Coliflor>Ac. China>Espinaca.  
Trancatitla: Brócoli>Verdolaga>Romero>Ac. China>Coliflor.

Las concentraciones que presentan cada una de las hortalizas se analizan de acuerdo al comportamiento del metal ya que el plomo a grandes dosis puede ser tóxico para la planta. Así mismo el plomo esta relacionado con el pH, este a pesar de ser soluble en el suelo, es absorbido principalmente por los pelos de las raíces, y es almacenado en las paredes celulares, esta absorción varía significativamente en relación con la concentración presente en los suelos. La absorción vegetal de este metal se da principalmente por la vía estómatomica, bajo ciertas condiciones el Pb es móvil en la planta y las formas precipitadas en las células del plasmalema se transportan y depositan en los tejidos de las plantas, este presenta posible antagonismo con el Zn y sinergismo con el Cd (Bautista Z. F., 1999).

En el caso del zinc observamos en la Gráf 24, que presenta las concentraciones más altas en las hortalizas analizadas siguiendo un orden decreciente.

Tlilac: Romero>Verdolaga>Coliflor>Ac. China.  
Apatlaco: Verdolaga>Romero>Coliflor>Ac. China.  
Trancatitla Coliflor>Verdolaga>Romero>Ac. China>Brócoli.  
Apampilco: Verdolaga>Espinaca>Romero>Ac. China>Coliflor.

El zinc es un micronutriente para las plantas, pertenece a los 16 elementos esenciales para el crecimiento de las mismas; funge como activador enzimático como: la síntesis de carbohidratos, reacciones de hidrogenación, etc., la distribución del zinc dentro de la planta está influenciada por el nivel de nitratos, fosfatos y del hierro, este es absorbido por la planta en forma catiónica  $Zn^{++}$  y tal vez en forma de radicales aniónicos sencillos. El pH regula la asimilabilidad del zinc y que si este se encuentra como  $Zn(OH)_2$ , su iónización en suelos de pH alcalino será  $HZnO^+$ ,  $ZnO^-$ , así para esta última forma iónica ( $ZnO^-$ ) no existe indicación de que pueda ser asimilada por las plantas, por lo que el aprovechamiento de zinc se reduce a pH altos, presentando deficiencias a pH mayor a 6. Este hecho se explica, a que puede haber un posible aumento en el porcentaje de saturación de bases en las arcillas por lo que hay una mayor oportunidad de absorción del zinc. Así mismo la materia orgánica esta relacionada con el zinc ya que esta tiende a reducir la cantidad de zinc aprovechable, aunque no en regla general.

Por lo que su concentración en las plantas varía considerablemente; el zinc presenta posibles antagonismos con Li, Rb, Cu, Mn, y Fe y sinergismos con el Cd, la absorción de este elemento es lineal con la concentración en el suelo, la tasa de absorción difiere de una manera importante tanto con la especie como con el suelo (Morvett J. J. 1983; Bautista Z. F., 1999).

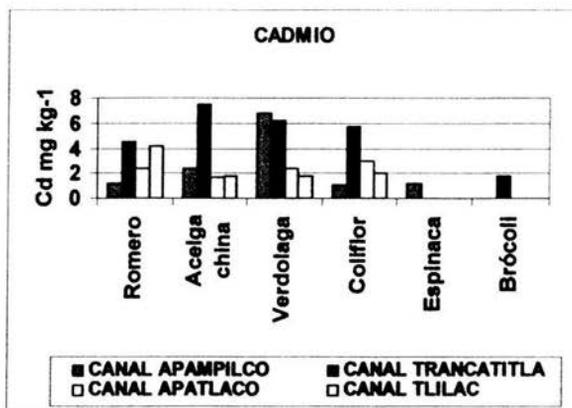
En promedio tenemos en la Gráf. 25, el siguiente orden para cada metal analizado:

**CADMIO:** Verdolaga > Ac. China > Romero > Coliflor > Brócoli > Espinaca.

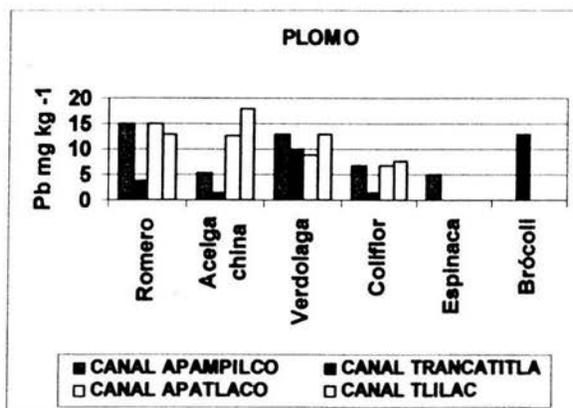
**PLOMO:** Brócoli > Romero > Verdolaga > Ac. China > Coliflor > Espinaca.

**ZINC:** Romero > Espinaca > Coliflor > Ac. China > Brócoli > Verdolaga.

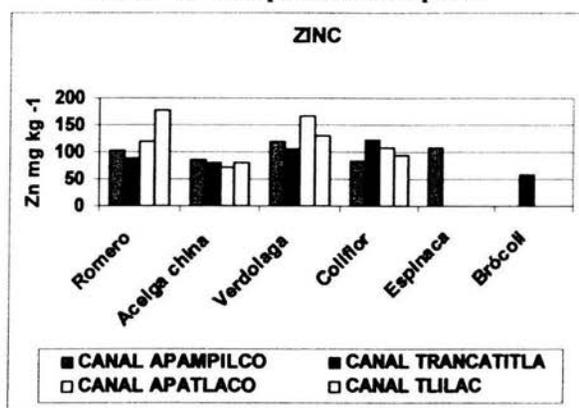
De acuerdo a estos resultados obtenidos se establecen criterios para poder compararlos con respecto a las concentraciones encontradas en suelo y hortalizas por la EPA, ya que maneja 16 metales pesados y estos los clasifica en prioritarios y no prioritarios; Así mismo la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL/1996 establece el límite máximo permisible para embalses naturales y artificiales para uso de riego agrícola, al igual que la NOM-021-RECNAT-2000 maneja valores de elementos tóxicos en el suelo según la tolerancia de los cultivos. Alloway B. J., 1990 menciona concentraciones con respecto a los metales contenidos en suelo, teniendo en cuenta que los metales antes señalados a concentraciones altas representan una amenaza potencial para el ser humano que consume estos vegetales.



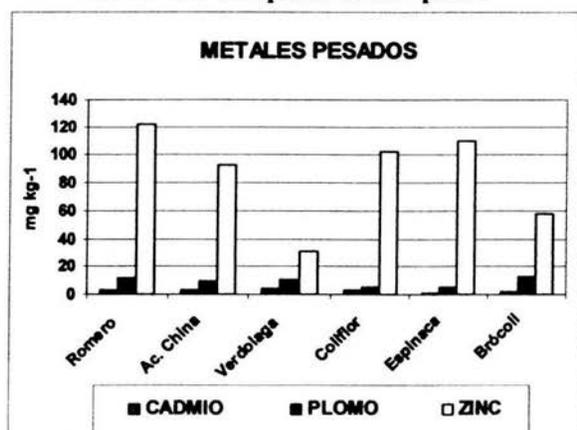
**Gráfica 22. Comportamiento Espacial.**



Gráfica 23 Comportamiento Espacial.



Gráfica 24. Comportamiento Espacial.



Gráfica 25. Promedios de Metales Pesados en Hortalizas.

### 13. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

El contenido de micro nutrientes, en las plantas nos proporciona un conocimiento del estado nutricional de la misma y al mismo tiempo nos da una idea de los problemas de exceso o deficiencia que puedan presentar los suelos. En un gran número de funciones realizadas por la planta intervienen estos elementos pero los requiere en concentraciones bien definidas. La acumulación de estos elementos en la planta puede ser peligrosa al incorporarse a la cadena alimenticia (Baham J. and Sposito G. 1994).

Abollino O. *et al.*, (2002). Menciona que la distribución y movilidad de los metales pesados en suelo de dos sitios contaminados en Italia son investigados y evaluados los perfiles horizontal y vertical de 15 metales: Al, Cd, Cu, Cr, Fe, la, Mn, Ni, Pb, Sc, Ti, V, Y, Z, Zr, las concentraciones de las áreas más contaminadas son mayores que los límites aceptables reportados en Italia en la legislación Dutch para la recuperación de suelos. La toxicidad de los metales pesados depende no solamente del total de la concentración, sino de la movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema.

Dentro de los estudios de contaminación por metales pesados en sistemas acuáticos, los sedimentos constituyen un material fundamental para conocer el grado de contaminación de una determinada zona. En sedimentos se pueden realizar dos tipos de determinaciones: la concentración total de metales, que proporciona una evaluación del nivel de contaminación y, la especiación o estudio de las diferentes formas químicas en las que se encuentra el metal. Esta última nos proporciona información respecto a la biodisponibilidad. La fracción de metal más móvil es la "absorbida como ión intercambiable" lo que representa un riesgo de contaminación debido a la liberación de metales a las aguas bajo condiciones naturales. Stephens S. R. *et al.*, (2001). Menciona que el comportamiento de los metales en sedimentos es importante después de su colocación en tierra, ya que trae implicaciones para el medio ambiente en cuanto al manejo de los dragados de los canales, los sedimentos son colocados entre 1 y 12 años.

Borgmann U. and Norwood W. P. (2001). Mencionan en un estudio, que la toxicidad de los sedimentos en varias secciones contiene información en cambios potenciales sobre la toxicidad del sedimento a través del tiempo.

