



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

**“DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE  
ALGUNOS METALES PESADOS EN SUELO-  
AGUA-PLANTA EN UN ÁREA DE LA ZONA  
LACUSTRE DE XOCHIMILCO-MIXQUIC, D.F.”**

### **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)**

**PRESENTA**

**M. en C. SALVINO EDVINO VEGA ROJAS.**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. DAVID FLORES ROMÁN.**

**MÉXICO, D.F.**

**ABRIL, 2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



**Dedicatoria**

**A LA MEMORIA DE  
RAFAELA CRUZ M. DE VEGA.  
POR LA VIDA COMPARTIDA.**

**A MIS HIJOS:  
MARÍA DE LA LUZ VEGA CRUZ Y  
MARTÍN EDVINO VEGA CRUZ  
QUE SON ESTÍMULO EN MI VIDA.**

## **Agradecimientos**

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO MI  
AGRADECIMIENTO INFINITO POR TODO LO QUE ME HA BRINDADO A  
LO LARGO DE MI VIDA.**

**AL HONORABLE JURADO INTEGRADO POR EL Dr. David Flores Román  
Director de Tesis por su Valioso Tiempo, Conocimientos Técnicos y Científicos  
Aportados para una Mejor Integración del Mismo.**

**Al Sr. Dr. Armando Aguilar Márquez por su Apoyo Absoluto en el Apartado  
Estadístico de este Trabajo, así como por su Amistad y Apoyo en el Trabajo que  
Hemos Realizado Día a Día en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,  
UNAM.**

**A las Doctoras Ma. Engracia Hernández Cerda, Teresa de Jesús Reyna Trujillo,  
Amada Laura Reyes Ortigoza, que Amablemente Revisaron la Tesis he Hicieron  
Observaciones y Sugerencias muy Importantes Tendientes a la Mejora de la Obra.**

**A los Doctores Alejandro Espinoza Calderón y Agustín de Jesús Quiroz Flores por  
su Tiempo tan Valioso Dedicado a este Trabajo con el Fin de que Resultara más  
Académico.**

## ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN	1
SUMARY	4
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I	
CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	12
CAPÍTULO III	
ANTECEDENTES Y MANEJO DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	23
III.1 Cultivos Nativos	24
III.2 Cultivos Europeos	24
III.3 Hierbas de Olor	24
III.4 Cereales	25
III.5 Flores: Nativas e Introducidas	25
III.6 Vegetación Acuática y Tolerante a Inundación	25
III.7 Vegetación de Relieve Elevado	25
III.8 Vegetación de Lomeríos	25
III.9 Frutales	25
CAPÍTULO IV	
ANTECEDENTES DE LA ZONA LACUSTRE DE XOCHIMILCO	26
IV.1 Hidrografía	26
IV.2 Orografía	27
CAPÍTULO V	
SUSTANCIAS CONTAMINANTES	27
V.1 Según su Origen	30
V.2 Según el Tipo de Materiales	30
V.3 Según sus Propiedades	31
V.4 Técnicas de Vertido	31
V.5 Técnicas de Recuperación de Energía	31
V.6 Métodos de Reciclaje y Generación	31
V.7 Técnicas de Separación	31

CAPÍTULO VI	
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL AGUA RESIDUAL	31
VI.1 Ventajas del Uso de Aguas Residuales	32
VI.2 Desventajas del Uso de Aguas Residuales	32
VI.3 Sistemas de Tratamiento	33
VI.3.1 Lodos activados	33
VI.3.2 Filtros rociadores	34
VI.3.3 Lagunas de estabilización	34
VI.3.4 Tratamientos terciarios	35
VI.3.5 La floculación-coagulación	35
VI.3.6 Filtración y adsorción	35

## CAPÍTULO VII

METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES	36
VII.1 Efecto de los metales pesados contenidos en las aguas residuales	36
VII.2 Contaminación del Suelo	37
VII.3 Acción de la Actividad Industrial sobre el Suelo	37
VII.4 Contaminación por Actividad Agrícola	37
VII.5 Los Metales Pesados en la Nutrición Animal y Vegetal	39
VII.6 Comportamiento de los Metales Pesados en el Ambiente	41

## CAPÍTULO VIII

EFFECTO DE LOS METALES PESADOS EN EL SER HUMANO	42
VIII.1 Cadmio (Cd)	42
VIII.2 Cobalto (Co)	45
VIII.3 Cobre (Cu)	46
VIII.4 Cromo (Cr)	48
VIII.5 Hierro (Fe)	52
VIII.6 Manganeseo (Mn)	52
VIII.7 Níquel (Ni)	52
VIII.8 Plomo (Pb)	55
VIII.9 Zinc (Zn)	59

## CAPÍTULO IX

EFFECTO DE LOS SIGUIENTE METALES PESADOS EN SUELOS	59
IX.1 Cadmio (Cd)	59
IX.2 Cromo (Cr)	60
IX.3 Cobre (Cu)	61

IX.4 Fierro (Fe)	61
IX.5 Manganeso (Mn)	61
IX.6 Níquel (Ni)	61
IX.7 Plomo (Pb)	62
IX.8 Zinc (Zn)	63
OBJETIVOS	65
METODOLOGÍA	66
MUESTREOS	67
Muestras de Tejidos Vegetales	67
Muestras de Suelos	70
Muestras de Agua	70
RESULTADOS	72
Resultados de las Lecturas y Concentraciones de Metales Pesados en	
Muestras de Agua y Tejidos Vegetales	72
Resultados de los Análisis de Suelos	82
Contenido Promedio en PPM de Metales Pesados en el Perfil Completo	84
Máximos, Mínimos, Promedios en PPM y Desviación Estandar de los Metales Estudiados	
en las Diferentes Profundidades	85
Análisis de Componentes Principales en Suelo y sus gráficas	89
Análisis de Componentes Principales en Agua y sus gráficas	105
Análisis de Componentes Principales en planta	107
Acelga (Hoja)	107
Acelga (Raíz)	108
Maíz (Hoja)	109
Maíz (hoja y tallo)	110
Maíz (Espiga)	111
Maíz (Mazorca)	112
Maíz (Raíz)	113
Tabla de Concentración de Metales Pesados en Acelga, Pasto y Maíz	115
Gráfica de Concentración de Metales Pesados en Acelga, Pasto y maíz	116
Gráfica de Concentración de Metales en Hoja y Raíz de Acelga	116
Gráfica de Concentración de Metales en Diferentes Organos en una Planta de Maíz	117



Análisis de Componentes Principales en los Tres Primeros Perfiles y sus Gráficas	117
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	126
LITERATURA CITADA	131
ANEXOS	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÄGINAS
1 La Cuenca de México	138
2 Áreas Lacustres y Pueblos Principales de la Cuenca de México	139
3 Cuenca Lacustre Xochimilco-Chalco	140
4 Reciclaje Continuo de Materiales y Principales Elementos de una Chinampa.	141
5 Planta de Bombeo "El Hueso"	142
6 Tubería de la Planta "El Hueso" que Aporta Agua a los Canales de Xochimilco	143
7 Inicio de Tratamiento Primario en la Planta Cerro de la Estrella	144
8 Etapa de Aireción del Agua, para Proceder a la Sedimentación de Lodos Residuales	145
9 Agua en Etapa Secundaria para Obtener Lodos Residuales	146
10 Terminación de Tratamiento Secundario de Aguas Residuales	147
11 Tanques con Lirio Acuático ( <i>Eichhornia crassipes</i> )	148
12 Decantación del Agua Después de la Sedimentación	149
13 Lodos Residuales en el Patio de Secado	150
14 Canal Nacional, Fundamental en el Aporte de Agua para las Chinampas de Xochimilco	151
15 Aporte de Agua Lodo a la Chinampa	152
16 Preparación de Chapines	153
17 Cultivo de Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	154
18 Canal Cerrado en Xochimilco	155
19 Realización de un Perfil en Mixquic	156
20 Perfil Realizado en Xochimilco	157
21 Cultivo de Acelga ( <i>Beta vulgaris</i> L.)	158
22 Señora Ofreciendo sus Hortalizas	159
23 Trajinera Típica	160

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	PÁGINAS
1 Profundidad 0-10 cm. Perfil de Suelo	90
2 Profundidad 10-20 cm. Perfil de Suelo	91
3 Profundidad 20-30 cm. Perfil de Suelo	92
4 Profundidad 30-40 cm. Perfil de Suelo	93
5 Profundidad 40-50 cm. Perfil de Suelo	94
6 Profundidad 50-60 cm. Perfil de Suelo	95
7 Profundidad 60-70 cm. Perfil de Suelo	97
8 Profundidad 70-80 cm. Perfil de Suelo	98
9 Profundidad 80-90 cm. Perfil de Suelo	99
10 Profundidad 90-100 cm. Perfil de Suelo	100
11 Profundidad 100-110 cm. Perfil de Suelo	101
12 Profundidad 110-120 cm. Perfil de Suelo	102
13 Profundidad 120-130 cm. Perfil de Suelo	103
14 Profundidad 130-140 cm. Perfil de Suelo	104
15 Profundidad 140-150 cm. Perfil de Suelo	105
16 Concentraciones de Metales Pesados en Agua	106
17 Concentraciones de Metales Pesados en Acelga (Hoja)	108
18 Concentración de Metales Pesados Acelga (Raíz)	109
19 Concentración de Metales Pesados Planta de Maíz ( <i>Zea mays L.</i> ) (Hoja)	110
20 Concentración de Metales Pesados Hoja y Tallo de Maíz	111
21 Concentración de Metales Pesados en Espiga de Maíz	112
22 Concentración de Metales Pesados en Mazorca de Maíz	113
23 Concentración de Metales Pesados en Raíz de Planta de Maíz	114
24 Concentración de Metales Pesados en Acelga, Pasto y Maíz	116
25 Concentración de Metales Pesados en Hoja y Raíz de Acelga	116
26 Concentración de Metales Pesados en Diferentes Órganos de Planta de Maíz	117
27 Profundidad 0-10 cm. de los Tres Primeros Perfiles; para Todos los Elementos Estudiados	118
28 Profundidad 10-20 cm. de los Tres Primeros Perfiles; para Todos los Elementos Estudiados	119

29	Profundidad 20-30 cm. De los Tres Primeros Perfiles; para Todos los Elementos Estudiados	121
30	Profundidad 30-40 cm. De los Tres Primeros Perfiles; para Todos los Elementos Estudiados	122
31	Profundidad 40-50 cm. De los Tres Primeros Perfiles; para Todos los Elementos Estudiados	123
32	Profundidad 50-60 cm. De los Tres Primeros Perfiles; para Todos los Elementos Estudiados	124

### ÍNDICE DE MAPAS

	PÁGINAS	
1	Sitios de Muestreo de Xochimilco	74
2	Sitios de Muestreo de Mixquic	75

### ÍNDICE DE TABLAS.

	PÁGINAS	
1	Fuentes de Desechos Solubles de Cobre en Agua	47
2	Estándares para el Agua de Desecho	47
3	Concentraciones de Ni para las Aguas de los Procesos de Recubrimiento	54
4	Efectos del Zinc en Rendimientos de Cultivos y Sustentabilidad de Suelo	63
5	Efectos del Zinc en los Usos del Agua de Riego	64
6	Resultados de las Lecturas y las Concentraciones de Metales Pesados en Muestras de Agua y Tejidos Vegetales	72
7	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Agua	73
8	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Tejidos Vegetales, Raíz de Planta de Maíz	74
9	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Tejidos Vegetales, Hojas de Planta de Maíz	75
10	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Tejidos Vegetales, Hojas y Tallos de Planta de Maíz	76
11	Concentración de Metales Pesados en Tejidos Vegetales, Mazorca de Maíz	77

12	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Tejidos Vegetales Espiga de Planta de Maíz	78
13	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Tejidos Vegetales, Hojas de Acelga	79
14	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Tejidos Vegetales en Raíz de Acelga	80
15	Concentración de Metales Pesados en Muestras de Tejidos Vegetales de Planta Completa de Pasto ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	81
16	Profundidad en el Perfil con Mayor Concentración Promedio de Metales Pesados	82
17	Profundidad en el Perfil con Menor Concentración Promedio de Metales Pesados	83
18	Contenido Promedio en PPM de Metales Pesados en el Perfil Completo	84
19	Máximos, Mínimos, Promedios en PPM y Desviación Estandar de los Metales en las Diferentes Profundidades de Perfiles en Xochimilco y Mixquic	85
20	Máximo, Mínimo, Promedio y Desviación Estandar en PPM	106-107
21	Concentración Máxima de Metales Pesados en PPM en Agua	107
22	Concentración Mínima de Metales Pesados en PPM en Agua	107
23	Concentraciones de Metales Pesados en PPM en Tejidos Vegetales	115

## RESUMEN

Los canales de la zona lacustre de Xochimilco, desde los años cincuenta, reciben agua proveniente de las plantas de tratamiento, líquido que, por su calidad, produce problemas de contaminación que afectan a esta importante región de la Cuenca de México. Esta agua es una mezcla de las corrientes producidas en la industria y los hogares del Distrito Federal.