#### 13.1 ZINC TOTAL.

Para cada uno de los sitios analizados, tanto para suelo y hortalizas tenemos que las concentraciones obtenidas en el presente trabajo son comparadas con los límites reportados como normales por Bonh *et al.*, (1985) y Alloway B. J., (1990), se observó que las concentraciones de cada uno de los sitios, están dentro de los límites considerados como normales por los autores mencionados.

Los siguientes autores obtuvieron las concentraciones que a continuación se señalan: Mortvedt, *et al.*, (1983) reporta que el contenido de zinc en el suelo comúnmente se presenta de 10 a 300 ppm, en total, del cual una parte es intercambiable, otra es soluble y la mayoría retenida en forma no fácilmente extraíble, que se considera fijada, el

contenido de zinc aprovechable en el suelo, fluctúa de 0.1 a 20 ppm. En muchas plantas el rango de concentración normal es de 25 a 150 ppm.

Así mismo Dudka (1994), menciona un máximo de niveles tolerables por elementos traza en suelos de cultivo de Zn de 150 a 300  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Linzon, (1978) reporta una concentración de zinc de 400  $\text{mg kg}^{-1}$  en suelo considerando como crítico para cultivos de plantas, animal y consumo humano. Murray, *et al.*, (1997) reporta concentraciones de zinc de 135  $\text{mg kg}^{-1}$ . Zhenbin y Larry, (1996) reportan concentraciones totales de zinc en la capa superficial del suelo de 385  $\text{mg kg}^{-1}$  y 160.8  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Mendoza, (1980) de 40 a 57  $\text{mg kg}^{-1}$ ; Méndez, (1982), con valores de 180-450 ppm; Flores *et al.*, (1990) reportaron concentraciones de 71.6-257  $\text{mg kg}^{-1}$ ; y Cajuste *et al.*, (1991) reportaron concentraciones que variaron desde 23 hasta 191  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Imperato, M. *et al.*, (2003). Menciona que el total de zinc en suelo contiene un intervalo de 30 a 2550  $\text{mg kg}^{-1}$  con un mediano de 18  $\text{mg kg}^{-1}$  y un porcentaje de contaminación de suelo de ( $\text{Zn} > 150 \text{ mg kg}^{-1}$ ) un 53 % en suelos de Italia.

González y Esquivel, (1981) reportan que los datos de ingestión máxima en humanos, recomendados por la FAO-OMS, para zinc es de 5.0  $\text{mg kg}^{-1}$ . Así mismo Lepp, (1981) reporta concentraciones en cultivos de plantas de 15-200 ppm.

Así mismo, Stephens S. R. *et al.*, (2003). Reportan 139  $\text{mg Zn kg}^{-1}$  en sedimentos.

### 13.2 PLOMO TOTAL.

De los resultados obtenidos para suelo y hortalizas tenemos que este elemento es el segundo en mayor concentración, para los cuatro sitios analizados. Según se reportan rangos como normales de plomo en suelo entre 2-300  $\text{mg kg}^{-1}$  (H. J.M., 1979).

Kabata-Pendias, *et al.*, (1992) reporta concentraciones de Pb de 30-300 ppm en suelo. Se han reportado intoxicaciones agudas por la ingestión de frutas muy intensamente rociadas con arseniato de plomo, en consecuencia el gobierno de los estados Unidos de América ha decretado un máximo de 2-6  $\text{mg kg}^{-1}$  de plomo en verduras y frutos (Nava, 1984). Dudka, (1994) reporta intervalos de plomo de 90 a 300  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

El uso de aguas residuales para riego y la aplicación de lodos como fertilizantes, llevan residuos de metales pesados que contaminan los suelos, por lo que son un peligro para las cosechas y sus consumidores.

Las plantas comestibles concentran metales pesados tóxicos lo cual puede no ser dañino para las plantas, pero sí para los que se alimentan de ella, sin embargo en algunos casos se ve afectado su desarrollo.

Se tienen informes de concentraciones de plomo en suelos de cultivo de 14 a 95 ppm. El contenido de plomo en la mayoría de las especies de plantas es de 0.5 a 3 ppm, para determinadas especies los niveles tóxicos de plomo son muy altos, esto crea situaciones

de peligro describe la tolerancia de plomo en la lechuga y tabaco encontrando que la lechuga es más susceptible a la acumulación de plomo (Mortvedt, 1983).

En un estudio realizado por la E.N.C.B. del IPN revelo que el 80% de las verduras y hortalizas que se cultivan en Xochimilco y Tlahuac están altamente contaminadas de plomo. Explicaron los investigadores Jesús Ceja y Margarita Chávez que la concentración de plomo en acelgas y espinacas, por ejemplo rebasan el límite permisible de una a dos partes por millón y de 0.3 a 0.5 para los zumos de frutas y bebidas

From Linzon, (1978) reporta una concentración para plomo de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  en suelo como crítico para cultivos de plantas, animal y consumo humano.

Murray *et al.*, (1997) reporta concentración de plomo de  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  en suelo de 15-35 cm de profundidad. Así mismo Smit, (1997) reporta el valor límite para peso fresco en alimentos de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  y la concentración máxima permisible en suelos de agricultura, tratada con aguas residuales es de  $300 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ .

Zhenbin y Larry, (1996). Reportan una concentración promedio de plomo en suelo de  $6.7 \text{ mg kg}^{-1}$ . Así mismo, demostraron que la acumulación de Pb en la superficie del suelo esta relacionada con el alto contenido de materia orgánica por lo cual la fijación del Pb con la materia orgánica forma precipitaciones y absorción de óxidos de plomo. Se ha encontrado que la materia orgánica y las arcillas son constituyentes dominantes que atribuyen a la retención del Pb.

Se calcula que solamente el 10% de plomo ingerido con los alimentos se absorbe, por esta razón el Comité Mixto FAO/OMS, establece para los adultos una ingestión semanal tolerable provisional de 3 mg de plomo por persona, equivalente a  $0.05 \text{ mg kg}^{-1}$  de peso corporal (no aplicable a niños) Sosa, (1990). Sin embargo Corey y Galvao, (1987), reportan un límite de  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb en suelo.

Wong S. C. *et al.*, (2002). Menciona que el plomo intercambiable en suelos es generalmente lenta  $< 3 \%$  de Pb total en suelo. Colectivamente el Pb intercambiable y las fracciones de carbonato están a  $-22 \%$  del total de Pb en suelo, representando la lista de la fracción de Pb soluble y potencialmente disponible. En comparación, con la proporción de Pb en la fracción del óxido de Fe-Mn en los suelos de cultivos, de arroz y suelos naturales.

Imperato M. *et al.*, (2003). Reportan que el total de Pb contenido en suelos los rangos van de 4 y  $3420 \text{ mg kg}^{-1}$  con un valor mediano de  $184 \text{ mg kg}^{-1}$ , Un número mayor de suelos ( $-70 \%$ ) son contaminados por Pb, con concentraciones en exceso de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  límite en áreas públicas residencial y áreas privadas en suelos de Italia. Stephens S. R. *et al.*, (2003) reporta  $43.4 \text{ mg Pb kg}^{-1}$  en sedimentos.

### 13.3 CADMIO TOTAL

En contraste con el Zn y Pb, el cadmio presentó las concentraciones más bajas en los cuatro sitios de muestreo analizados para suelo y hortalizas. Sin embargo las concentraciones obtenidas son comparadas con los límites considerados como normales

por Bohn *et al.*, (1989), 0.01-7 mg kg<sup>-1</sup>, Galváo y Corey, (1987) (1 mg kg<sup>-1</sup>), y Alloway, (1990) 0.01-2 mg kg<sup>-1</sup>, se observa que las concentraciones obtenidas para este metal, están dentro del rango de las ya mencionadas por los autores antes señalados.

Así mismo los resultados generados en este trabajo fueron relacionados con los obtenidos por otros autores. Los intervalos reportados como normales en suelo para cadmio son de 0.01-2.0 mg kg<sup>-1</sup> reportado por (H. J. M. 1979). Prévét, *et al.*, (1987), reporta un rango de 0.1-5 ppm como una concentración típica. Pettygrove, (1985) reporta para este elemento una concentración de 0.2-0.8 ppm.

Castañeda, *et al.*, (1979) reporta que el contenido de cadmio considerado en las plantas es mayor de 0.003 ppm, en suelos agrícolas se encontró una concentración de 0.1 y 4.7 ppm y en áreas industriales el suelo acumuló aproximadamente 100 ppm a 1 Km., a la redonda.

Dudka, (1994) reporta un máximo de niveles tolerables en suelos de cultivos para cadmio de 1.6-3 mg kg<sup>-1</sup>. Así mismo From Linzon, (1978) reporta concentración crítica de cadmio en suelo de 8.0 mg kg<sup>-1</sup>. Murray, *et al.*, (1997) reporta valores de concentración para suelo de cadmio de 1.8 mg kg<sup>-1</sup>. Kabata-Pendias and Pendias, (1992) reportan que los niveles de Cd en suelo no debe exceder de 0.5 mg kg<sup>-1</sup>. Por lo que la acumulación del cadmio en la superficie del suelo se atribuye a que forma complejos con la materia orgánica del suelo. Sosa, (1990) reporta que el cadmio se halla en los alimentos por que las plantas lo absorben del suelo. Las concentraciones varían entre una media de unos 30 mg kg<sup>-1</sup> de peso húmedo en Suecia; de 25-50 mg kg<sup>-1</sup> de peso húmedo en USA, y 50-100 mg kg<sup>-1</sup> de peso húmedo en Japón. Teniendo en cuenta que la concentración crítica es de 200 mg kg<sup>-1</sup>.

Impens Fagot et Avril, (1991) reporta valores límites de concentración por los metales pesados en suelos con pH de 6-7 de 1 a 3 mg Cd/ kg y para suelos de utilización agrícola de 20 a 40 mg Cd/kg.