La presencia de esta agua ha afectado la flora y la fauna, tanto de los canales como de las propias chinampas, y representa un peligro para la población local, en principio, por sustancias organolépticas como manganeso, detergentes, aceites, grasas, minerales y fenoles; por sustancias tóxicas como el cianuro, arsénico, plomo, mercurio y sustancias de riesgo potencial como el antimonio, bario, cobalto y níquel.

Este tipo de agua es nociva para el suelo y la flora nativa porque ocasiona un alto grado de salinidad. Por ello es necesario estudiar cuidadosamente el uso, distribución y aprovechamiento de este líquido.

De acuerdo a lo anterior, se puede decir que existe contaminación cuando determinadas sustancias alcanzan concentraciones que pueden medirse por sus efectos en el hombre, los animales, los vegetales, el suelo y en el mismo sistema atmosférico. Este es el caso de las aguas residuales que llegan a los canales y que se incorporan al suelo, aportando metales pesados, microelementos y otras sustancias. En la presente investigación se puso especial atención sobre el potencial toxicológico de los siguientes elementos: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn.

Para el estudio de estos elementos se realizaron análisis de concentración total por medio de espectrofotometría de absorción atómica, de acuerdo a los métodos propuestos por USEPA (1973) y leídos en un aparato de absorción atómica (Perkin Elmer 3100).

Se realizaron los análisis en muestras de agua, de los siguientes sitios: plantas de tratamiento Cerro de la Estrella, San Luís Tlaxialtemalco, Aculco; planta mezcladora El Hueso y algunos canales de Xochimilco. También se analizaron los metales antes mencionados en lodos residuales de la planta de tratamiento de San Luís Tlaxialtemalco.

En relación a las determinaciones en suelos se hicieron perfiles en terrenos de: Bordo Canal Belén, (Xoch.); Sr. Juan Rosas (Puente Urrutia, Xochimilco.); Tabla 2 (Xoch.); Sr. Santos Junior (Xoch.) Sr. Santos (Caltongo, Xoch.).

Por lo que se refiere a tejidos vegetales se analizaron plantas de acelga (*Beta vulgaris*) en distintos órganos; maíz (*Zea mays*) diversos órganos; en planta completa de pasto kikuyú (*Pennisetum clandestinum*) y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

A los resultados obtenidos de los análisis por espectrofotometría se les aplicó un tratamiento estadístico para determinar si existen diferencias significativas.

Los contaminantes determinados en esta Tesis se encuentran en el agua, suelo y planta (tejidos vegetales). Los metales pesados resultan especialmente preocupantes, por su carácter acumulativo en el medio ambiente y seres vivos que pueden entrar a la cadena alimenticia del ser humano.

En relación a las concentraciones de metales pesados en tejidos vegetales se encontró, tanto en las muestras de raíz de acelga como en hojas, que sólo el Pb rebasó en todas las muestras los límites permisibles, de acuerdo a NTE-CCAM-004/91, SEDUE.; J. Environmental Quality 4:123 (1975)

Solamente en la muestra de Agua Dulce, Mix., el cobalto rebasó los límites permitidos. Mientras que, en las muestras de acelga, el Cromo, Cobre, Hierro, Manganeso, Níquel y Zinc no rebasaron los niveles permisibles.

En las muestras de planta de maíz de los siete sitios, se obtuvieron concentraciones de Co y Pb para hojas y tallos (juntos); para hojas solas y para raíz, niveles por arriba de lo permitido. Con respecto a Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn no rebasaron los niveles permitidos.

Las muestras de planta completa de *Pennisetum clandestinum* en los cuatro sitios colectados dieron como resultado para Co y Pb niveles por arriba de los permitidos; el Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn dieron resultados por debajo de los permisibles.

En el caso de las muestras de tallos y hojas de plantas de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) tomadas en tres tanques diferentes, se encontró que sólo el Pb rebasó los niveles permitidos.

Para las muestras de suelos obtenidas en Xochimilco y Mixquic, se encontró que, salvo el Cd, todos los demás metales rebasan en mucho los niveles permitidos, observando que el Co en las capas superficiales presenta menores concentraciones y va aumentando hasta la profundidad de 120-130 cm, para disminuir después y aumentar nuevamente a la profundidad de 150-160 cm.

El Cr presenta menor concentración en las capas superficiales, una mayor concentración a los 70-80 cm la cual va disminuyendo hasta los 130-140 cm en que la concentración se vuelve a elevar.

El Cu se encuentra en concentraciones altas en las capas superficiales, disminuyendo un poco en las siguientes capas hasta aumentar en la capa 150-160 cm de profundidad.

En el caso de Fe la variación por estratos es cercana a la unidad, manteniéndose homogénea, pero siempre en concentraciones muy superiores a las permitidas.

El Mn guarda altas concentraciones en las capas superficiales, luego disminuye un poco para presentar la mayor concentración en la capa más profunda (150-160cm).

El Ni se encuentra en mayor concentración en la capa superficial, luego desciende y aumenta en la capa 50-60, disminuye en las siguientes y se vuelve a concentrar en las capas 100-110 y 110-120.

El Pb se encuentra en mayor concentración en la capa superficial y disminuye un poco hacia las inferiores.

El Zn mostró en la capa superficial alta concentración, disminuyendo un poco en las capas más profundas para localizarse la mayor concentración en las capas 140-150 y 150-160 cm.

De acuerdo a estos resultados se manifiesta que el recurso suelo es el más afectado por los metales pesados, ya que a excepción del Cd, el resto de los metales rebasan los límites permisibles.

En relación a las muestras de tejidos vegetales el Pb es el metal que rebasa los límites permisibles; sin embargo, la presencia de los otros metales estudiados es preocupante porque son elementos bioacumulables y capaces de entrar a la cadena trófica.

Por lo antes referido, se concluye que para mejorar las condiciones ambientales de la zona de trabajo, en primer lugar, el agua que aporten las plantas de tratamiento a los canales de Xochimilco y Mixquic, debe ser tratada completamente (tratamiento terciario), asegurando que no contenga metales pesados, ni sustancias tóxicas diversas. Asimismo, sería conveniente que los drenajes de las industria y los domésticos se manejaran por separado, así el tratamiento de cada tipo de agua sería más fácil.



## SUMMARY

Over the past six decades, the channel network in the lacustrine zone of Xochimilco have received water from treatment plants, which, because of its quality, produces contamination problems that affect this important region of the Basin of Mexico. This water is a mixture of the waste water produced in the home and industry of Mexico City.

The presence of such water has affected the flora and fauna both of the channels and chinampas, an also represents a risk for local population. Because of organoleptic substances such as manganese, detergents, oils, fats, minerals and phenols. Toxic substances like cyanides, arsenic, lead and mercury; and potential risk elements such as antimony, barium, cobalt and nickel.

This type of water is harmful to the soil and the native flora since it causes a high degree of salinity. Therefore, it is necessary to study carefully the use and distribution of this liquid.

For what has been said above, one could suspect contamination when specific substances reach concentrations easily measurable by their effects in men, animals, vegetables, soil and even in the atmospheric system. This is the case of waste water that feeds the channels and subsequently incorporates heavy metals, trace elements and other substances to the soil. In the present study, special attention has been paid to the toxicological potential of the following elements: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn.

Heavy metals and trace elements were determined using total concentration analysis by atomic absorption spectrophotometry, as described by USEPA (1973), and read in an atomic absorption device (Perkin Elmer 3100). These analyses were done in samples of water from: Cerro de la Estrella, San Luis, Tlaxialtemalco and Aculco treatment plants; El Hueso mixing plant and in various channels of Xochimilco. These metals were also analyzed in residual mud of the treatment plant of San Luis Tlaxialtemalco.

Regarding soil determinations, profiles were made in areas of: Bordo Canal Belén, (Xoch.); Mr. Juan Rosas (Puente Urrutia, Xochimilco.); Tabla 2 (Xoch.); Mr. Santos Junior (Xoch.) and Mr. Santos (Caltongo, Xoch.).

In reference to the plant tissue, various organs of spinach beet (*Beta vulgaris*), corn (*Zea mays*), kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) and common water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), were analyzed.

The results of the spectrophotometry analysis were submitted to statistical treatment to find if there were significant differences among them.

The contaminants determined in this Thesis can be found in water, soil and plant tissue. Heavy metals are of special concern, because of their accumulative nature in the environment and in potential human foodstuff.

It was found, regarding heavy metal concentration in plant tissue, that, in leaves and roots of spinach beet, only lead exceeded permitted limits, in accordance with NTE-CCAM-004/91, SEDUE.; J. Environmental Quality 4:123(1975). Only in the sample from Agua Dulce, Mix., cobalt exceeded the limits. While, in the same samples of spinach beet, the metals: chromium, copper, iron, manganese, nickel and zinc were in permitted levels.

In samples of corn from different locations, the concentration of cobalt and lead in leaves and blades, leaves and roots were above the permitted levels. That is not the case of manganese, nickel and zinc.

All the samples of *Pennisetum clandestinum* had high levels of Co and Pb, other metals (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn), were under the permitted limits.

In the case of blades and leaves samples, taken from common water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in three different tanks, only lead exceeded the permitted levels.

Among soil samples obtained in Xochimilco and Mixquic, it was found that, except for cadmium, all metals exceeded largely the permitted levels. It was observed that Cobalt presents lower concentrations on surface layers, and gradually increases down to 120-130 cm of depth, the decreases and increases again when the depth is 150-160 cm.

Chromium showed lower concentrations in the surface, a higher concentration at 70-80 cm of depth, which decreases down to 130-140 cm when it rises again.

Copper is in high concentration on surface layers and decreases a little in the subsequent layers, until depths of 150-160 cm, when its concentration increases again.

In the case of Iron, stratum variation is close to one and keeps its homogeneity, but always in concentrations much higher than the permitted.

It is Manganese the one that shows larger concentrations in surface strata, decreasing in the next layers and increasing again in the deepest stratum (150-160cm).

Nickel is in high concentration on the surface, then lowers, increases in layer 50-60 cm, lowers again and concentrates again in layers 100-110 y 110-120 cm.

Lead is high on the surface and lower in the next strata.

Zinc showed a high surface concentration which lowers slightly in the next strata and then rises to the highest concentration in layers 140-150 y 150-160 cm.

According to these results, it is manifest that the soil is the resource most affected by heavy metals, since most of them exceed permitted limits. In relation to plant tissue samples, lead concentrations are higher than the permitted levels. However, the presence of other metals is worrying, due to their bioaccumulative character and consequent capacity to enter the trophic chain.

In agreement to what has been said, it is concluded that is necessary to improve the environmental conditions of the area of study, and, to do that, the water

provided by treatment plants to the Xochimilco and Mixquic channels, must receive a complete treatment (tertiary treatment) ensuring that no heavy metals or other toxic substances are present. Also, it would be advisable that the industrial and household sewers were handled separately, thus making treatment of each type of water easier.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años la comunidad internacional ha puesto especial atención a los estudios sobre Conservación y Uso Racional del Agua, del Suelo y de los Recursos Naturales en diversos sectores.

América Latina y el Caribe pueden describirse como una región de abundantes recursos hídricos. La precipitación anual media es de 1 500 mm cerca del doble de pluviosidad media del mundo. Con sólo el 15 % de la superficie terrestre mundial, la región aporta el 31 % de la afluencia total de aguas a los océanos (BID, 1983). Sin embargo, el panorama resulta menos positivo si se observa la disponibilidad de agua por subregiones, países o regiones dentro de los países.

En México, las regiones desérticas y sobre todo las más densamente pobladas, presentan serios problemas de carencia de agua. Por lo cual el gobierno de nuestro país ha puesto interés en que las aguas residuales sean tratadas básicamente con un tratamiento primario y secundario, aunque lo deseable es que también se les diera el tratamiento terciario o sea la potabilización. Sin embargo, el sistema de drenaje del D.F. que reúne tanto aguas de uso doméstico como industrial, hace muy difícil su tratamiento, ya que se forman compuestos más complejos al mezclar estos tipos de aguas y así llegan a las plantas de tratamiento. En nuestro caso, nos referimos a las plantas tratadoras de Cerro de la Estrella y San Luís Tlaxialtemalco, que son las que mandan agua a los canales de Xochimilco, con la consecuente contaminación por materiales tóxicos como metales pesados, compuestos orgánicos, sintéticos y sales disueltas, (Alfaro y Orozco,1980); así mismo, han ocasionado la salinización de la zona de estudio.

Otro aspecto importante de las aguas residuales son el efecto negativo en la flora y fauna de los canales de Xochimilco, los suelos y los cultivos que se manejan en el área, (Balanzario, 1976), los aportes directos de drenajes de la población recientemente vecinada en las márgenes de los canales de esta zona lacustre, aumenta las concentraciones de microorganismos patógenos, jabón, detergentes y diversas sustancias químicas usadas en las casas.

Es preocupante que el agua que liberan ambas fuentes de contaminación se utiliza en la agricultura, debido a que se dispara un ciclo que se inicia con aporte de agua a los canales; que se utiliza para el riego; ocurre la sedimentación de los sólidos, y los agricultores periódicamente extraen los lodos del fondo de los canales para depositarlos en sus chinampas y finalmente se establecen los cultivos correspondientes.

Por lo antes expuesto se tuvo interés de cuantificar la concentración de algunos metales pesados y microelementos que diversas industrias aportan en mayor cantidad como son: minería de refinación, procesos químicos, acero y aleaciones, industria del cemento, tenería, tratamiento de madera, torres de enfriamiento, recubrimientos metálicos, fundiciones, petróleo, galvanizado, industria del papel, industria del hule, industria de los alimentos, industria de la maquinaria y otras.

Es conveniente tomar en consideración que México cuenta con una adecuada legislación en relación a los límites máximos permisibles para el uso de las aguas residuales, relacionando cantidad de organismos patógenos, límites de supervivencia de los mismos, cultivos recomendables y metales tóxicos, previniendo la contaminación de cultivos que tienen contacto directo con este tipo de aguas y que se consumen en fresco, (S.R.H. 1973-1975).

Esta legislación está correctamente planteada pero lo más importante es que su aplicación práctica sea una realidad. Para ello deben participar las comunidades involucradas e interesadas así como las autoridades para que las aguas que lleguen a los canales de Xochimilco provenientes de las plantas de tratamiento Cerro de la Estrella y San Luís Tlaxialtemalco se envíen en cantidad y calidad adecuadas. Para ello se debe aprovechar al máximo la capacidad instalada de las plantas de tratamiento de aguas residuales con que cuenta la zona metropolitana para que además de que los volúmenes tratados sean mayores, también se mejoren los métodos de tratamiento con el objeto de que se eliminen los metales pesados de esta agua así como otros materiales tóxicos y peligrosos; y, en los casos que no sea posible, las aguas que liberen las plantas tratadoras sean usadas para fines que nada tengan que ver con la producción de alimentos que consumirá el hombre.

Otro aspecto importante que sobre todo le corresponde a las autoridades, es la regulación del Uso del Suelo en el proceso urbanístico y que esta regulación sea debidamente legalizada y basada en una ordenación ecológica (sustentable y sostenible).

## CAPÍTULO I.

### I.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca de Xochimilco, es el último relicto de chinampería en la zona metropolitana de la Ciudad de México debido al avance de la mancha urbana.

Xochimilco fue antaño parte de un sistema lacustre formado por varios lagos que cubrían una extensión aproximada de 1 500 Km. cuadrados y que en la época de lluvias se extendía como un enorme vaso por prácticamente toda la cuenca de México. (“El Gran Lago de la Luna”). El paso de la vida de recolectores-cazadores a agricultores chinamperos fue progresivo y lento. Unos 15 mil años de poblados playeros desarrollaron poco a poco una agricultura más rica, según evidencias, se establecieron las chinampas. (Niederberger, C., 1987) (Serra, M. C., 1988).

Sus habitantes desarrollaron un “Sistema único de agricultura intensiva altamente productiva, formado por una sucesión de campos elevados dentro de una red de canales dragados sobre el lecho del lago”. (del Náhuatl: chinamitl seto o cerca de cañas o parcelas elevadas, o sembradío de flores), (Molina, F.A. de, 1970). Esto generó una producción agrícola intensiva de multicultivos. (West y Armillas, 1950). Sin embargo, a la fecha el deterioro de Xochimilco y su cuenca está muy avanzado, y se espera que con planes bien estructurados sobre el rescate ecológico, nos lleven a objetivos y beneficios concretos para la población humana de Xochimilco así como para el medio ambiente de la zona chinampera (Parsons J., 1982).

Desde el punto de vista cultural, el actual poblamiento de Xochimilco es muy rico, sus pobladores son herederos del Señorío de Xochimilco, fundado por una de las siete tribus nahuatlacas, entre el siglo X y el siglo XII, según diferentes autores. El Códice Ramírez dice que fue la primera tribu en peregrinar al Valle de México, y que salieron de Aquilazco en el año 820 d.C., fundando Xochimilco en el año 989, y absorbiendo culturalmente a los pueblos playeros que encontraron.

Posteriormente, con la ocupación española del Valle de México en el siglo XVI se consideró que era conveniente la existencia del área lacustre chinampera, pues aportaba gran cantidad de alimentos agrícolas, piscícolas y pecuarios para la Ciudad de México, (Enciclopedia de México, 1977) por tanto cuando los españoles estructuraron políticamente el territorio del valle, le dieron la categoría de Ciudad a Xochimilco en el año de 1559.

A pesar de diversos sucesos sociales y políticos desde la época prehispánica a la fecha aún quedan alrededor de dos mil hectáreas de chinampas de las 9500 que existieron (Parsons J., 1982), y los cinco pueblos que subsisten con chinampería son: Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, San Luís Tlaxialtemalco, Mixquic y Tlahuac. Algunas parcelas de propiedad ejidal (a la fecha modificada) y otras de propiedad particular permiten todavía una intensa vida agrícola, no obstante esto,

la región ha sufrido grave deterioro que afecta profundamente su sustentabilidad ecológica que pone en riesgo su capacidad para seguir siendo una zona verde productiva, húmeda, generosa y bella.

Un gran problema para la zona es el desbalance hídrico, el cual es enorme ya que el restablecimiento del equilibrio hidráulico de la Cuenca no ha sido posible ya que año con año la pérdida de agua es muy grande debido a que la recarga natural de los manantiales subterráneos ha disminuido y la extracción de agua de pozos ha aumentado.

El problema se agudiza por la contaminación que sufre el sistema de canales y chinampas a través de la descarga de 3 500 drenajes domésticos más los tóxicos disueltos que las aguas parcialmente tratadas en las plantas del Cerro de la Estrellas en Ixtapalapa y San Luis Tlaxialtemalco han aportado hacia el lago.

Ambas fuentes aumentan el nivel de contaminación por materia fecal (bacterias y virus diversos) y tóxicos (metales pesados) industriales en las aguas que llegan al lago. El suelo salino y poca o nula circulación del agua de los canales, ahora que sus manantiales no existen, junto con esa contaminación, agravan el efecto del estancamiento y ensalitramiento de las aguas con problemas de asfixia e intoxicación para los organismos del lago, fomentando vida acuática superficial, sobre todo por el fósforo reactivo, que también ayuda a asfixiar la vida del fondo de los canales por falta de oxígeno y sol.

Otro problema hidráulico son los hundimientos diferenciales que tienden a hacerse mayores sobre todo hacia la parte norte de la Delegación Xochimilco y el Poniente de Tlahuac.

Esto ha generado que las chinampas más al Sur como las de Mixquic y San Gregorio Atlapulco y en algunos otros lugares queden hasta tres o cuatro metros por arriba del nivel del agua de sus canales, lo que ha provocado que muchos de ellos se sequen o en el mejor de los casos mantengan cierto nivel por medio de esclusas. Al Norte ocurre lo contrario, las chinampas se inundan formando "lagunetas" disminuyendo la chinampería.

Cuando las aguas de desecho muestran contenidos altos de metales pesados y microelementos, resultan por demás peligrosos ya que se generan desequilibrios en relación con los nutrientes esenciales, originando problemas de toxicidad y deficiencia, que en condiciones críticas pueden alterar la cadena alimenticia y afectar la salud de los animales y en consecuencia la del hombre.

Anteriormente el uso de aguas negras en esta zona lacustre se consideraba positiva, ya que a los suelos de las chinampas le aportaban elementos esenciales para las plantas y las cosechas se incrementaban con los lodos usados, sin embargo, en los últimos años la productividad ha disminuido y se atribuye esto a que las aguas residuales contienen cada vez mayor cantidad de desechos industriales (Faud, 1991). Entre estos se encuentran metales pesados y

micronutrientes en concentraciones elevadas, así como gran cantidad de bacterias, virus y sales.

Los metales figuran en forma importante en varios tipos de reacciones de transferencia de electrones; los metales pesados difieren de los alcalinotérreos y especialmente de los metales alcalinos, en que los últimos son móviles y participan en actividades más dinámicas tales como el funcionamiento muscular y la conducción nerviosa.

Los metales pesados se han considerado como catalizadores y son constituyentes de varias enzimas, se pueden reemplazar entre metales en las enzimas, pero tal reemplazo puede ser con diferentes grados de eficiencia.



## CAPÍTULO II.

### II.1 REVISIÓN DE LITERATURA

1. Arcos Ramos, Raúl. Et al. (2002), este estudio se llevó a cabo en los canales de Xochimilco, trabajando 8 puntos de monitoreo, en los cuales se determinaron 11 parámetros físicos-químicos, además la evaluación de metales pesados. Respecto a metales pesados el Zn y Pb presentan un comportamiento heterogéneo dentro del sistema, y el Cd tiene un comportamiento contrario, estableciéndose la mayor concentración en las zonas aledañas a la zona urbana incluyendo ésta. El lirio acuático presentó la mayor absorción en raíz encontrándose 35.87 mg/kg para Zn; 2.29 Mg/kg para Pb y 0.39 Mg/kg para Cd y por lo tanto se estableció que el lirio es excelente bioacumulador de metales y potencialmente apto para utilizarlo en plantas depuradoras.

2. Báez Pedrajo, A. et al. (1982), en la zona de Lechería, Edo. Méx. realizaron determinaciones de cromo en suelos y vegetales, entre los vegetales analizados estuvieron plantas de maíz, frutales y ornamentales, cuyos niveles de Cr, en relación a los determinados en las plantas testigo son significativamente mayores. Se detectó la máxima concentración en las hojas debido a la contaminación del aire. Así mismo, la mínima concentración se determinó en granos de maíz debido a la baja traslocación del metal dentro de la planta.

3. Campos, H. (1986), los metales pesados como el mercurio (Hg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) por citar algunos presentes en toda forma de vida, son los responsables de una buena cantidad de anomalías fisiológicas en el hombre y animales, produciendo malestar en riñones, hígado y tracto digestivo, que provocan además, daños a nivel genético así como causar la muerte.

4. Cervantes, C. A. (1982), indica que el problema de las aguas residuales resulta ser más serio de lo que se piensa, ya que la descarga de aguas parcialmente tratadas ha traído como consecuencia la contaminación de cuerpos de agua como lagos, ríos, mantos freáticos y otros efluentes de agua natural.

5. Faud, (1991). En la actualidad, México enfrenta una disminución acelerada de la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los cuerpos hídricos susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento. El desarrollo acelerado del país ha propiciado un aumento en la extracción y consumo del vital líquido, lo cual ha acarreado una mayor generación de aguas residuales.

Establecen que tres son los factores principales de la contaminación del agua: el social, al cual corresponden las cargas de origen doméstico y público; el agropecuario, representado por los efluentes de instalaciones dedicados a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, así por las aguas de retorno de los campos agrícolas; y el industrial, manifiesto en las descargas producidas en el

desarrollo de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo.

6. Flores, G. A.; Cajuste, L. J. ( 1990), expusieron un estudio en el que afirman que al fraccionar las formas químicas de Pb y Cd en el suelo, se encuentra que el 70% del Pb y el 63% del Cd son fijados por el suelo, principalmente en forma de carbonato.