Bautista Z. F. (1999). Menciona que la concentración de cadmio promedio en los suelos es de 0.007 a 1.1 mg/kg. A valores altos de pH el cadmio no es móvil, posiblemente por la baja solubilidad de los carbonatos y fosfatos, también es importante la alta afinidad del cadmio con la materia orgánica, no así con las arcillas.

Green, I. D. *et al.*(2003). Reporta que las concentraciones de ambos cadmio y zinc en aguas residuales, van desde 50 a 90 valores percentiles para aguas residuales usadas en agricultura en Inglaterra y Wales. Las elevadas aplicaciones de aguas residuales dan

como resultado concentraciones de cadmio y zinc en suelo de 0.284 y 62.1 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, como están dentro de los límites UK. Para suelo con un pH de 5.5-5.0 (3 y 200 mg kg<sup>-1</sup>) respectivamente. Esto reduce los niveles permitidos de mejorar las aguas dentro de los suelos de EU., por cadmio y zinc a 0.5 y 60 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para suelos a un pH de 5-6. Las concentraciones de cadmio en plantas, exceden su rango para Poaceae (0.07-0.27 mg kg<sup>-1</sup>) Kabatas-Pendias and Pendias (1992).

Lombi, E. *et al.*, (2002). En un estudio realizado reportan que la concentración en lechuga excede la máxima concentración permitida en productos alimenticios de 0.2 mg kg<sup>-1</sup> en peso fresco (EU Regulation, 2001), En el caso del trigo la concentración máxima es de 0.2 mg kg<sup>-1</sup> en peso fresco que corresponde a 0.23 mg kg<sup>-1</sup> en base al peso.

Wong, S. C. *et al.*, (2002). En un estudio realizado en suelos de cultivos muestran que el cadmio, sigue un orden: suelos de cultivos > suelos naturales > suelos arroceros de acuerdo con la Environmental Quality Standard for Soils (National Environmental Protection Agency of China, 1995) manejando un límite de concentración de cadmio de 0.02 mg/kg. Jung & Thornton, (1996), reportan la concentración de Cd en superficies de un área mínima de suelo en Korea de 40 mg /kg (Youn Joo. An. 2004). Stephens, S. R. *et al.*, (2003). Reportan que para los sedimentos de canales estos contienen 1.1 mg Cd kg<sup>-1</sup>.

## 14. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los objetivos planteados y con base a los resultados obtenidos, se concluye que la problemática que se presenta en los suelos chinamperos de Xochimilco sigue siendo compleja.
- Los suelos de chinampa son fértiles y aptos para la agricultura, ya que presentan características muy favorables para el desarrollo vegetal.
- Los parámetros físicos y químicos determinados en los suelos de Xochimilco, establecieron que el sistema presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo de cada canal analizado ya que presenta texturas arenosas, pH básico, elevados contenidos de materia orgánica y capacidad de intercambio Catiónico.
- Hay problemas de contaminación de sales y sodio en suelo que van a contrarrestar la calidad y rendimientos en las cosechas por lo que en la zona es muy frecuente ver chinampas salinizadas y sodificadas.
- Las características químicas del suelo muestran una significativa relación con los metales. El pH del suelo, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y las arcillas están influenciados por la adsorción de los metales pesados, retención y movimiento, mostrando una elevada relación en la combinación de análisis de muestras de suelo y hortalizas.
- Considerando las concentraciones promedio de los metales pesados analizados en suelo, estos muestran el siguiente orden decreciente:  $Zn > Pb > Cd$  al igual que en las concentraciones promedio para hortalizas presentan el mismo orden.
- De acuerdo a las concentraciones presentes en suelo y hortalizas, no rebasan los límites permitidos por la NOM-001-ECOL-1996, para suelo la NOM-021-REC NAT-2000 establece valores de elementos tóxicos en el suelo según la tolerancia de los cultivos.
- Para conservar este invaluable recurso natural, el hombre tendría que sustentar nuevos y elevados índices de cultura, de lo contrario la ciudad terminará por invadir los terrenos del ejido si estos no son protegidos como una reserva eminente y potencialmente agrícola
- Se puede concluir que las hortalizas que se cultivan en los suelos chinamperos, pueden ser consumidas con confianza; pero hay que tener en cuenta que estas al estar contaminadas por metales pesados y debido a la variación que presentan en su concentración, pueden provocar alteraciones en el organismo a un largo plazo.

## 15. RECOMENDACIONES.

- Para la recuperación de los suelos chinamperos que presentan problemas de sodio es necesario el uso de mejoradores químicos como:  $\text{CaCl}_2$ , yeso, S,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  o  $\text{CaS}$ . Así como ácidos y formadores de ácidos.
- Se recomienda la recuperación de suelos por métodos biológicos como son: la aplicación de estiércol, composta, abonos verdes, algas y otros, ya que durante la descomposición de la materia orgánica se mejora la permeabilidad del suelo. Además del establecimiento de plantas nativas o cultivos tolerantes, a la salinidad.
- Otro método para la recuperación del suelo es el físico: Por inversión del perfil, acondicionamiento de la textura del suelo. Labranza o barbecho profundo, por último impermeabilizantes artificiales.
- El tratamiento para el mejoramiento de la calidad del agua que se vierte al lago de Xochimilco sea el adecuado y la utilización de mejoradores biodegradables con las labores de drenaje pertinentes, son factores de gran importancia para mejorar y recuperar potencialmente estos suelos antrópicos.

## 16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, L. S. 1972. Monografía histórica de Xochimilco. Boletín de la delegación del Distrito Federal. pp. 8-15
- Acosta, G. M. T. 1978. Contaminación del agua de los canales de Xochimilco. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. pp. 1-68.
- Aguilar, J. 1978. Descripción del sistema de chinampas. Grupo de Estudios Ambientales. 1,1:205-215.
- Aguilera, H. N. Ramos, B. R. García, C. N. E. 1987. Rehabilitación de los suelos de chinampa y sus relaciones con plantas cultivadas. Boletín del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. pp. 1-28.
- Albert, A. L. 1988. Curso básico de toxicología ambiental, 2ª Edición, Limusa. México. pp. 105-121.
- Aldana P. R. 1980. Biología. 10,14:10-15.
- Alfaro, S. G. y Orozco, Ch. F. 1991. Estudio edafológico del ejido de Xochimilco (Ciénega Grande). Terra. 9,1: 24-32.
- Analytical Methods Manual. 1979. Metals general: atomic absorption. inland waters directorate water quality branch, Ottawa, Canadá.
- Antoniadis V. and Alloway, B. J. 2002. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge-amended soils. Environmental pollution. 117,3: 515-521.
- Alloway, B. J. 1990. Heavy metals in soils. 2ª Edition, John Wiley, New York. pp. 11-37-144-145.
- A.P.H.A. 1996. Propiedades físicas y de agregados. pp. 1-2 – 2-205. Determinación de metales. pp. 3-1 – 3-181. y determinación de compuestos orgánicos. pp. 5-1 – 5-94 en Standard methods for the examination of water and waste water. 17ª Edición. Ed. American Public Health association. New York.
- Arteaga de la P. M. 1983. Evaluación de macro y micro nutrientes y contaminantes en suelos del Valle del Mezquital. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. pp. 19-64.

Athanassiadis, G. A. and Rao, S.T. 2003. Spatial and temporal variations in the trace elemental data over the northeastern United states. *Environmental Pollution*. 123,3: 439-449.

AWWA. 1982. Procedimiento simplificado para el examen de aguas. *Manual simplificado de laboratorio*. Control Regional de ayuda técnica. México.

Avita, H. Ma. Del P. 1994. Contribución al estudio de la contaminación del agua proveniente de algunas descargas industriales en la ciudad de México. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. 93 pp.

Baez, P. A. y Belmont R. 1975. Modificación de la calidad de las aguas del lago de Xochimilco, por el uso de aguas negras en su recarga. México. I Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente, pp. 67-73.

Baez, P. A. y Rosas, I. 1980. Determinación de Cr en dos poblaciones humanas no ocupacionalmente expuestas. *Anales del Instituto de Biología*. 27, 6: 77-93.

Bautista, Z. F. 1999. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, México. pp. 17-99.

Barcelo, J y Poschenrieder, Ch. 1989. Estrés vegetal inducido por metales pesados. *Investigación y Ciencia*. 154: 54-63.

Basta, N. T. and McGowen, S. L. 2004. Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing heavy metal transport in a smelter-contaminated soil. *Environmental Pollution*. 127,1: 73-62.

Baham, J. and Sposito, G. 1994. Adsorption of dissolved organic carbon extracted from sewage sludge on montmorillonite and kaolinite in the presence of metal ions. *Journal of Environmental Quality*. 23:147-153.

Bohn, H. L., McNeal B. L. And O'Connor G. A. 1985. *Soil chemistry*. Yohn Wiley and Sons. New York. USA. pp. 148.

Borgmann U. and Norwood W.P. 2001. Metal bioavailability and toxicity through a sediment core. *Environmental pollution*. 113, 189-1198.

Botello, V. A. 1991. Ecología de los recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo*. 17,142:15-23.

Broger, T. C., Johnson C. M. y Poull R. E. 1972. Some aspect of lead in plant nutritio. *Plant and Soil*. 20:12-23.

Calderón, B. J. 1982. Evaluación de la calidad del agua y control de la contaminación. Ed. Trillas. México. pp. 34-38.

Cajuste, L. J, R., Carrillo, G. R. G., Cuevas G. L., Cajuste B. E. 1995. Transporte y retención de metales pesados en aguas residuales del valle del Mezquital. Memoria del 26 Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 237-246

Cajuste L. J., R. Carrillo G., E Cota Gand R. J. Laird. 1991. The ditribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air and soil pollution*. 57-58: 763-771.