7. De acuerdo con Galván. (1983), la “calidad” del agua significa un conjunto de cualidades por lo que se manifiesta el modo de ser de la materia. Si el término se aplica al agua, se hace necesario definir el uso que se le va a dar a ésta, ya que la calidad tendrá un significado diferente si es para abastecimiento humano, agrícola e industrial.

El término calidad del agua se puede definir según un conjunto de parámetros que son: a) parámetros físicos; b) parámetros químicos; c) parámetros biológicos.

8. García, Z. A. M. et al. (1984), en un estudio realizado en los municipios de Tlaxcoapan, Tlathuelilpan y Atitalaquia en el Estado de Hidalgo, en donde irrigan con aguas residuales concluyeron que los suelos se encuentran contaminados principalmente por cadmio y cromo, ya que rebasan los límites permisibles.

9. Gómez-Álvarez, Agustín et al. (2004), realizaron un estudio de calidad de agua superficial del río San Pedro durante los años 1997 y 1999, desde su origen cerca de la ciudad de Cananea, Sonora, México hasta el límite con Estados Unidos de América. Analizaron el pH, la conductividad eléctrica, los sulfatos y los metales pesados totales: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn, utilizándose la metodología recomendada por la EPA y la CNA. El estudio en su etapa I se llevó a cabo durante el periodo febrero-noviembre de 1997, realizándose cuatro muestreos con periodicidad trimestral (febrero, mayo, agosto y noviembre) en la etapa II, realizada en los meses de abril y agosto de 1999, se hicieron únicamente dos muestreos. En ambas etapas se colectaron muestras de agua superficial en 8 estaciones de muestreo. Se comparó la calidad del agua superficial a través de los criterios ecológicos de Calidad de Agua de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE, 1989). Con base en los resultados obtenidos, se observó la presencia de valores elevados de algunos metales pesados totales (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), conductividad eléctrica y sulfatos; así como valores bajos de pH en ambas etapas, en las estaciones de muestreo más cercanas a la explotación minera, Dichos valores fueron superiores a los máximos permitidos establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua. En la Etapa I, la mayor parte de los parámetros evaluados presentaron los valores más altos en los muestreos realizados en mayo, agosto y noviembre de 1997, mientras que en la etapa II, se manifestaron en agosto de 1999. En orden de importancia, se encontró que la explotación minera de la región es la principal fuente de contaminación del río San Pedro. Las descargas de aguas negras sin tratamiento provenientes de la ciudad de Cananea, se consideran como la segunda fuente de contaminación más importante de este río.

10. González Flores, E. et al. (2009), efectuaron un estudio con muestras de lodos residuales producidos en una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la ciudad de Puebla (México). Estos biosólidos son utilizados para enmendar suelos agrícolas. La especiación de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) se realizó usando un procedimiento de extracción de extracción secuencial. El objetivo fue determinar las concentraciones en las fracciones biodisponibles. Se obtuvieron las concentraciones totales de metales pesados por medio de una digestión ácida en sistema cerrado y fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica. Las concentraciones totales fueron más bajas que los niveles máximos permisibles establecidos por la legislación mexicana.

Los metales pesados están asociados principalmente a la fracción mineral y a la materia orgánica y consecuentemente muestran muy baja biodisponibilidad.

11. González, G. C. (1991), determinó que el aprovechamiento más importante de las aguas residuales se tiene en las zonas agrícolas de los Valles del Mezquital y de México, que comprenden los Distritos de Riego 03 Tula, Hgo., 88 Chalco-Chiconautla y 100 Alfajayucan, México; otros distritos que aprovechan aguas residuales generadas en núcleos urbano-industriales son los Distritos 030 Valsequillo, Puebla; 028 Tulancingo, Hgo. y 09 Ciudad Juárez, Chihuahua; además de estos distritos se tiene el riego en zonas agrícolas aledañas a 53 ciudades, extendiéndose a 59 el número de ciudades en que se aprovecha el agua residual para riego.

12. Guillermo, A. (1982), define que el tratamiento de las aguas negras tiene como finalidad separar o descomponer la materia orgánica de manera que el producto final del proceso no permita el desarrollo de microorganismos patógenos y reducir a niveles permisibles las sustancias o elementos tóxicos.

13. Helal, H. M. et al. (1996), realizaron estudios de interacción salinidad-metales pesados, evaluados por análisis de suelos y plantas. La contaminación con metales pesados en zonas áridas de riego con aguas salinas se han incrementado especialmente en países en vías de desarrollo.

La absorción de Zn, Cu y Cd de un suelo desértico contaminado en el noroeste de Egipto ha sido evaluada en experimentos con maíz irrigado con soluciones de NaCl+CaCl<sub>2</sub>.

Determinan que el NaCl acelera la mortalidad de las raíces e incrementa las concentraciones de metales pesados en extratos de saturación de suelo y su absorción por el maíz irrigado con soluciones de NaCl+CaCl<sub>2</sub>. En contraste al NaCl el CaCl<sub>2</sub> la mortalidad de las raíces y la absorción de metales disminuye.

14. Hernández-Rossie, A. (1980), definió que una de las repercusiones más importantes que pueden traer el riego con efluentes tratados (por alto contenido de metales pesados), es la posibilidad de su transferencia a la cadena alimenticia, por la acumulación en los vegetales regados con aguas negras.

15. Hoenig, M.; R. Vanderstappen (1978), determinaron Cd, Cu, Pb, Zn y Mn en pastos por espectrometría de absorción atómica de flama en efectos de

mineralización. En el procedimiento de mineralización de material herbario adoptado para la determinación de metales pesados pueden ocurrir errores insignificantes. Hubo pérdidas en elementos debido a la insolubilización y la volatilización durante el secado a cenizas entre los procesos de mineralización por secado, sólo el método CII (Comité del Inter-Instituto para diagnosis foliar) comprende los requerimientos para un análisis correcto, evitando la insolubilización de elementos debido a la completa disolución de la muestra. En el caso estudiado, los fenómenos de insolubilización de elementos y volatilización se redujeron al mínimo por la mineralización del material herbario, mediante un procedimiento de oxidación húmeda con una mezcla de ácido sulfúrico-nítrico y peróxido de hidrógeno.

16. Horwath, R.; K. Prohaszka. (1979), estudiaron los efectos de las propiedades del suelo, las interacciones entre minerales específicos y la fibra cruda del contenido de nutrientes de los pastos. El alto contenido de nutrientes de los pastos. El alto contenido de carbonato de calcio disminuyó significativamente los contenidos de P, K, Mg y Mn de pastos para forraje. Un contenido favorable de fosfato en el suelo aumentó el contenido de Mo de las plantas probadas. El contenido de N de los pastos promovió la absorción de Cu y Mg. Una estrecha correlación positiva se encontró entre los contenidos de N y Cu; N y Mg; Mg y P de las plantas.

17. Hurtado y Sánchez. (1989), mencionan que las sales solubles pueden tener dos tipos de efectos sobre la planta en crecimiento: específicos, debido a los iones perjudiciales para la especie y generales ocasionados por el aumento de presión osmótica de la solución del suelo que rodea las raíces de las plantas. Entre los específicos se presenta en primer plano una sensible elevación del pH, causada por carbonatos, los cuales impiden la asimilación de los fosfatos, fierro, zinc y manganeso; así mismo la estructura del suelo se ve modificada dando lugar a una menor permeabilidad, pobre aireación y laboreo difícil.

18. Ibekwe. (1997), realizó un experimento a nivel invernadero utilizando *Rhizobium leguminosarum* y *Trifolium repens* (trébol blanco) para estimar los efectos de metales pesados en biosólidos sobre la contaminación y fijación potencial de nitrógeno de *Rhizobium leguminosarum* bajo dos regímenes de pH, y seis tratamientos de suelos. Encontrando que a bajo pH aumentó la fitotoxicidad de metales pesados enmendado con biosólidos. El *Rhizobium leguminosarum* se redujo en todos los tratamientos de pH bajo. Con el pH alto hubo más infectividad de *Rhizobium leguminosarum* y menor efecto de toxicidad de metales pesados.

19. Kabata y Pendias. (1992), estudiaron que la influencia y el papel metabólico de metales pesados en las plantas pueden ser caracterizados en relación a algunos procesos básicos tales como: adsorción y transporte dentro de la planta; procesos enzimáticos; concentraciones y formas de ocurrencia; deficiencia y toxicidad; competencia de iones de interacciones.

Estos autores dividieron los metales pesados en las funciones de los vegetales dentro de los siguientes grupos:

- A) Los incorporados dentro de materiales estructurales: Si, Fe y raramente Ba y Sr.
- B) Aquellos encontrados dentro de las moléculas pequeñas en la miscelánea, incluyendo antibióticas y porfirinas: As, B, Br, Cu, Co, Fe, Hg, I, Si y V.
- C) Los combinados con grandes moléculas, principalmente proteínas, incluyendo enzimas con propiedades catalíticas: Co, Cr, Cu, Mn, Fe, Mo, Se, Ni y Zn.
- D) Aquellos fijados por grandes moléculas de almacenamiento, transporte o funciones no conocidas: Cd, Co, Cu, Fe, Hg, I, Mn, Ni, Se y Zn.
- E) Aquellos relacionados a organelos u otras partes (mitocondrias, cloroplastos, algunos sistemas enzimáticos): Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn.

Los metales pesados están envueltos en forma clave en eventos metabólicos tales como: respiración, fotosíntesis, fijación y asimilación de algunos nutrientes mayores (N y S). Los metales traza de la transición grupo metal son conocidos como activadores de enzima o están incorporados dentro de las metaloenzimas. Como sistemas de transferencia de electrones (Cu, Fe, Mn, Zn) y también como catalizadores en cambios de valencia en el sustrato (Cu, Co, Fe, Mo) algunos papeles particulares de diferentes metales pesados (Al, Cu, Co, Mo, Mn, Zn), los cuales parecen estar involucrados en mecanismos de protección, de cubrir fuertemente y dar resistencia a sequía en algunas variedades de plantas (vegetales).

Otros efectos de toxicidad por metales pesados según estos autores, los describen de la siguiente forma:

1. Cambios en la permeabilidad de la membrana celular: Ag, Au, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb.
2. Reacciones con cationes de metales pesados como: Ag, Hg, Pb.
3. Competencia por sitios con metabolitos esenciales: As, Sb, Se, Fe, W, F.
4. Afinidad para reaccionar con grupos fosfato y grupos activos de ADP o ATP, Al, Sc.
5. Reemplazamiento de iones esenciales más fuerte con cationes mayores (S, Li, Rb, Se, Sr).
6. Ocupación de sitios para grupos esenciales, tales como fosfato y nitrato: arsenato, borato, bromato, selenato.

20. López de Juambelz, R. (1982) en el estudio que realizó en jitomates (*Lycopersicon esculentum* Willd.) que se desarrollaron sobre sustrato del basurero del Bordo de Xochiaca donde se analizó acumulación de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Pb, Zn) en los distintos tejidos de dicho vegetal y se encontró que existe una alta acumulación de Cu, Fe, y Zn en las partes vegetativas incluyendo la flor, pero que en el fruto, la concentración de cada uno de éstos, está por debajo de los niveles de toxicidad. Para el Cd se encontró que la acumulación se observa a través del daño en hojas y en la etapa de máximo crecimiento; también aparece en el tallo, rebasando los límites de toxicidad, en el fruto este elemento nunca fue

detectado; sin embargo, el Pb no se detectó, siendo que el suelo estaba saturado de este metal.

López de Juambelz, también realizó un análisis foliar en las plantas afectadas por el tránsito vehicular, donde se detectaron altas concentraciones de Pb concluyendo que la absorción de este metal es por vía foliar.

21. Lugo de la Fuente. (1984), indica que existen problemas de salinidad en Xochimilco, debido al alto contenido de sales de las aguas residuales que llegan a los canales de las plantas tratadoras de aguas negras y a la deficiencia en el sistema de drenaje.

El sodio en el agua de riego puede volverse un problema en la solución del suelo como componente de la salinidad total, aumentando la presión osmótica y el daño a las plantas.

El problema se genera por sus efectos sobre la estructura del suelo, la permeabilidad y la velocidad de infiltración.

22. Martínez. (1985), los mantos acuíferos son contaminados mediante los lixiviados que arrastran consigo solución y suspensión de gran cantidad de materia orgánica, componentes orgánicos de tipo alcalino, así como microorganismos.

23. Martínez. (1987), los parámetros físicos incluyen: los sólidos totales en suspensión que se define como la materia residual que queda al evaporarse el agua a una temperatura de 103-105<sup>0</sup>C, la temperatura, el color, el olor y otros.

Los parámetros químicos son la materia orgánica desintegrada o no, la materia inorgánica y los gases disueltos.

Los parámetros biológicos se componen de los microorganismos que viven en el agua.

24. Mascareño, C. F. (1974), el análisis al azar de algunos sedimentos de las muestras de aguas negras, reportó altos contenidos totales de cobre, fierro, manganeso, plomo y zinc.

25. Méndez, G. T. (1982), las aguas residuales de la Ciudad de México contienen altas concentraciones de detergentes, que son agentes surfactantes derivados de la molécula del tetrapropileno y se caracterizan por ser hidrofóbicos e hidrofílicos además de abatir la tensión superficial. El Alquil-aril-sulfonato (A.A.S.) considerado como el primer detergente sintético, fue sustituido por su alta higroscopicidad, por el alquil-bencen-sulfonato (A.B.S.) que es un detergente no biodegradable que desafortunadamente en México se sigue usando, mientras que en Europa, así como en EUA y Japón a mediados de los 50's se cambió la formulación de A.B.S., por un detergente biodegradable conocido como alquil-lineal-sulfonato (A.L.S.).

26. Mendoza, C. A. et al. (1996), indican que el Distrito de Desarrollo Rural 063 en el Estado de Hidalgo ha recibido aguas residuales sin tratamiento, provenientes de la Ciudad de México, las cuales han sido utilizadas como agua para riego agrícola, ocasionando depositaciones en suelos y sedimentos en esta zona, incluyendo

metales pesados que no son biodegradables y persisten por largos periodos de tiempo.

En este trabajo evaluaron las concentraciones biodisponibles de cuatro metales pesados: Cd, Co, Cr y Pb por espectrometría de absorción atómica, durante tres periodos de muestreo en el año de 1996.

Los resultados muestran un incremento en los niveles de concentración de Cd y Pb durante julio (2<sup>o</sup> periodo de muestreo), finalmente los datos de Cr presentaron un patrón irregular durante todo el año.

Las concentraciones encontradas en las muestras de agua analizadas representan un riesgo para la salud de los humanos y de los animales que lleguen a consumir los productos agrícolas producidos en esta zona.

27. Mendoza, H. (1981), indica que alfalfa irrigada con aguas residuales tiene más altas concentraciones de cadmio, cromo, selenio y zinc, que cultivos regados con aguas mezcladas y dulces. La introducción de metales pesados en la cadena trófica, la cual incluye al hombre, puede tener serias consecuencias.

28. Mense, H. A. (1979), utilizando riego por aspersión para probar la sobrevivencia y la eficiencia de pastos forrajeros como un mecanismo de concentración para los elementos de basura inorgánica en el lecho de un relleno municipal de basura sólida. Se aplicaron limo (0.67 ton/métricas/ha), roca fosfatada y superfosfato (cada uno en 112 ton/métricas/ha), en un diseño de bloques completamente estandarizado para pasto canario *Phallogis arundinacea*, L.; fistuca alto *Festuca arundinacea*, Schrel.; Cv K y 31 de pasto orchard *Dactylis glomerata*, L.; pasto bromo *Bromas inermes*, Leyss.; y para pasto bermuda *Cynodon dactylon*, (L) Pers. Cv Midland y Tufcote. Una solución filtrada se aplicó mediante boquillas aéreas rotatorias en aplicaciones semanales de 8 h del 22 de octubre de 1974 al 28 de abril de 1975. La aplicación total promedio cerca de 155 cm. El filtrado asperjado contenía cerca de 500 ppm de Ca; 100-200 ppm de Na, Fe y Cl; 50-100 ppm de Mn, K, Mg, y N; 2-5 ppm de Al, Sr, Zn y P y menos de 0.5 ppm de Ni, Co, Cr, Cu, Pb y Cd. El riego con la solución filtrada aumentó apreciablemente los niveles de Na, Fe, Mn, Cl y S y en todos los forrajes excepto el pasto orchard. El limo previno la acumulación de Mn significativamente y benefició la persistencia del forraje. El pasto canario contuvo generalmente los más altos niveles de la mayoría de los elementos y junto con el pasto bermuda fueron más tolerantes que otros pastos.

Las concentraciones de metales pesados fluctuaron de 0.1-0.3 ppm de Cd; de 1.0-1.5 ppm de Ni y Cr y arriba de 3.0 ppm de Pb y Co y fueron buenas bajo los límites de toxicidad para las plantas y animales.

29. Melo Sánchez, F. M. (2005), en su trabajo donde empleó la Espectroscopía de Absorción Atómica, la cual es una técnica muy empleada en el estudio cuantitativo de casi todos los elementos de la tabla periódica. Para este caso, específicamente en la determinación de metales pesados en aguas residuales (cromo y plomo) del Río San Javier. Se determinó que el metal en mayor concentración es el cromo; se conoce que la toxicidad del cromo produce efectos específicos a nivel celular, ya que pueden existir interacciones entre el metal y los

sistemas enzimáticos, membranas celulares, organelos y sobre el metabolismo celular en general. Con estos datos obtenidos se puede decir que las descargas del Río San Javier no cumplen con los límites permisibles de características químicas propuestas por la Comisión Nacional del Agua y por lo tanto representan un riesgo para el medio ambiente

30. Núñez, Adriana, et al. (2006), estudiaron la concentración de metales pesados que contienen, en este caso cadmio, plomo, níquel y aluminio en rábano (*Raphanus sativus* L.), Brócoli (*Brassica oleracea* L.) y calabacín (*Cucúrbita pepo* L. var *Italica*).

Para ello tomaron muestras en establecimientos localizados en el área metropolitana de Monterrey y analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica con digestión vía seca, obtuvieron que en cuanto al contenido de plomo, cadmio y níquel, todas las muestras presentaron una concentración por debajo del límite de detección del equipo, lo mismo sucedió con el aluminio en calabacín, sin embargo, una concentración considerable de este elemento fue detectada en rábano y brócoli. La agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos de Norteamérica, (EPA) recomienda un límite de 0.05 a 0.2 mg/l para aluminio en el agua potable. De acuerdo a esto las muestras de rábano y brócoli no están dentro de los límites establecidos, ya que se obtuvo una concentración de 3.32 mg/l y 3.53 mg/l respectivamente.

31. Prieto Méndez, Judith. et al. (2009), establecen que los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola radican principalmente, en que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, pueden resultar peligrosos. El presente trabajo resalta y destaca la sensibilidad relativa de algunas plantas a la presencia de los metales pesados y la tendencia a acumular los mismos, haciendo énfasis en los aspectos de relación con algunas de las características fisicoquímicas de los suelos y la fitotoxicidad por metales.

32. Puga, Soraya. et al. (2006), realizaron un estudio en la zona que se encuentra San Francisco del Oro, Chih, en el área de influencia de la presa Jales la cual es un área de confinamiento de los desechos de la industria minera, abarcó 3 km lineales en dirección de vientos dominantes a partir de la fuente de contaminación. Se extrajeron 30 muestras de suelo para análisis de concentraciones de metales pesados y de características físico-químicas a tres diferentes profundidades: 0-40, 40-60 y 60-80 cm en 10 sitios, la distancia entre sitios fue de 300 m. La concentración de metales se evaluó utilizando la técnica ICP, las muestras con pequeñas concentraciones se leyeron mediante absorción atómica. El análisis estadístico fue con modelos de regresión entre características físico-químicas, distancias, profundidades y concentraciones de metales pesados. Los resultados muestran que la mayor se da en sitios cercanos a los jales, disminuyendo la concentración a medida que se aleja de ellos. Todos los elementos sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales. El Arsénico se asoció con



distancia a la fuente y textura; el Cinc con distancia a la fuente y el Cadmio con la distancia a la fuente, pH y profundidad de suelo.

33. Ramos Bello, R.; Lenom J. Cajuste; David Flores Román; Norma E. García Calderón. (2001), indican que en la región chinampera se presenta un deterioro ambiental severo. Las chinampas son parcelas pequeñas (500 a 1000 m<sup>2</sup>) de suelo de forma rectangular circundadas por canales; y están en peligro de desaparecer debido al crecimiento urbano de la Ciudad de México. Las formas extraíbles de metales pesados en los tres sitios estudiados presentaron la siguiente secuencia: Pb>Ni>Zn>Cu>Cr>Cd. Los suelos estudiados presentan condiciones favorables para la agricultura, pero su principal limitación es su elevada salinidad y alcalinidad. Existe una correlación positiva entre el contenido de metales pesados disponibles y las propiedades físicas y químicas del suelo.

34. Ruzkowska, M. et al. (1996), realizaron un estudio durante cuatro años (1991-1994) con el fin de conocer los cambios en el contenido de oligoelementos presentes en el suelo de un experimento disimétrico.

Los elementos determinados fueron Mn, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Pb, Fe y B solubles en agua.

Las propiedades químicas esenciales de los suelos así como los flujos de los oligoelementos y metales pesados mencionados también fueron determinados. Algunas disminuciones en el contenido total del Mn e incrementos en el contenido de Pb y Co soluble en ETPA fueron determinados en 1994.

Dichos cambios no podrían ser explicados por medio del método de Balance. Los contenidos de oligoelementos y metales pesados, Mn y algunos otros dependen en cierto grado de la reacción del suelo. La solubilidad de los metales pesados y oligoelementos mencionados aumentaron sus valores a pH bajos y decrecieron en suelos limosos.

35. Seoanez. (1978), indica que antes de nuestra era se utilizaron los vertidos de los núcleos urbanos en el riego de parcelas agrícolas de algunas polis-griegas; así en la mayoría de las pequeñas y medianas agrupaciones humanas en las que se ha practicado la agricultura, ha sido y es frecuente el uso directo de las aguas residuales en el riego de cultivos hortícolas de áreas periurbanas con resultados diversos. Se tiene conocimiento concreto del uso agrícola de las aguas residuales en Bunzlan (Alemania) a mediados del siglo XVI; en Augusta (USA) en 1872; en Melbourne (Australia) en 1883; en México (Capital) en 1902; en Paris en 1923.

No obstante, las ventajas del uso de aguas negras en la agricultura, en la actualidad debido a la industrialización, la composición de las aguas negras en los últimos años ha venido sufriendo variaciones o degradaciones en su calidad con fines de riego, esto se debe a que varias industrias descargan sus desechos al drenaje y contaminan las aguas con gran cantidad de elementos tóxicos y nocivos, como las sales solubles, detergentes del tipo "ABS" (alquil-benceno-sulfanatos), boro, metales pesados y otras sustancias dañinas procedentes en su mayoría del uso con fines domésticos que se vierten a los alcantarillados municipales.

36. Seoanez. (1978), señala que el comportamiento de los metales pesados también depende de su asociación con otros compuestos y su estado químico, así tenemos por ejemplo, que el cobre, níquel, zinc, cadmio, plomo y cobalto, se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácido pueden estar como cationes divalentes y en los suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el fierro, aluminio, cobalto, magnesio y de esta forma quedan retenidos en el suelo; el cromo se reduce u oxida quedando en el suelo como un precipitado insoluble.

37. Soldevilla, M. et al. (1987), indican la influencia de una explotación de sulfuros metálicos de minas en las aguas del río Guadamar, y en los sedimentos. Suelos y tres especies de plantas hortícolas (*Mentha rotundifolia*, *Holoschoenus vulgaris*, y *Typha latifolia*) se estudiaron de sus bancos.

Aguas abajo de la mina, el contenido de metales pesados del agua, suelos, sedimentos y plantas fue superior al correspondiente de una zona no contaminada aguas arriba de la influencia de la mina.

La contaminación por metales pesados decrecieron en relación a la distancia aguas abajo de la mina.

Los sedimentos y la contaminación por metales pesados del suelo no sólo dependen de la distancia a la fuente de contaminación, sino en el caudal de los ríos y la naturaleza de los efluentes.

En general, *Mentha rotundifolia* y *Typha latifolia* presentan mayor tendencia a la acumulación de metales pesados que *Holoschoenus vulgaris*.

38. S.R.H. (1973-1975), informa que en 1963 en el Gran Canal, se tenía una calidad de agua muy semejante a la calidad promedio para efluentes domésticos y municipales, es decir altos valores de nutrimentos y detergentes y bajas concentraciones de metales pesados, ahora se tiene exactamente lo contrario.