Cárdenas, L. P. 1990. Estudio preliminar de algunos aspectos biológicos y de contaminación para las especies. *Mugil curema valenciennes*, *Cahterops melanopus* y *brevoortia patronus goode*. En la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Tesis. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza.

Cárdenas, V. J. 1984. Horticultura-Investigaciones. Informes técnicos I.N.F.A., S.A.R.H. México. Investigación de Suelos-todos de Laboratorio y Procesamientos para Elegir Muestras. EVA. Departamento de Agricultura Congreso de la Unión. pp. 1-40.

Carrillo, G. R. and Lenon, J. C. 1992. Heavy Metals in soils and ALFALFA (*Medicagosativa L*) irrigated with three sources of wasterwater. *J. Environ SCI. Health a* 27,7: 1771-1783.

Castro, Z. R. 1987. Como obtener una muestra de suelo en los terrenos agrícolas. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. México.

Cervantes, G. E. 1988. Cuantificación de microelementos y metales pesados en suelos de chinampas en Xochimilco, San Luis T. y Mixquic. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Corey, O. G. y Galvão, A. C. 1989. Plomo. Serie vigilancia. No. 8. Centro Panamericano De Ecología Humana y Salud. Metepec. México. pp. 9-50

Cottenie A. 1980. Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de suelos de la FAO*. 38:2

Cuevas, F. Y. 1985. Contaminación de suelos y aguas en la Ciénega Grande, Xochimilco y su recuperación mediante el uso de mejoradores químicos y orgánicos (lavado) a nivel de invernadero. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. pp 1-65

Critto, A. Carlon C. and Marcomini A. 2003. Characterization of contaminates soil and groundwatwer surrounding an illegal landfill (S. Giuliano, Venice, Italy) by principal componet analysis and Kriging. *Environmental Pollution*. 122,2:235-244.

Chapa, S. 1987. San Gregorio Atlapulco Xochimilco, D. F. Ed. Quetzalcoalt. 84 pp.

Chapman, D. H. 1981. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. 2ª Ed. Trillas, México. pp. 1-70.

Davis, B. Ed. 1980. Applied soil trace elements. John Wiley & Sons Ltd USA. pp. 287-351.

De Matos, A. T., Fontes M. P. F., da Costa L. M. and Martínez M. A. 2001. Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of Brazilian soils. *Environmental Pollution*. 111,3: 429-435.

Dow, C. R. y Horst, W. J. 1972. Renewable resource problems of heavy metal mining in coastal marine. *Research Bulletin Fisherman*, 35,4:107-112.

Dudka, S. P. M. and Chlopecka, A. 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of the plants. *Water, Air and Soil Pollution*. 70:333-341.

Duflus, H. J. 1983. Metabolismo de las sustancias tóxicas en las plantas. *Toxicología Ambiental*. Ed. Omega. España. pp. 216-380.

Escobedo, F. R. 1987. Estudio edafológico de chinampas de Xochimilco y San Gregorio. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 5-74.

Espinoza. C. S. 1971. Xochimilco. Ed. Mimeografiado, México. pp. 12-30.

FAO/OMS. 1971. La contaminación de los alimentos: Programa mixto de vigilancia, alimentación y nutrición, 1,2:45

Fair, M. G. 1981. Purificación de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales. 4ª. Ed. Limusa. México. 547 pp.

Falcom, C, 1983. Manual de tratamiento de aguas negras. Ed. Limusa. México. pp. 1-30.

Fernández, Q. M. 1988. Manejo y recuperación de los suelos salinos-sódicos en chinampas de Xochimilco. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 98 pp.

Fergusson, J. E. 1990. The heavy element. Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Ed. Pergamon Press, USA. Pp. 3-599.

Flores, D. L., Hernández, S. G., Alcalá, M. R., and Maples, V. M. 1992. Total contents of cadmium, copper, manganese and zinc in agricultural soil irrigated with wastewater from Hidalgo, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 8,1:37-46.

Flores, S. M. G. 1982. Determinación de algunos metales en sedimentos del lago de Xochimilco. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. pp. 37-46.

H. J. M. 1979. Environmental chemistry of the elements. Data mainly from Bowen Academic Press. London. Pp. 154-245.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México.

García, M. Ma. Del Rosario. 1992. Contaminantes tóxicos prioritarios en agua. Ed. Aurora González Calderón. México. 185 pp.

Ginocchio, R., Carvallo, G., Toro, I., Bustamante, Y. S., and Sepúlveda, N. 2004. Micro-spatial variation of soil metal pollution and plant recruitment near a copper smelter in Central Chile. *Environmental pollution*. 127,3:343-352.

González, P. A. y Esquivel H. B. 1981. Cuantificación de metales pesados en suelos y plantas del DF. *Rev. Soc. Quim. Mex.* 25,45:483-487.

González, M. A. 1990. Plan para la regeneración ecológica y el desarrollo de la cuenca hidrológica de Xochimilco. Fundación Friedrich. México. pp. 21-109.

Grande, L. R. 1974. Métodos para análisis físicos y químicos en suelos agrícolas. San Luis Potosí. Instituto de Investigación de Zonas Áridas Desérticas. pp. 1-74.

Green, I. D., Merrington G. and Tibbett, M. 2003. transfer of cadmium and zinc from sewage sludge amended soil through a plant-aphid system to newly emerged adult ladybirds (*Coccinella septempunctata*). *Agriculture, ecosystems & environment*. 99,1-3:171-178.

Haapala H., Goltsova N. and Lodenius M. 2001. Heavy metal solubility in podzolic soils exposed to the alkalizing effect of air pollutants. *Environmental pollution*. 94,2:159-168.

Hawley, G. 1993. Diccionario de química y productos químicos. Ed. Omega. Barcelona. 1170 pp.

Hermosillo, S. J. y Espinoza, A. 1995. Cuantificación de la contaminación del medio ambiente agua, suelo y planta de la Comarca Lagunera por metales pesados Pb, As, Zn, Cd. Memoria del 26 Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 68 pp.

Holden, W. S. 1970. Water treatment and examination. Ed. J. and A. Churchill Pablo. London. pp. 1-45

<http://www.inegi.gob.mx/entidades/español/fdf.html>.(2002)

Imperato, M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M. Stanzione D. and Violante P. 2003. Spatial distribution of heavy in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution*. 124,2: 247-256.

Impens, R. J. Fagot et C. A. 1991. Gestion des sols contaminés par les métaux lourds (Synthèse Bibliographique). *Annales de Glembox*. 97:235-276.

Izquierdo, V. C. 1985. Relación suelo-planta de algunos elementos en la zona húmeda del mezquital, regadas con aguas negras del canal de desagüe del Valle de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. pp. 1-80.

Jackson, M. L. 1982. Análisis químico de suelos. Omega. España. pp. 28-343.

- Jeng, A. S. and Ram, S. B. 1993. Partitioning and distribution of cadmium and zinc in selected cultivated soils in Norwag. *Soil Science*. 156, 4:30-36.
- Jiménez, C. B. E. 2001. La contaminación ambiental en México: causas y efectos y tecnología apropiada. Ed. Limusa. México. 926 pp.
- Jons, E. G. 1973. An ecological survey of open ocean and estuarine microbial populations. I. the importance of trace metal ions to microorganism in the sea. *UNIV. South Carolina Press*, 26,7: 118-123.
- Jones, B. J. and B. Wolf. 1984. Manual soil testing procedure using modified (Wolf) Morgan extracting reagent. Benton Laboratories INC, athens georgio, USA.
- Kabata-Pendias, A. And Pendias, M. 1992. "Trace elements in soil and plants". 2da. Levis Publisher inc. USA.
- Lepp, N.W. 1981. Effect of heavy metal pollution on plants. *Applied Science Publiseher LTD*. 2:1-34
- Lindsay, L. W. and Norvell, A. W. 1978. Development of DTPA test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- Linzon, S. N. 1978. Phytotoxicology excessive levels for contaminants in soil and vegetation. Repot of Ministry of the Environment. Ontario, Canada.
- Lombi, E., Zhao F. J., Wieshammer, G., Zhang G. and Mcgrath P. S. 2002. In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: biological effects. *Environmental pollution*. 118,3: 445-452.
- López, D. V. 1975. Estudios de la calidad del agua del lago de Xochimilco para fines de irrigación y recreación. Facultad de Ciencias Químicas. Tesis. Universidad Nacional autónoma de México.
- Llerandí, D. J. 1993. Elementos traza (Cd, Pb, Cuy Zn) y aniones (cloruros, bromuros y fluoruros en la fosa Guaymas, Golfo de California: Especiación y Concentración. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Mascareño, C. F. y Guajardo, R. V. 1977. Estudio preliminar sobre contaminación de los suelos y la producción agrícola en el distrito de riego 03 para el uso de aguas negras de la ciudad de México. *Agrociencia* 27:36-44.
- Mahler, R. L., J. E. Hammel and R. W. Harder. 1985. The influence of crop relations and tillage methods on DTPA- extractable copper, iron, manganese and zinc in Northern Idaho soils. *Soil Science*. 139:279-286.
- Méndez, G. T., Flores, R. A., Palacios, M. S. 1995. Presencia de Pb, Cr, Co, y Cd en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 030. Tecamachalco Estado de Puebla. Memorias XXXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria Tamaulipas, México.