Para 1985, las aguas negras se habían deteriorado mucho debido a las crecientes aportaciones de efluentes industriales, como a la fecha lo demuestra el desmedido aumento en la concentración de sólidos y metales pesados. Fueron observados en leche, contenidos de plomo que superan lo permisible, notándose igualmente elevados contenidos de este elemento en forrajes.

39. Tejeda, G. C. (1991), comentó la experiencia del riego con aguas residuales en el Valle del Mezquital, en el actual Distrito de Desarrollo Rural 063, en el Estado de Hidalgo que comprende los Distritos de Riego 03 y 100, señalando que en el primer Distrito se presentan problemas de contaminación microbiológica de productos regados con aguas residuales y que no se han identificado grandes problemas de contaminación en suelos por metales pesados debido al alto pH del suelo, las gruesas láminas utilizadas en el riego, que permiten lixiviación de los contaminantes solubles y las propiedades internas del suelo.

40. Torres Morales, J. C. (1992), informa que cuando por medio de la irrigación con aguas residuales los metales pesados son incorporados al suelo, pueden ser tomados por los cultivos, lixiviados hasta llegar a los mantos acuíferos, o bien

quedar fijados fuertemente a la matriz del suelo. El camino que sigan dependerá del tipo de elemento y su estado químico; del pH, contenido de materia orgánica del suelo y de su capacidad de intercambio catiónico, entre otras características. El comportamiento de diversos elementos dependerá de su asociación con otros compuestos y su estado químico; así por ejemplo el cobre, zinc, cadmio, plomo y cobalto se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácido pueden estar como cationes divalentes y en suelos neutros a alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el hierro, aluminio, cobalto, manganeso y de esta forma queda retenido en el suelo como precipitado insoluble.

41. Torres Morales, J. C. (1992), en la evolución de concentración de metales en el suelo en los Municipios de Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec, en el Estado de Morelos, irrigados con aguas residuales concluyó que los suelos presentaron altos niveles de zinc, le sigue en importancia el hierro y finalmente el plomo, cadmio y cromo.

42. Valdés Perezgasga, F. (1999), considera que los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos.

Recientemente, ha llamado la atención de la prensa internacional y nacional el caso de envenenamiento por metales pesados entre la población infantil de Torreón, Coahuila, en el Norte-Centro de México. Este problema había sido estudiado y denunciado desde hace veinte años por diversas instituciones y grupos ambientalistas.

El problema en la Ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos, sino a que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa.

El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la Ciudad de Torreón.

### CAPÍTULO III.

#### ALGUNOS ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La chinampa es la integración de los sistemas acuáticos y terrestres y la podemos considerar un agroecosistema que es manejado por el hombre y conserva los atributos similares a un sistema natural.

En la actualidad los principales problemas que enfrenta la práctica agrícola en toda la chinampería de Xochimilco deriva fundamentalmente de la escasez de agua y de su mala calidad para uso del riego, así como por el crecimiento demográfico, el ensalitramiento y sodización de las chinampas y la contaminación química y biológica debido a la descarga de aguas negras y a la gran cantidad de fertilizantes y estiércoles que se utilizan.

Con prácticas de rehabilitación adecuadas se convertirá nuevamente en un importante centro de producción de alimentos y/o especies ornamentales además de una reconocida caracterización de la zona turística y de recreación. (Canabal et al., 1988)

En San Gregorio, Xochimilco las chinampas tienen superficie promedio de 1000 m<sup>2</sup>, en Mixquic son áreas menores de 500 a 900 m<sup>2</sup>, pero en general las chinampas son de forma rectangular.

La zona chinampera de San Gregorio Atlapulco data del periodo postclásico (1200-1440 D.C.) lo que da una idea de la gran experiencia en el manejo de este agroecosistema; esta experiencia en el manejo de este agroecosistema, se refleja en la alta producción de este sistema debido al manejo integral, sostenido e intensivo que se realiza.

La zona chinampera de San Gregorio Atlapulco y Xochimilco (palabra nahuatl que significa sembrera o sembradío de flores) fue antaño parte de un gran sistema lacustre formado por cinco o seis lagos (según la clasificación) que cubrían una extensión aproximada de 1 500 km<sup>2</sup> y que en época de lluvias se extendía como un enorme vaso por prácticamente toda la Cuenca de México. Sus habitantes desarrollaron un "Sistema único de agricultura intensiva altamente productivo, formado por una sucesión de campos elevados dentro de una red de canales dragados sobre el lecho del lago. (Ezequiel Ezcurra, 1990). Esto fue posible porque "a las orillas de estos lagos había zonas poco profundas donde crecían muchas plantas acuáticas y se formaban zonas pantanosas". Este sistema y los vínculos comunitarios que reforzaba, se anclaban en una ciclicidad agrícola-religiosa propia de los poblados Náhuatls que le dieron vida.

La construcción de las chinampas o parcelas elevadas seguían pasos muy precisos. Buscaban primero un "cimiento" en el fondo lacustre, una base más alta que la general. Marcaban entonces el sitio con estacas visibles fuera del agua. Moldeaban el contorno subacuático zanjeando el fondo, y el lodo extraído con palas largas se echaba sobre el cimiento. Después recogían *atlapalacatl*, gruesa capa de plantas que crecían en el agua, como el tule, el lirio, el zacatón y el chichicastle.

Esta maraña de raíces y tallos formaban un colchón flotante que cortaban y acomodaban en tiras superpuestas por capas encima del lodo zanjeado. Encima volvían a apisonar “lodo del fondo y tierra acarreada de chinampas antiguas que necesitaban ser rebajadas. Con lodo y suelo formaban una capa que sobresalía del agua de treinta a sesenta centímetros”.

La chinampa se concretaba poniéndole retenes: ahuejotes plantados en las orillas bordeando la chinampa. Los ahuejotes eran o son útiles porque desarrollan raíces extensas que atenazan y afirman la chinampa al fondo, y porque su copa crece recta, sin arboraciones laterales; esto permite a la parcela recibir la luz del sol y frenar la acción del viento. El sistema era ideal por la humedad continua que recibía del subsuelo. El resultado fue una cultura de producción intensiva, de multicultivos, cuyo caudal canalero fluía de los manantiales alimentadores del sistema, recirculando el agua.

Estas chinampas sí “flotaban” en su sitio un tiempo y se iban compactando poco a poco.

Se dice que en buenas condiciones, la tierra de una chinampa podía trabajarse con herramienta de madera. (Jaime Aguilar, 1982).

## **Cultivos.**

### **III.1 Cultivos Nativos:**

Estudios palinológicos han demostrado que el cultivo exclusivo fue la alegría (*Amaranthus leucocarpus* S. Wats.) posteriormente maíz (*Zea mays* L) que tuvo también gran influencia religiosa, siguieron el jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), frijol y ejote (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.), chíca (*Salvia hispánica* o *Hyptis suaveolens* Pot), chayote (*Sechium edule* [Jacq] Sw., chilacayote (*Cucurbita ficifolia* Couche), calabacita (*Cucurbita pepo* L, *Cucurbita mixta* Pang y *Cucurbita maxima* Duch ), chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum frutescens* L.), flor de muerto (*Tagetes patula* L.), uauhzontle (*Chenopodium nuttaliae* Saff), quelites (*Amarantus* sp, *Chenopodium* sp *Porophyllum* sp, y *Rumex* sp), romerito (*Suaeda torreyana* Wats). (Ojea, 1897) (Alzate, 1831).

### **III.2 Cultivos Europeos:**

Especies que fueron incrementando la producción en Xochimilco:

Pepino (*Cucumis sativus* L.), coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.), col de brucas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera* L.), alcachofa (*Cynara scolymus* L.), acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.), cilantro (*Coriandrium sativum* L.) perejil (*Petroselinum crispum* Hoffm), betabel (*Beta vulgaris* var. *Crassa* Alef), apio (*Apium graveolens* L.), nabo (*Brassica napus*), rábano (*Raphanus sativus* L.), poro (*Allium porrum* L), zanahoria (*Daucus carota*), salsifi (*Tragopogon porrifolius*), papa (*Solanum tuberosum*), lechuga (*Lactuca sativa* L), ajo (*Allium sativum* L), espinaca (*Spinacia oleracea* L.) ( West y Armillas 1950), (Ballinas, 1990).

### **III.3 Hierbas de Olor.**

Menta (*Mentha piperita* var *officinalis*), Ruda (*Ruta graveolens* L), Hierbabuena (*mentha sativa* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.), Albahaca (*Ocimum*

*basilicum*), Manzanilla (*Matricaria chamomilla*), Malva (*Malva sp.*), Tomillo (*Thymus vulgaris* L.), Orégano (*Origanum vulgare*). (West y Armillas 1950).

#### **III.4 Cereales.**

Trigo (*Triticum aestivum*), cebada (*Hordeum vulgare* L), alverjón (*Pisum arvense* L), haba (*Vicia faba* L), lenteja (*Lens culinaris*). (Santamaría 1912, West y Armillas 1950).

#### **Flores**

##### **III.5 Nativas e Introducidas.**

Alhelí (*Matthiola incana* L.), nube (*Gypsophila paniculada* L.), pincel (*Centaurea cyanus*), chícharo (*Lathyrus odoratus* L.), violeta (*Viola odorata* L.), clavel (*Dianthus caryophyllus*), flor de muerto (*Tagetes patula* L.), amapola (*Papaver somniferum* L.) prohibido su cultivo a principios de los 30`s, espuela de caballero (*Delphinium ajacis*), imperial (*Centaurea imperiales*), aretillo (*Fuchsia fulgens*), nardo (*Polianthes tuberosa*), pensamiento (*Viola tricolor* L. var. *Hortensis*), alcatraz (*Zantedeschia sp.*), dalia (*Dahlia coccinea* Cab, *D. pinnata* Cab, *D. lehmannii* Hieron), crisantemo (*Chrysanthemum sp.* L.), rosa (*Rosa sp* L.) mercadela (*Calendula officinalis* L.), agazania (*Gazania sp*), tuberosa (*Begonia tuberosa*), petunia (*Petunia hybrida*), ester (*Aster sp.*), chino (*Impatiens sultani*), vara de san José (*Althaea rosea*), panalito (*Alysum maritimum*), azucena (*Lilium candidum* L.), gladiola (*Gladiolus sp.*), lirio (*Iris spuria*), margarita (*Callistephus chinensis* L.), nomeolvides (*Myosotis sylvatica*). (Santamaría 1912, Alzate 1831).

##### **III.6 Vegetación Acuática y Tolerante a Inundación.**

Ahuejotes (*Salix bomplandiana*), aile (*Alnus acuminata*), lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), ombligo de venus (*Hydrocotyle renunculoides*) o (*Limnobium stoloniforme*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), chichicastle o lentejilla (*Wolfia gladiata*) o (*Certophyllum demersum*), tule o española (*Thypha spp*), hojas flechadas (*Sagittaria lancifolia*) y (*Sagittaria macrohyla*), alcatraz (*Zantedeschia aethica*), rumex o lengua de vaca (*Rumex crispus*), zacate robusta (*Enchinochloa cruspavonia*), zacate rastrero o pata de gallo (*Cinodon dactylon*), zacate criollo (*Hordeum adscendens*), carrizo (*Gynerium sagittatum*), trueno (*Ligustrum lucidum* Ait), tamariz (*Tamarix sp.*), casuarina (*Casuarina sp.*). (Quiroz, 1980).

##### **III.7 Vegetación de Relieve Elevado.**

Pino (*Pinus sp*), cedro blanco (*Cupresus sp.*), ahuehuete (*Taxodium sp.*), encino (*Quercus sp.*), madroño (*Arbutus sp.*), tepozan (*Buddleia sp.*) (Rzedowski, 1975, 1981).

##### **III.8 Vegetación de Lomeríos.**

Capulín (*Prunus serotina* var. *capuli*), eucalipto (*Eucaliptos sp.*), pirú (*Schinus molle*) (Rzedowski, 1981).