- Millipore, C. 1993. Biological analysis of water and wastewater. Aplicación manual A 3ª. Ed. USA. pp. 30-60.
- Moneada, H. 1989. Recuperación ecológica de Xochimilco. Revista Mexicana Ecológica. 4:20-25
- Miramontes, F. B. 1978. Interpretación agronómica de datos de análisis físicos y químicos de suelos y plantas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 34 pp.
- Molina, G. A. 1988. Toxicología ambiental. Limusa. México. 331 pp.
- Mondragón, M. L. 1989. Evaluación de los efectos provocados por los metales pesados (cadmio y zinc) en los géneros (*Franixus sp.*) fresno y eucalipto (*Eucaliptus sp.*), así como en las propiedades del suelo bajo condiciones de invernadero. Durante el período Nov. 1985 a Octubre 1986. Tesis. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza. pp. 70-132.
- Moreno, D. R. 1992. Clasificación del suelo en base a su análisis químico. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. S. A. R. H. Departamento de Suelos. México.
- Mora, R. J. 1991. El problema del agua en el Valle de México y zonas colindantes. Secretaría de Recursos Hidráulicos. pp. 126-130.
- Mortvedt, J. J. 1983. Micronutrientes en la agricultura. Ed. AGT. Science Society of America, Inc. pp. 641-693.
- Murray, B. M., Brian K, R., Tammo, S. John J, R. and Sébastien S. 1997. Soil Science. 162, 7.
- Nava, D. J. y Prado. M. L. 1984. Prácticas de laboratorio del curso de análisis especiales II. Departamento de Química. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional.
- Nieto, R. J. A. 1981. Estudio sobre normalización de tecnologías de muestreo y análisis de aire, aguas residuales, vegetales, animales, suelos y lodos desde el punto de vista de la contaminación. Departamento del Distrito Federal. México. pp. 1-80.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Norlex Internacional, S.A. de C.V.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL/1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. 1997.
- Norval, E. y Butter, R. 1974. Trace elements in the human context and their determinación by atomic absorption spectrophotometry. Journal for Scientific and Industrial research. 4,6: 1-8.

- Ojeda, O. D., 1975. Manual para la interpretación de análisis de suelos. pp. 5-48.
- Ornella, A., Aceto M., Malandrino, M., Mentaste E., Sarzanini, C. and Barberis R. 2002. Distribution and mobility of metals in contaminated sites. *Chenometric investigation of pollutant profiles. Environmental Pollution*. 119, 2:177-193.
- Ortiz, O. M. 1986. El muestreo de suelos salinos y sódicos. Área de manejo de suelos y aguas del departamento de suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 3-4.
- Osuna, L. I. y Páez, O. F. 1984. Metales tóxicos. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 6,2: 46-98.
- Otero, L. X. and Macías, F.. 2002. Spatial and seasonal variation in heavy metals in interstitial water of salt marsh soils. *Environmental Pollution*. 120,2:183-190.
- Pavón, M. E. 1993. Efecto de la Temperatura en el Cultivo del rotífero (*Brachiomus calyciflorus*). XII Congreso Nacional de Zoología. Universidad Autónoma de Nuevo León. Memorias.
- Peralta, B. M. A. 1983. Determinación de algunos metales pesados en suelos agrícolas de Xochimilco. Tesis Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. pp. 5-95.
- Peñaloza, Z. J. 1990. Contaminación de los canales de Xochimilco. UAM-Xochimilco. Tesis. México. pp. 8-15.
- Pettygrove, G, 1985. Irrigation with reclaimed municipal wastewater. Lewis Publisher Inc. U.S.A.
- Prévet, M. 1987. Plant Analysis. As aguide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. Lavosier Publishing Inc. USA.
- Ponc, P. and Pfiendt, P. 1994. Alluvial aquifer contamination exchangeable heavy metals and factor affiectime their spatial distribution., water, air and soil pollution. 74:155-176.
- Ponce, U. G. y Botello, A. V. 1991. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la Laguna de Términos Campeche. *Hidrobiología*. 1,2: 8-12.
- Ramos, B., Cajuste. J. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampas en México. *Agrociencia*. 35,4:385-395.
- Rangsayatorn, N., Upatham, E. S. , Kruatrachue, M. 2002. Phytoremediation potential of *Spirulina (Arthrospira) platensis*: biosorption and toxicity studies of cadmium. *Environmental Pollution*. 119,1:45-53.
- Richards, L. A. 1980. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México. pp. 107-112.

- Ringbom, A. 1979. Formación de complejos en química analítica. Ed. Alhambra. España. pp. 1-150.
- Rivero, B. M. 1983. Estudio preliminar de contaminación por cadmio, cromo, mercurio y plomo, expuesto anteriormente a riego con aguas de desechos industriales así como su efecto sobre cultivos presentes en Xochitecantilla Tlax. Tesis. Escuela Nacional de Estudios profesionales Zaragoza. pp. 1-70.
- Rojas, R. T. 1993. La agricultura chinampera. Compilación Histórica. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp. 42-91.
- Rosas, P. I., Báez, P. A., Belmont, D. R. 1982.. Cuantificación de cromo en suelo y vegetales de una zona contaminada por cromo residual de origen industrial. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 1,95:112-30
- Rodríguez, D. L. y Méndez, G.T. 1995. Disponibilidad de Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, y Cd en los cultivos más comunes en el Municipio de Atlixco, Puebla. XXVI CNCN. Cd. Victoria Tamaulipas.
- Salim, N. A. and Madany, M. I. 1993. Heavy metals in street and house justin bahraim. Water, Air and Soil Pollution. 66,111: 115-119.
- Saval, B. S. 1995. Acciones para la remediación de suelos en México. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Memorias del Segundo Minisimposio Internacional sobre Remoción de Contaminantes de Aguas y Suelos. 2:168-173.
- Seoáñez, C. M. 1999. Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp.. 1-335.
- Siebe, G. C. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelo regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula Hidalgo, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 10,1:15-21.
- Smit, S.R. 1996. Human dietary intake of PTEs from agricultural crops and soil ingestion. CAB INTERNATIONAL. Wallngford. pp. 1-79.
- Stephens, S. R., Alloway B. J., Parker A. Carter J. E. and Hodson M. E. 2001. Changes in the leachability of metals from dredged canal sedimnets during drying and oxidation. Environmental pollution. 113,1:144-145.
- Stoker/Seager. 1981. Química ambiental. Contaminación del aire y del agua. Blume. Ecología. España. pp. 1-85.
- Subsecretaria de Ecología. 1984. Legislación relativa al agua y su contaminación. Dirección de Prevención y Control de la Contaminación del Agua. México. pp. 1-58.

Sosa, C. G. 1990. Determinación y cuantificación de plomo y cadmio en pescado seco por espectrofotometría de absorción atómica. Tesis. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza. pp. 1-87.

Sun, B., Zhao F. J., Lombi E. and McGrath S. P. 2001. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environmental Pollution*. 113,2: 111-120.

Sung, K. I., Hong K. K., Jonson-Green and Ju, L. E. 2003. Investigation of heavy metal accumulation in *Polygonum thunbergii* for phytoextraction. *Environmental Pollution*. 126,2:235-243.

, M. D. and Percival H. J. 2001. Cadmium in soil solution from a transect of soils away from a fertiliser bin. *Environmental Pollution*. 113,1:35-40.

Taylor, R. W. 1993. Heavy metal concentration in forage grasses an extractibility from some acid mine spoils. *Water, Air and Soil Pollution*. 68:363-372.

Tirado, S. de N. 1983. Contaminación de aguas superficiales por metales y su repercusión en suelos y plantas. Departamento de Química. Lab. De Suelos y Plantas. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. pp. 108-120.

Tipping, E., Rieuwerts J., Pan G., Ashmore M. R., Lofts S., Hill M. T. R., Farago M. E. and Thornton I. 2003. The solid-solution partitioning of heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in upland soils of England and Wales. *Environmental Pollution*. 125,2:213-225.

Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. 1986. Soil fertility and fertilizers. The Mcmillan Company. New York. pp. 34-37.

Turk-Turk, W. 1973. Ecología-Contaminación-Medio Ambiente. Ed. Interamericano. México. pp. 83-139

Vallejo, A. C. 1992. Contaminación de suelos en algunas calicatas en San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxiátemalco, D. F. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vallejo, A. C. 1995. Efecto de Algunos mejoradores Minerales y Biológicos en Suelos de Chinampa de Xochimilco, DF. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Velásquez H. A. 1986. Análisis físico químico de los suelos del Valle del mezquiteal (Zona Húmeda). Tesis Licenciatura Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. 38 pp.

Walter, I. Martínez, F. Luis, A. and de Gracia, J. C. G. 2002. Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolids application to agricultural soil. *Environmental pollution*. 117, 2:315-321.

Wilber, G. Ch. 1971. The biological (aspects of water pollution. Ed. Charles E. Thomas Publisher. USA. pp. 3-35..

Wong, S. C., Li X. D. Zhang G, Qi S. H. and Min Y. S. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution*. 119,1:33-44.

Youn-Joo An 2004. Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. *Environmental pollution*. 127,1: 21-26.