##### **III.9 Frutales.**

Tejocote (*Crataegus pubescens Stead*), aguacate (*Persea* sp.), ciruelo (*Prunus domestica*), higo (*Ficus carica*), chabacano (*Prunus armeniaca*), durazno (*Prunus persica*), membrillo (*Cydonia oblonga*), higo (*Picus carica*), granada (*Punica granatum*), olivo (*Olea europaea*), cítricos (*Citrus* sp.). (Santamaría 1912)

## **CAPÍTULO IV.**

### **ANTECEDENTES DE LA ZONA LACUSTRE DE XOCHIMILCO**

#### **IV.1 Hidrografía.**

A la llegada de los españoles en la Cuenca de México existía un extenso cuerpo de agua conformado por los siguientes lagos: en el norte Zumpango, Xaltocan y San Cristóbal; en el centro México-Texcoco y en el sur Chalco-Xochimilco. La mayor parte de los ríos de la cuenca son de carácter torrencial con avenidas de corta duración a veces peligrosas. (Jáuregui, 1987), (Balanzario, 1982).

Al sur de Xochimilco había importantes infiltraciones que aún afloran al pie de la Sierra.

Otro aspecto importante que ha influido en las condiciones ecológicas de los canales del Lago de Xochimilco fue la decisión del Gobierno Federal de mandar las aguas negras a las que se le hace un tratamiento incompleto que no se les quita sales, contaminantes pesados ni todos los microorganismos patógenos que llegan a Xochimilco causando malos olores y matando vegetación y animales que se encuentran en los canales, este hecho ha ido disminuyendo el rendimiento de todos los productores de la agricultura. (Ballinas, 1990, Chanlett, 1976).

Muchos agricultores de las chinampas de Xochimilco han prestado sus chinampas a otros agricultores o bien algunos otros tienen que dejar de cultivar. Muchos de los que continúan cultivando han dejado de sembrar hortalizas porque ya es incosteable. Prefieren dedicarse a producir plantas de ornato que tienen un precio más alto y con amplio mercado en la Ciudad de México.

Por lo que se refiere al agua, ésta proviene de tres fuentes principales: durante la temporada de lluvias de la precipitación pluvial directa y de los escurrimientos torrenciales y finalmente de las aguas tratadas.

Desafortunadamente el agua de los torrentes y las aguas negras constituyen serios problemas para la chinampería, la primera provoca por un lado, el paulatino ensalitramiento de los suelos debido a la falta de drenaje de esas aguas y la imposibilidad de lavado del suelo y por otro lado el incremento de la población de las riberas de los torrentes, llegan a los canales acarreado basura y aguas negras. (Canabal et al. 1989).

El agua tratada en la planta del Cerro de la Estrella por su parte, presenta una alta concentración de contaminantes por que se trata de un proceso no muy eficiente.

Además de que se añaden más aguas no tratadas de los Barrios Xochimilquenses ya que muchos de ellos carecen de drenaje (recorridos del autor).

En 1959, se construyó la primera etapa de la planta tratadora, con capacidad de 400 l/seg. En 1967 el Departamento del Distrito Federal consideró conveniente ampliar a 1200 l/seg. y los expertos consideran que así se podría mantener el nivel de las aguas del Lago de Xochimilco.

Los problemas mayores de los países en vías de desarrollo son los originados por la pobreza y la falta de desarrollo de sus sociedades. Por lo que se refiere al Medio Ambiente, en estos países se hace más estricto el compromiso de lograr un desarrollo urbano y social, con nuevas dimensiones al concepto de desarrollo, con el objetivo del crecimiento económico tal como sería la elevación del Producto Nacional Bruto.

## **IV.2 Orografía**

Las sierras de que está rodeada la cuenca son: al Este la Sierra Nevada; al Oeste la Sierra de las Cruces; al Sur la Sierra de Chichinautzin y al Norte las Sierras de Pachuca y Tezontlalpan. (Mooser, F. 1987).

## **CAPÍTULO V.**

### **SUSTANCIAS CONTAMINANTES.**

También el aire, el agua, el suelo y los alimentos contienen una gran variedad de materias extrañas y en ese sentido, está siempre presente el potencial de la contaminación, (Cabello, 1990, Balanzario, 1976). Una sustancia puede ser considerada contaminante simplemente porque esté en un lugar erróneo, en tiempo erróneo y en una errónea cantidad.

Cuando se dice que un material está contaminando, se está haciendo un juicio acerca de la cantidad y calidad del material contaminante que contiene los contaminantes pueden afectar al ser humano directa o indirectamente.

Entre los efectos directos se pueden determinar los siguientes:

1. Efectos agudos que la exposición a un contaminante tóxico ataca al hombre a través de aire, agua o alimento.
2. Efectos crónicos debido a la exposición de contaminantes que ocasionan efectos tóxicos.
3. Efectos agudos o crónicos debido a la acción sinérgica entre contaminantes o entre un contaminante y otro factor como subnutrición o enfermedades de otro tipo.
4. En efectos genéticos que un contaminante puede inducir en las células germinativas de un individuo expuesto con manifestaciones en sus descendientes.

Los efectos indirectos sobre el hombre pueden resultar de la reducción en el abastecimiento de los alimentos, deterioro del hábitat o alteración del clima, tales efectos incluyen:



Además de que se añaden más aguas no tratadas de los Barrios Xochimilquenses ya que muchos de ellos carecen de drenaje (recorridos del autor).

En 1959, se construyó la primera etapa de la planta tratadora, con capacidad de 400 l/seg. En 1967 el Departamento del Distrito Federal consideró conveniente ampliar a 1200 l/seg. y los expertos consideran que así se podría mantener el nivel de las aguas del Lago de Xochimilco.

Los problemas mayores de los países en vías de desarrollo son los originados por la pobreza y la falta de desarrollo de sus sociedades. Por lo que se refiere al Medio Ambiente, en estos países se hace más estricto el compromiso de lograr un desarrollo urbano y social, con nuevas dimensiones al concepto de desarrollo, con el objetivo del crecimiento económico tal como sería la elevación del Producto Nacional Bruto.

## **IV.2 Orografía**

Las sierras de que está rodeada la cuenca son: al Este la Sierra Nevada; al Oeste la Sierra de las Cruces; al Sur la Sierra de Chichinautzin y al Norte las Sierras de Pachuca y Tezontlalpan. (Mooser, F. 1987).

## **CAPÍTULO V.**

### **SUSTANCIAS CONTAMINANTES.**

También el aire, el agua, el suelo y los alimentos contienen una gran variedad de materias extrañas y en ese sentido, está siempre presente el potencial de la contaminación, (Cabello, 1990, Balanzario, 1976). Una sustancia puede ser considerada contaminante simplemente porque esté en un lugar erróneo, en tiempo erróneo y en una errónea cantidad.

Cuando se dice que un material está contaminando, se está haciendo un juicio acerca de la cantidad y calidad del material contaminante que contiene los contaminantes pueden afectar al ser humano directa o indirectamente.

Entre los efectos directos se pueden determinar los siguientes:

1. Efectos agudos que la exposición a un contaminante tóxico ataca al hombre a través de aire, agua o alimento.
2. Efectos crónicos debido a la exposición de contaminantes que ocasionan efectos tóxicos.
3. Efectos agudos o crónicos debido a la acción sinérgica entre contaminantes o entre un contaminante y otro factor como subnutrición o enfermedades de otro tipo.
4. En efectos genéticos que un contaminante puede inducir en las células germinativas de un individuo expuesto con manifestaciones en sus descendientes.

Los efectos indirectos sobre el hombre pueden resultar de la reducción en el abastecimiento de los alimentos, deterioro del hábitat o alteración del clima, tales efectos incluyen:

1. Reducción de abastecimiento de alimentos cuando un contaminante mata plantas comestibles y animales, lo que los hace impropios para el consumo, (Hernández y Flores, 1985), (Equiarte, 1985).
2. Eliminación con un plaguicida de enemigos naturales de una especie perjudicial, permitiendo su proliferación y convirtiéndose en plagas.
3. Daño al habitat humano por la contaminación del aire que destruye bosques, áreas verdes por la construcción de edificios, por los aceites que destruyen las playas y residuos líquidos industriales que convierten en inútiles las aguas interiores para varios fines.
4. Alteración del clima global de la tierra por una serie de causas convirtiéndose en una amenaza futura mucho más peligrosa que el efecto nocivo actual.

El agua es un líquido insustituible para la vida.

Las sustancias del agua pueden incidir en la salud humana de distintas maneras:

- a) Sustancias normales en el agua, pero que en exceso pueden representar un riesgo para la salud humana. Por ejemplo: los nitratos.
- b) Sustancias que por su presencia pueden impedir que el agua sea apta para el consumo, debido a la variación de las características organolépticas. Por ejemplo: manganeso, detergentes, aceites minerales, grasas, fenoles.
- c) Sustancias tóxicas, que por su sola presencia suponen peligro. Ejemplo: el cianuro, el arsénico, el plomo, el mercurio.
- d) Sustancias que para la comunidad constituyen sólo un riesgo potencial. Ejemplo: el antimonio, el bario, el cobalto, el manganeso y el níquel.

Es importante considerar que la contaminación del agua no afecta a una sola zona y que el control de contaminantes del agua es complejo y costoso.

La zona chinampera de Xochimilco presenta en los canales agua con un grado muy alto de contaminación. La contaminación varía en relación a la distancia de las plantas tratadoras, de la distancia del centro de población, de la extracción de lodos del fondo de algunos canales por parte de algunos campesinos, para uso como abono en sus parcelas, esto trae como consecuencia que se incremente la contaminación del suelo.

En forma global, la contaminación se da porque la recarga de los canales se hace con aguas negras tratadas con un proceso secundario y que provienen del Río Churubusco, Colector Aculco, Plantas Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco.

Las aguas que se usan para riego son negativas tanto para el suelo como para la población desde el punto de vista de la Salud Pública ligado a esto está la producción de vegetales comestibles para el hombre, que cuando son consumidos por él, trae las consecuencias correspondientes para su salud.

Existe contaminación cuando determinadas sustancias alcanzan concentraciones que pueden medirse por sus efectos en el hombre, los animales, los vegetales, los objetos inanimados y en el mismo sistema atmosférico.

Otro concepto es que la atmósfera está contaminada cuando se producen efectos que perjudican a la salud del hombre a sus medios de supervivencia o a sus propiedades.

Los contaminantes pueden dividirse en dos grupos, los principales constituyen propiamente la contaminación común y los menores que son producto de determinados procesos:

- a) Partículas sólidas
- b) Compuestos de azufre
- c) Compuestos de carbono (principales contaminantes).
  - Compuestos de Nitrógeno:
    - Hidrocarburos.
    - Oxidantes fotoquímicos.
- d) Poluciones fotoquímicas: Derivados de Plomo.
  - Derivados de Mercurio.
- e) Contaminantes menores: Derivados de amianto (mineral sedoso del asbesto)
  - Derivados de ácido fluorhídrico.

Cuando las aguas residuales se incorporan al suelo, los metales pesados pueden ser removidos por los vegetales, lixiviados por las aguas que llegan a los acuíferos o a las aguas superficiales, o pueden quedar fuertemente retenidos en las partículas finas del suelo.

Se consideran como metales pesados el cobre, zinc, cadmio, plomo, níquel, cobalto, cromo, mercurio selenio y arsénico. La cantidad presente en las aguas residuales dependerá de varios factores, pero principalmente de si el residuo es doméstico o industrial, (Chanlett, 1976), en general los residuos domésticos llevan una concentración muy baja de metales pesados, si es que los contienen, y las aguas de desecho industrial suelen contener elevadas concentraciones de uno o varios de ellos, dependiendo del tipo de industria de que se trate.

El camino que sigan dependerá del tipo de metal y de su estado químico, del pH y contenido de materia orgánica del suelo y de capacidad de intercambio catiónico, entre otros factores (Lager, Werff and Brown, 1973, Seoanez, 1978).

Los metales pesados son esenciales para cualquier forma de vida pero se les requiere en pequeña cantidad. La disponibilidad de los metales para las plantas y su movilidad, a través del suelo, depende de la interacción con otros compuestos y de su estado químico. Por ejemplo: el Cu, Ni, Cd, Pb y Co; se comportan en forma similar en los suelos; en los suelos ácidos pueden existir como cationes divalentes o en los suelos neutros o alcalinos pueden estar combinados con los iones hidroxilos o con otros metales; tal es el caso del arsénico que se combina con los iones Fe, Al, Co y Mg; y de esta forma quedan retenidos en el suelo, el cromo generalmente se reduce u oxida, quedando en el suelo como un precipitado insoluble. (Torres, M. 1992, Seoanez, 1978).

El pH juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados en el suelo, generalmente, a medida que el pH decrece se incrementa la solubilidad en el suelo; cuando el pH aumenta, se reduce la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo. (Torres, M. 1992), (Seoanez, 1978).

En general los suelos no contienen concentraciones apreciables de metales pesados.