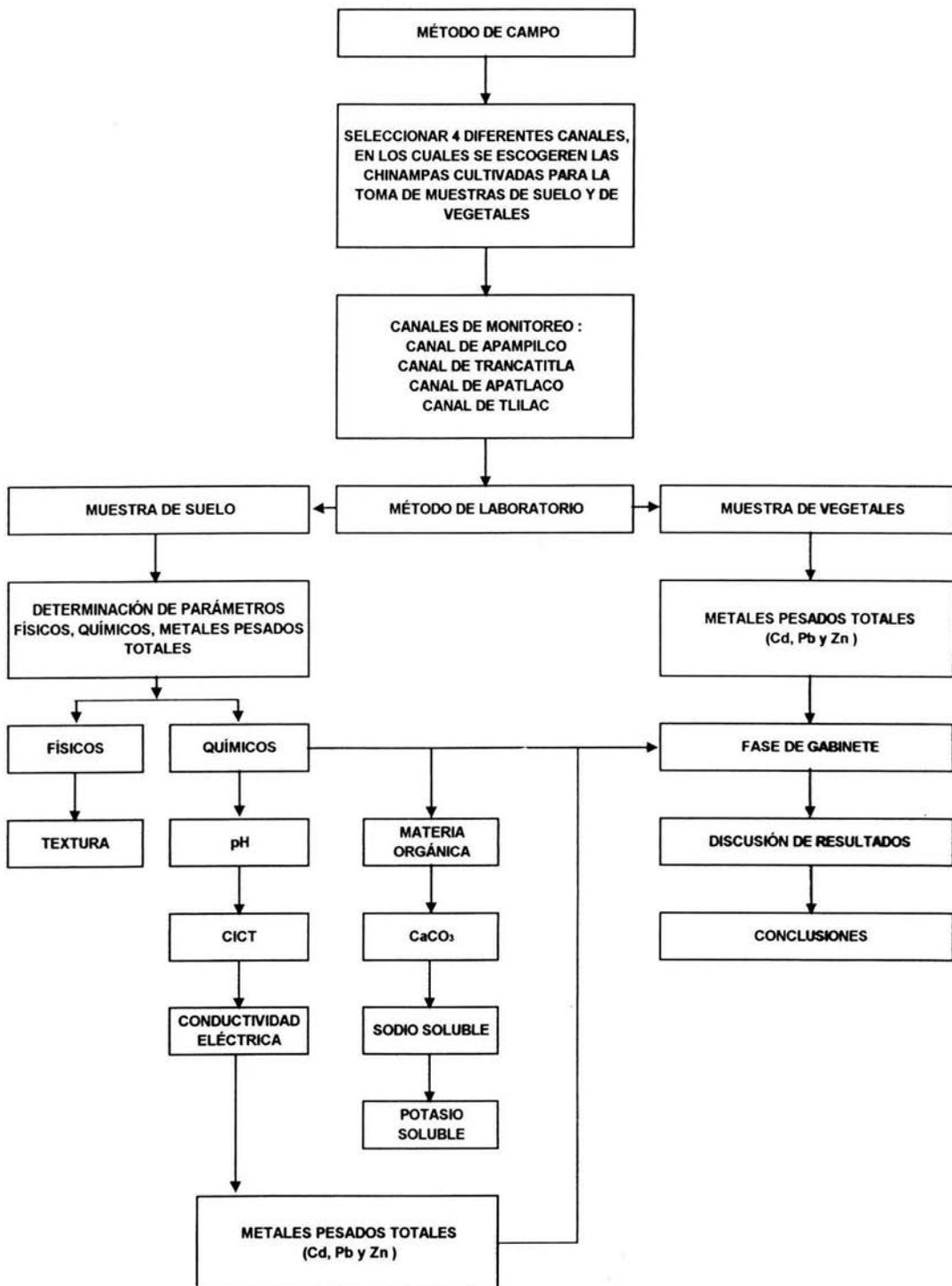
Zhenbin, L. and Larry M. S. 1996. Heavy metal movement in metal contaminated soil profiles. *Soil Science*. 161,10:10-35.

Zhi, D., Congquiang L. and J. Haigh M.. 2002. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils. *Environmental pollution*. 118,3:419-426.

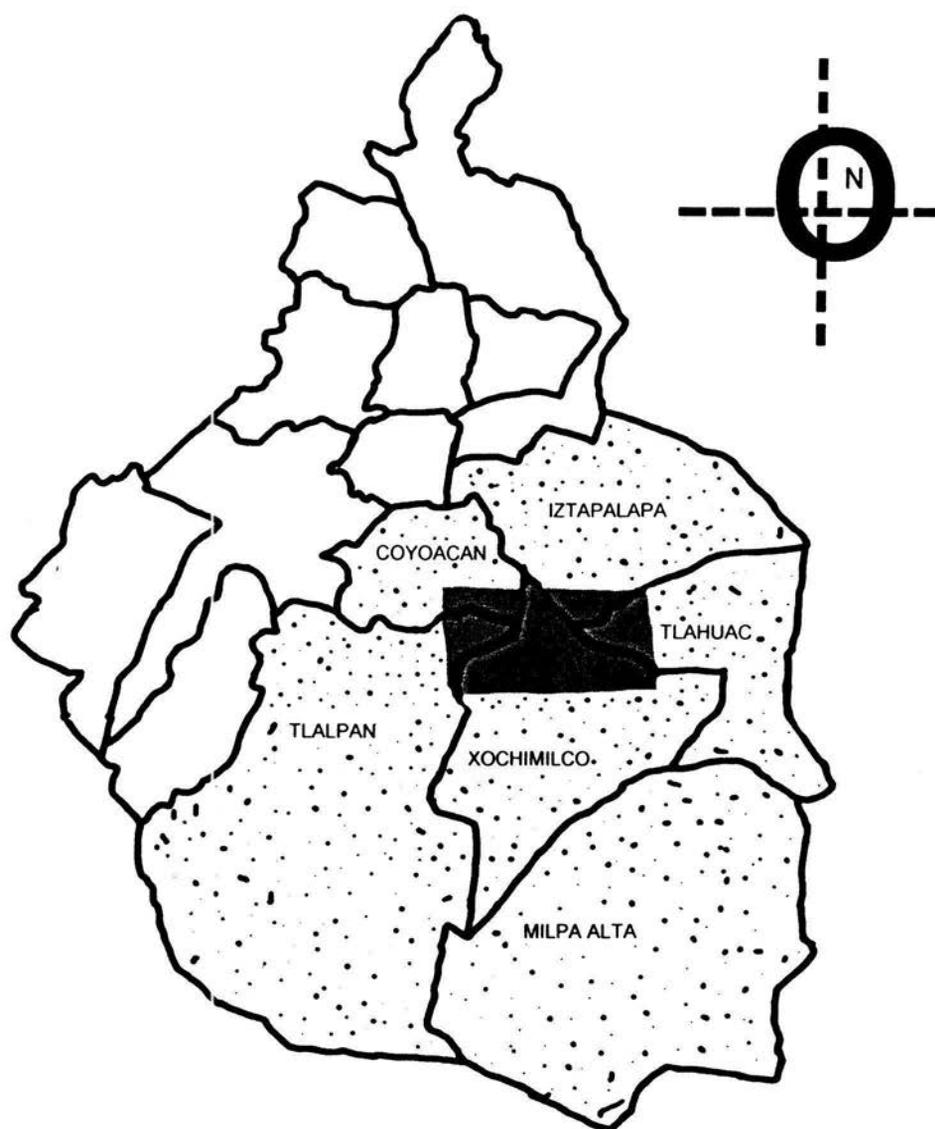
Zhu, B. And Alba, A. K. 1993. Diferential adsorption of trace metals by soils as influenced by exchangeable cations and ionic strenght soil soil science. 155,1:64

# **17. ANEXOS**

### 17.1 ANEXO I DIAGRAMA DE FLUJO

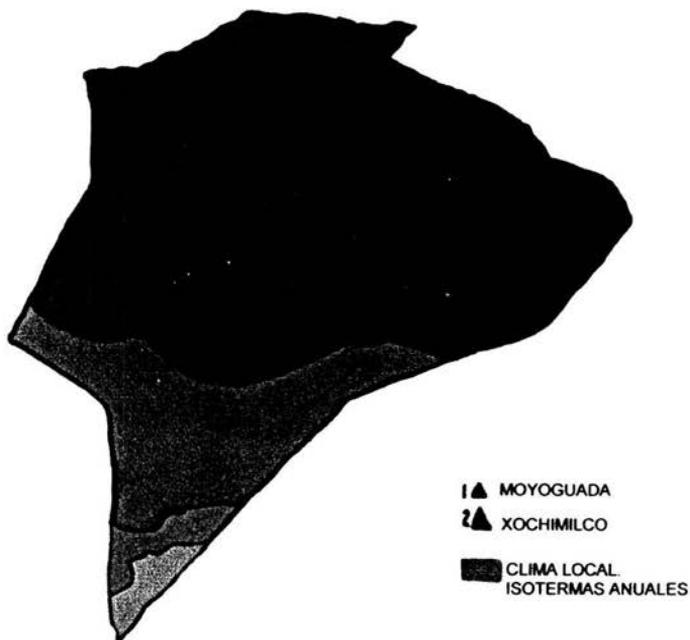


## DISTRITO FEDERAL



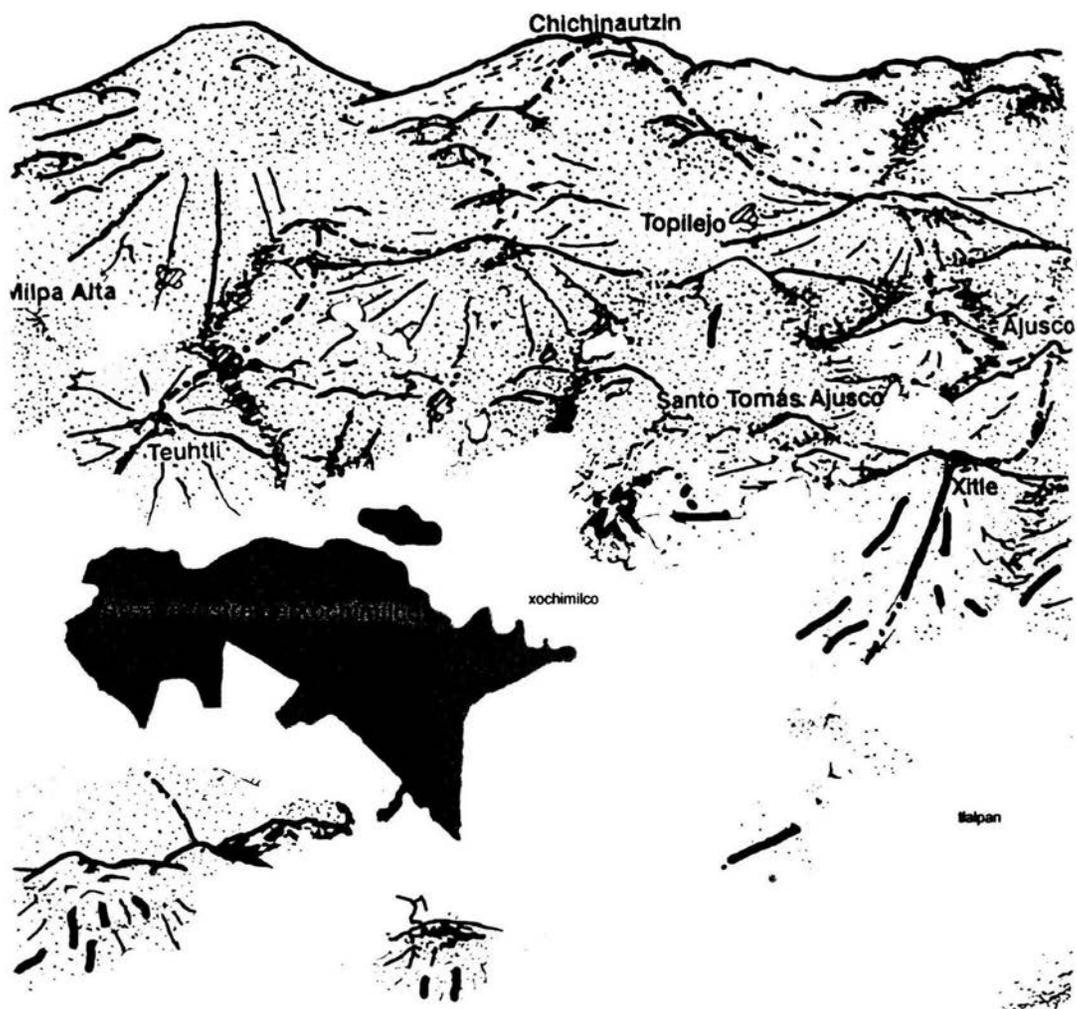
Mapa 1.1: Ubicación del Ecosistema Lacustre Xochimilco (área sombreada en el Distrito Federal).

## DELEGACIÓN XOCHIMILCO



MAPA 2: CLIMA E ISOTERMAS ANUALES  
DE XOCHIMILCO

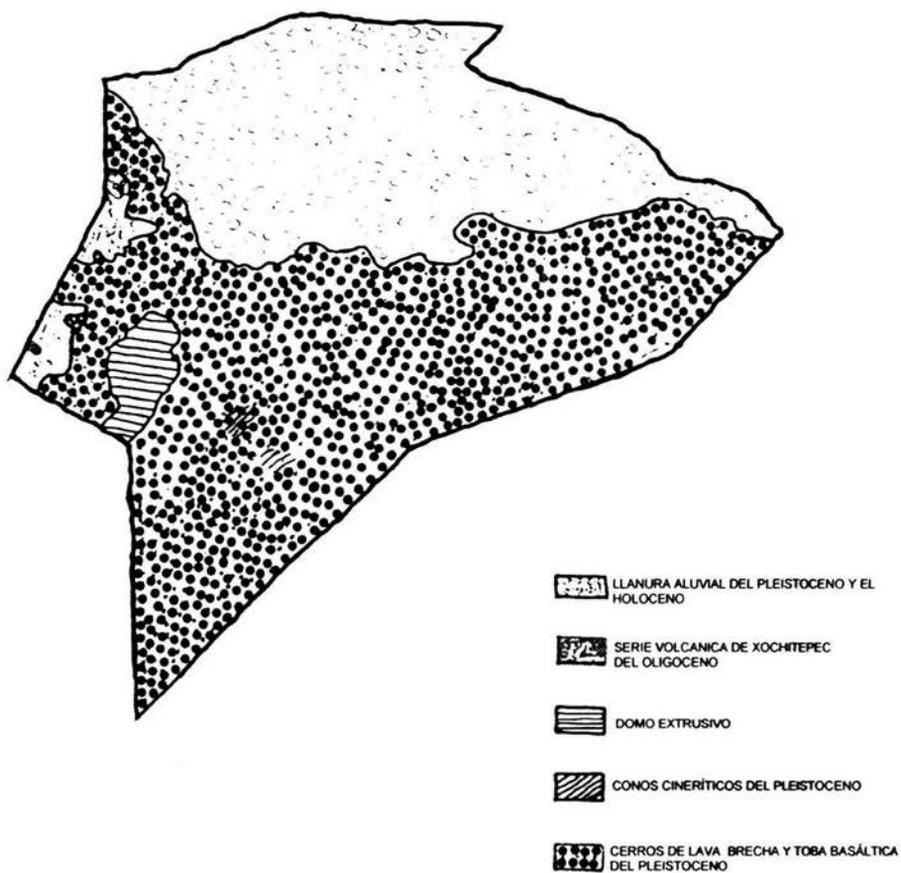
MENDOZA R. M. 1961



ANDRES ROSAS 1990.

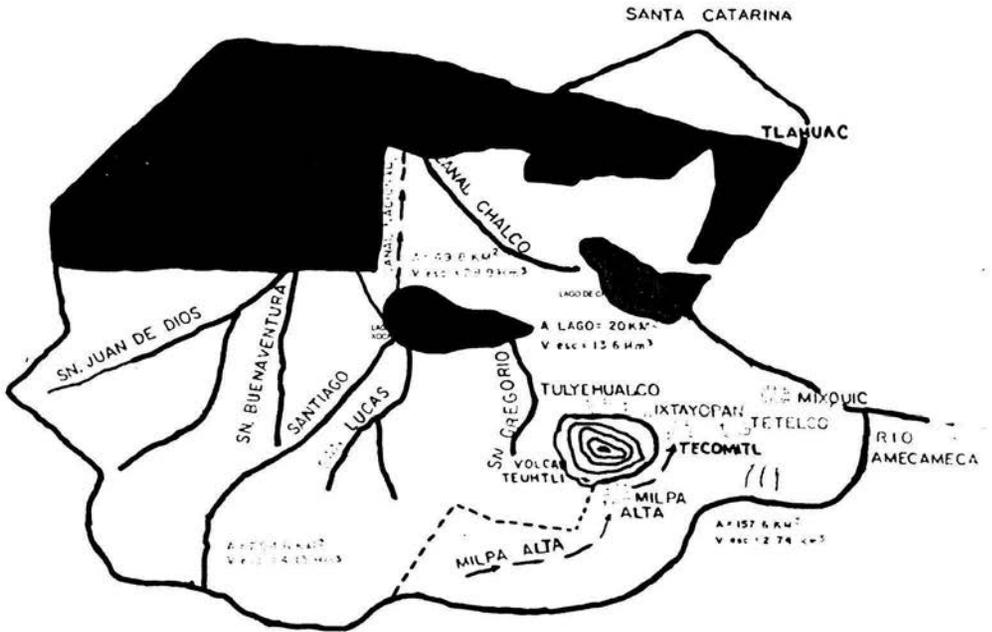
MAPA 3: OROGRAFÍA DE LA CUENCA DE XOCHIMILCO

## DELEGACIÓN XOCHIMILCO



MAPA 4: GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

# HIDROGRAFÍA



MAPA 6: CUERPOS DE AGUA DE LA CUENCA XOCHIMILCO-MIXQUIC-TLAHUAC.



## 17.2 ANEXO II

**TABLA No. 1**

**VARIACIONES ESPACIALES DE METALES PESADOS EN SUELO**

<b>ELEMENTO</b>	<b>MAX.</b>	<b>MIN.</b>	<b>MED.</b>	<b>NIVELES * REPORTADOS**</b>
<b>CADMIO (mg kg-1)</b>	<b>1.43</b>	<b>1.21</b>	<b>1.30</b>	<b>0.01-2.4 mg kg-1* Normal 0.35 mg kg-1** Peligroso 3-5 mg kg-1**</b>
<b>PLOMO (mg kg-1)</b>	<b>25.05</b>	<b>14.92</b>	<b>19.12</b>	<b>2-300 mg kg-1* Normal 35 mg kg-1** Peligroso 100-300 mg kg-1**</b>
<b>ZINC (mg kg-1)</b>	<b>65.82</b>	<b>39.41</b>	<b>56.37</b>	<b>10-300 mg kg-1*</b>

(\*) Alloway 1990

(\*\*) NOM-021-RECNAT-2000

**TABLA No. 2****NOMBRES CIENTÍFICOS DE LAS ESPECIES HORTICOLAS**

<b>ESPECIES HORTICOLAS</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>
<b>COLIFLOR</b>	<i>Brassica oleracea</i> var botrytis
<b>ESPINACA</b>	<i>Spinacea oleracea</i> L.
<b>ACELGA</b>	<i>Beta vulgaris</i>
<b>BRÓCOLI</b>	<i>Brassica oleracea</i> var itálica

**TABLA No. 3****CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN CUANTO A SU VALOR DE ACUERDO A LA NOM-021-RECNAT-2000**

<b>Clasificación</b>	<b>pH</b>
<b>Fuertemente ácido</b>	<b>&lt; 5.0</b>
<b>Moderadamente ácido</b>	<b>5.1 – 6.5</b>
<b>Neutro</b>	<b>6.6 – 7.3</b>
<b>Moderadamente alcalino</b>	<b>8.5 – 9.4</b>
<b>Fuertemente alcalino</b>	<b>&gt; 8.5</b>

<b>Clase</b>	<b>Materia Orgánica (%)</b>
<b>Muy bajo</b>	<b>&lt; 40</b>
<b>Bajo</b>	<b>4.1- 6.0</b>
<b>Medio</b>	<b>6.1 – 10.9</b>
<b>Alto</b>	<b>11.0 – 16.0</b>
<b>Muy alto</b>	<b>&gt; 16.1</b>

<b>Clase</b>	<b>CIC (Cmol (+) kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>Muy alta</b>	<b>&gt;40</b>
<b>Alta</b>	<b>25 – 40</b>
<b>Media</b>	<b>15 – 25</b>
<b>Baja</b>	<b>5 – 15</b>
<b>Muy baja</b>	<b>&gt; 5</b>

<b>Clase</b>	<b>% CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Muy bajo</b>	<b>&lt; -5</b>
<b>Bajo</b>	<b>5 -10</b>
<b>Medio</b>	<b>10 – 20</b>
<b>Alto</b>	<b>20 – 40</b>
<b>Muy alto</b>	<b>&gt; - 40</b>

<b>Clasificación</b>	<b>Potasio ppm</b>
<b>Muy rico</b>	<b>&gt; 320</b>
<b>Rico</b>	<b>201 – 320</b>
<b>Mediano</b>	<b>81 – 200</b>
<b>Pobre</b>	<b>40 - 80</b>
<b>Muy pobre</b>	<b>&lt; 40</b>

<b>C. E. dSm<sup>-1</sup> a 25°</b>	<b>Efectos</b>
<b>&lt; 1.0</b>	<b>Efectos despreciables de la salinidad</b>
<b>1.1 – 2.0</b>	<b>Muy ligeramente salino</b>
<b>2.1 – 4.0</b>	<b>Moderadamente salino</b>
<b>4.1 – 8.0</b>	<b>Suelo salino</b>
<b>8.1 – 16.0</b>	<b>Fuertemente salino</b>
<b>&gt; 16.0</b>	<b>Muy fuertemente salino</b>

**TABLA No. 4****TABLA DE ABREVIATURAS**

<b>NOM-001-ECOL/96 NOM- 021-RECNAT-2000</b>	<b>Norma Oficial Mexicana</b>
<b>LMP</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
<b>OMS</b>	<b>Organización Mundial de la Salud</b>
<b>EPA</b>	<b>Environmental Protección Agency</b>
<b>FAO</b>	<b>The Food and Agricultura organization of the United Nations</b>
<b>UNESCO</b>	<b>Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y desarrollo</b>
<b>DGCOH</b>	<b>Dirección General de Control y Operación Hidráulica</b>

**TABLA No. 5**

**NOM-001-ECOL/96.** Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS**

Parámetros	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS				SUELO			
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de la vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Explotación pesquera navegación, y otros usos		Recreación		Estuarios		Uso en riego agrícola		Humedades naturales	
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
<b>Cadmio (mg/L)</b>	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
<b>Plomo (mg/L)</b>	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	5.0	10	0.2	0.4
<b>Zinc (mg/L)</b>	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

**P. D.** Promedio Diario

**P.M.** Promedio Mensual

**Diario Oficial de la Federación 1997.**

**TABLA No. 6****METALES DE MAYOR INTERÉS EN EL AGUA**

<b>Metales no prioritarios, pero de interés en el agua</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Densidad g/m<sup>3</sup></b>
<b>Aluminio</b>	<b>2.70</b>
<b>Bario</b>	<b>3.50</b>
<b>Calcio</b>	<b>1.55</b>
<b>Fierro</b>	<b>7.86</b>
<b>Manganeso</b>	<b>7.30</b>
<b>Magnesio</b>	<b>1.74</b>
<b>Potasio</b>	<b>0.86</b>
<b>Sodio</b>	<b>0.97</b>
<b>Vanadio</b>	<b>6.10</b>

<b>Metales prioritarios</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Densidad g/m<sup>3</sup></b>
<b>Antimonio</b>	<b>6.62</b>
<b>Arsénico</b>	<b>5.53</b>
<b>Berilio</b>	<b>1.85</b>
<b>Cadmio</b>	<b>8.64</b>
<b>Cromo</b>	<b>6.93</b>
<b>Cobre</b>	<b>8.89</b>
<b>Mercurio</b>	<b>13.60</b>
<b>Niquel</b>	<b>8.80</b>
<b>Plomo</b>	<b>11.40</b>
<b>Selenio</b>	<b>4.82</b>
<b>Talio</b>	<b>16.60</b>
<b>Zinc</b>	<b>7.14</b>

**Fuente: Jiménez C. B. 2000.**

**TABLA No. 7**

**Los metales pesados más importantes y su categoría como esenciales y/o contaminantes.**

<b>Elemento</b>	<b>Esencial</b>	<b>Contaminante Vegetal/animal</b>
<b>Ag</b>		<b>X</b>
<b>Au</b>		
<b>Bi</b>		<b>X</b>
<b>Cd</b>		<b>X</b>
<b>Cr</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Co</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Cu</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Fe</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Hg</b>		<b>X</b>
<b>La</b>		<b>X</b>
<b>Mn</b>	<b>X</b>	
<b>Pb</b>		<b>X</b>
<b>Mo</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Ni</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Pt</b>		
<b>Tl</b>		<b>X</b>
<b>Th</b>		<b>X</b>
<b>Sn</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>U</b>		<b>X</b>
<b>V</b>		<b>X</b>
<b>W</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Zn</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Zr</b>		<b>X</b>

**Fuente: Davis B. 1980**

## 17.3 ANEXO III.

### MÉTODO DE CAMPO.

#### CANALES DE MUESTREO.



FOTO 12. CANAL DE APAMPILCO



FOTO 13. CANAL DE TRANCATITLA.



FOTO 14. CANAL DE APATLACO.



**FOTO 15. CANAL DE TLILAC**

## MÉTODO DE CAMPO.



FOTO 16. TOMA DE MUESTRAS DE ACELGA CHINA.



**FOTO 17. TOMA DE MUESTRAS DE VERDOLAGA.**



**FOTO 18. TOMA DE MUESTRAS DE ROMERO.**



**FOTO 19. CULTIVO DE ACELGA CHINA.**

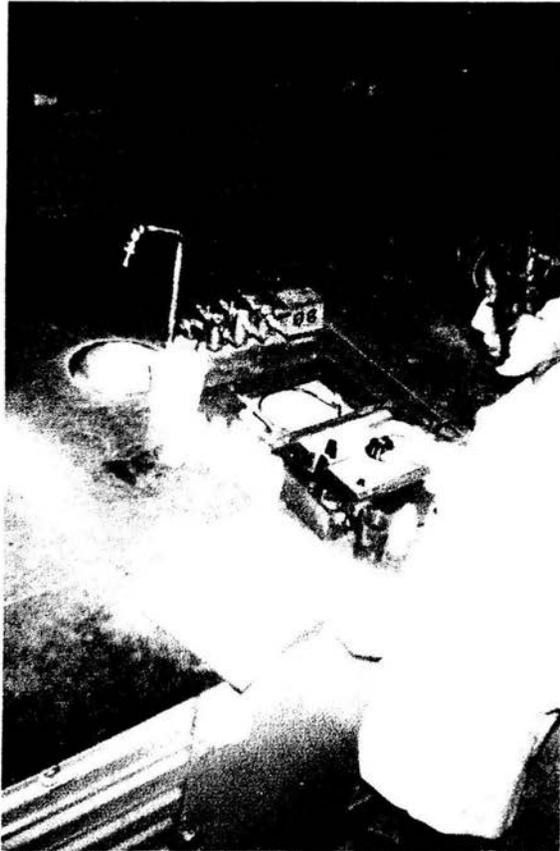


**FOTO 20. TOMA DE MUESTRAS DE ESPINACA.**

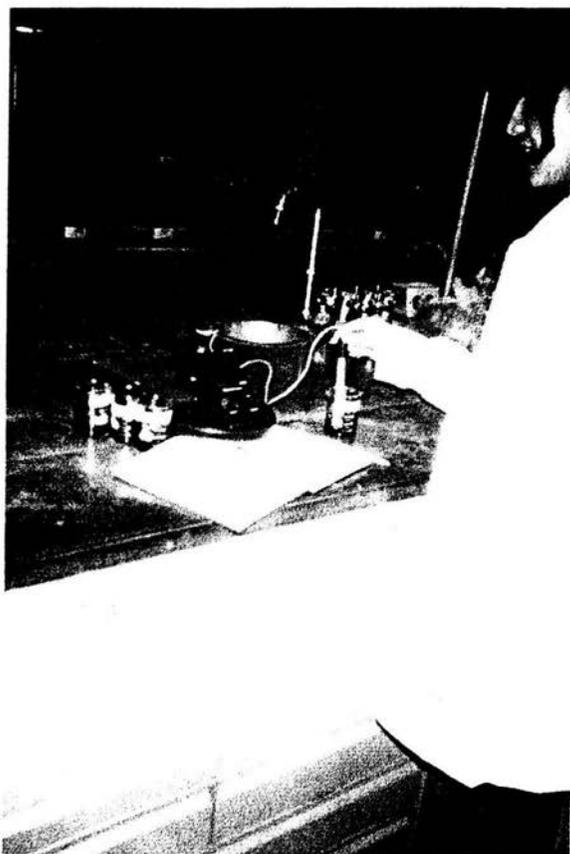
## MÉTODO DE LABORATORIO.



FOTO 21. MOLIENDA DE VEGETALES.



**FOTO 22. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.**



**FOTO 23. DETERMINACIÓN DE pH.**



**FOTO 24. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS  
EN SUELO.**



**FOTO 25. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS  
EN HORTALIZAS.**