Al aplicar aguas residuales con altos contenidos de estos metales, su concentración se incrementará tanto que, de acuerdo con los principios generales del comportamiento biológico, pueden resultar tóxicos, tanto a los microorganismos del suelo, como a los cultivos, (Mendoza, H. 1981). Sin embargo, en la mayoría de los casos esto no sucede, sobre todo cuando se aplican aguas residuales domésticas, debido a que los metales pesados quedan retenidos en la materia orgánica o arcilla que contienen los suelos o simplemente se transportan a regiones más profundas, inclusive hasta llegar a las aguas subterráneas.

Por otra parte, la remoción de los metales pesados por las plantas puede ser significativa y dependerá de la capacidad que tengan los cultivos para remover y acumular metales pesados. Esta capacidad varía entre las especies de cultivo y entre las partes de la planta en que se acumulen, trátase de hojas, tallos, raíces, frutos y semillas. El que la acumulación llegue a niveles fitotóxicos dependerá, además de lo anterior del agua en que se dispongan las aguas residuales y del nivel acumulación.

En realidad, el peligro mayor que pueden presentar los metales pesados contenidos en las aguas residuales usadas para riego, es que pueden acumularse en los cultivos y entrar en la cadena alimenticia de tal forma que rebasen límites máximos tolerables estipulados para preservar la salud de los consumidores.

En forma particular por lo que se refiere a la Zona de Estudio, la contaminación es por la recarga de los canales que se hace con aguas negras tratadas con un proceso no completo de potabilización.

Las aguas que se usan para la Zona de Estudio son negativas tanto para el suelo como para la población desde el punto de vista de la Salud Pública ligado a esto, está la producción de vegetales comestibles para el hombre, que cuando los consume le trae consecuencias negativas a su salud.

## **Composición de los Residuos.**

### **V.1 Según su origen:**

- Residuos domésticos
- Residuos industriales
- Restos de materiales para la construcción.
- Objetos de gran tamaño

Según Cruz, M. 1991

### **V.2 Según el tipo de materiales:**

- Plásticos
- Madera
- Cuero
- Cartón
- Papel
- Restos vegetales
- Materiales putrescibles
- Tierra y cenizas
- Restos de reparaciones domiciliarias

- Huesos
- Vidrio
- Envases metálicos

Según SEDUE, 1978.

### **V.3 Según sus propiedades**

- Materias fermentables, materias inertes, materias inflamables, materias altamente tóxicas, materias corrosivas y otros.

Para su eliminación es muy interesante distinguir dos grupos muy diferenciados: Por su parte la materia orgánica (restos vegetales y restos animales) y por la otra, la materia inorgánica (vidrio, plásticos, metales), (Fair, G. M. et al.2008).

Las actuales técnicas de eliminación se agrupan bajo cuatro conceptos:

1. Técnicas de vertido
2. Técnicas de recuperación de materia
3. Técnicas de recuperación de energía (métodos de reciclaje)
4. Técnicas de separación.

### **V.4 Técnicas de vertido:**

El vertedero

El vertedero controlado

### **V.5 Técnicas de recuperación de energía:**

Incineración

La pirólisis

Producción de metano.

### **V.6 Métodos de reciclaje y generación:**

Compostas

Regeneración de materiales.

### **V.7 Técnicas de separación:**

Residuos peligrosos.

## **CAPÍTULO VI.**

### **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL AGUA RESIDUAL**

- Huesos
- Vidrio
- Envases metálicos

Según SEDUE, 1978.

### **V.3 Según sus propiedades**

- Materias fermentables, materias inertes, materias inflamables, materias altamente tóxicas, materias corrosivas y otros.

Para su eliminación es muy interesante distinguir dos grupos muy diferenciados: Por su parte la materia orgánica (restos vegetales y restos animales) y por la otra, la materia inorgánica (vidrio, plásticos, metales), (Fair, G. M. et al.2008).

Las actuales técnicas de eliminación se agrupan bajo cuatro conceptos:

1. Técnicas de vertido
2. Técnicas de recuperación de materia
3. Técnicas de recuperación de energía (métodos de reciclaje)
4. Técnicas de separación.

### **V.4 Técnicas de vertido:**

El vertedero

El vertedero controlado

### **V.5 Técnicas de recuperación de energía:**

Incineración

La pirólisis

Producción de metano.

### **V.6 Métodos de reciclaje y generación:**

Compostas

Regeneración de materiales.

### **V.7 Técnicas de separación:**

Residuos peligrosos.

## **CAPÍTULO VI.**

### **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL AGUA RESIDUAL**

## **VI.1 Ventajas del Uso de Aguas Residuales.**

- Liberación de volúmenes considerables de agua de primer uso o de mejor calidad.
- Se fomenta el desarrollo agropecuario.
- Son una fuente de abastecimiento de agua para riego con bajo costo y seguro durante todo el año.
- Es una forma económica de disponer las aguas residuales, para evitar problemas de contaminación en cuerpos de agua como son: ríos, lagos, presas y otros.
- Aumenta el valor de los terrenos haciéndolos pasar de cultivos de temporal a de riego.
- Se aprovechan efectivamente los nutrientes contenidos en las aguas residuales, como N-P-K, al igual que otros micronutrientes, lo que disminuye la demanda de fertilizantes para la obtención de altos rendimientos.
- Se incorporarán cantidades significativas de materia orgánica, lo cual modifica la estructura del suelo.
- Esta práctica de aprovechamiento de agua residual proporciona un tratamiento adicional, comparable a un nivel secundario, para el agua de infiltración que en muchos casos ayuda a la recarga de mantos subterráneos.
- Mejora el medio ambiente circundante de los núcleos urbanos por permitir la creación de zonas verdes y agrícolas permanentes.
- En suelos alcalinos, como los que se encuentran en las regiones áridas y semiáridas se presenta una capacidad de amortiguamiento de ellos hacia estas sustancias tóxicas. (Manual of Instruction for sewage treatment plant operators,2008)

## **VI.2 Desventajas del Uso de Aguas Residuales**

- Los compuestos tóxicos y organismos patógenos, contenidos en las aguas residuales, pueden ocasionar contaminación de suelos y cultivos afectando la cadena trófica que incluye al hombre.
- Algunos compuestos solubles como son los metales pesados, pueden estar presentes en las aguas residuales en concentraciones tóxicas para las plantas.
- Cuando las aguas residuales no se tratan convenientemente, pueden causar problemas a la Salud Pública.
- Puede existir el peligro de contaminación de acuíferos por inyección y/o infiltración de las aguas residuales.
- El contenido de sales de las aguas residuales, ocasiona problemas en terrenos como mal drenaje, disminuyendo la calidad en los suelos y en consecuencia la productividad.

Se incrementa la incidencia de plagas y enfermedades lo que aumenta el consumo de plaguicidas.

- El abastecimiento de aguas residuales es continuo durante todo el año, así como las láminas de riego son estacionales y la demanda depende del cultivo, lo que obliga a considerar un sistema de almacenamiento o la disposición de excedentes.
- Las aguas residuales con un alto contenido de sólidos en suspensión puede tapan los sistemas de riego por aspersion o presurizados.
- Existen riesgos a la salud del ganado que se alimenta de productos agrícolas regadas con aguas residuales o que beben agua residual.
- El riego debe ser selectivo, por lo que está restringido a algunos cultivos los cuales deben ser tolerantes a sales, al boro, que no se consuman crudos o sirvan de forraje, así como las aguas residuales no deben tocar los frutos, debido a los organismos patógenos presentes que contienen.
- El aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola en Distrito de Riego provoca efectos nocivos a la Salud Pública, molestias por malos olores que son ofensivos y abundancia de mosquitos, (Torres, 1992; Hurtado y Sánchez,1989; Sabey y Hart, 1975).

### **VI.3 Sistemas de Tratamiento:**

Los contaminantes de las aguas residuales pueden ser eliminados por medios físicos, químicos o biológicos. Los procesos biológicos pueden ser aerobias o anaerobios y se clasifican de acuerdo a la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos utilizados para el tratamiento, (Fair, Geyer and Okun, 2008).

Entre las posibilidades tecnológicas para el tratamiento, se cuentan con:

- Tratamiento Biológico.
- Tratamiento Químico
- Tratamiento Físico

El más utilizado es el tratamiento Biológico, con diferentes variantes como: Lodos Activados, Filtros Goteadores y Lagunas de Estabilización, (Manual of instruction for sewage tretment plant operators,2008).

#### **VI.3.1 Lodos activados.**

Este es un proceso que ha hecho progresar el tratamiento secundario. Se basa en procesos bioquímicos por contacto, en el que microorganismos aeróbicos, los compuestos orgánicos y elementos susceptibles a degradar, se mezclan íntimamente en un ambiente favorable con la consecuente descomposición en compuestos utilizables en el recurso agua. Por su alta eficiencia de remoción, alcanza de 90-98% de DBO en igual cantidad para sólidos suspendidos y bacterias patógenas, (Fair, Geyer and Okun, 2008).

En este proceso participan organismos aerobios facultativos, el agua residual se estabiliza en un reactor con aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos; una vez que el agua ha sido tratada con el reactor, la masa biológica resultante se separa del liquido, parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor y otra parte es eliminada para no saturar el sistema.



El objetivo que se persigue con el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables, reducir el contenido de materia orgánica y la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos, (Manual of instruction for sewage treatment plant operators,2008).

Los **lodos residuales** desechados por la planta de tratamiento generalmente son eliminados en forma de pasta o de solución, que se depositan en el suelo, en tiraderos a cielo abierto o bien se descargan en los mismos cuerpos de agua donde se vierten las aguas tratadas, sin tomar medidas sanitarias para el control de los microorganismos patógenos y de los metales que contiene.

Por su complejidad, su operación y mantenimiento es muy costoso.

### **VI.3.2 Filtros rociadores.**

Son unidades de tratamiento; que emplean cultivos microbiológicos adheridos a superficies rugosas para llevar a cabo la descomposición aeróbica, por contacto con el material orgánico presente transformándolos en compuestos estables con eficiencias de remoción de DBO de 80-95% y sólidos suspendidos de 70-92% y de 90-95% de bacterias. Suele también ser costoso, (Manual of instructions for sewage treatment plant operators, 2008)

### **VI.3.3 Lagunas de estabilización.**

Existen diferentes tipos de lagunas de estabilización de aguas residuales (de aguas negras de oxidación, redox, de maduración, facultativas, aerobias, anaerobias) a las cuales se les puede adicionar equipo mecánico.

Las lagunas de aguas negras se basa en una estructura sencilla para embalsar el agua de poca profundidad (1-4m) donde se da una autodepuración o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico químico, bioquímico y biológicos. Se utiliza este proceso en donde hay altos contenidos de materia orgánica putrescible o biodegradable, el parámetro de mayor control es DBO, (Manual of instructions for sewage treatment plant operators, 2008).

Las lagunas que reciben agua residual cruda, son lagunas primarias. Las que reciben el efluente de una primaria, se llama secundaria y así sucesivamente.

El proceso de estabilización que se lleva a cabo en las lagunas facultativas, es muy diferente a las anaeróbicas. Sin embargo, ambas son útiles y efectivas en la estabilización de las aguas residuales. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo a través de organismos aeróbicos cuando hay oxígeno disuelto en el agua. Existen organismos capaces de adaptarse a ambos ambientes, los cuales reciben el nombre de facultativos.

El proceso aeróbico se caracteriza porque la descomposición, se da en presencia de oxígeno, produciendo compuestos inorgánicos que sirven de nutrimentos a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las bacterias aeróbicas, presentándose así una simbiosis. El desdoblamiento de la materia orgánica se da por enzimas producidas por bacterias en sus procesos vitales, (Fair, Geyer, Okun, 2008)

En los procesos aeróbicos, la estabilización de las aguas residuales se logra mediante microorganismos aerobios y facultativos.

#### **VI.3.4 Tratamientos terciarios.**

A pesar de que el tratamiento secundario con cloración elimina aproximadamente el 85% de la materia orgánica y de los sólidos en suspensión y suprime los organismos patógenos, sólo se elimina una parte muy pequeña de determinados contaminantes, como nitrógeno, fósforo, metales pesados y sustancias inorgánicas.

Así pues, los tratamientos terciarios tienen como objeto eliminar dichas sustancias, usando métodos distintos. Los más importantes son la coagulación y la filtración, (Manual of instructions for sewage treatment plant operators,2008)

#### **VI.3.6 La floculación-coagulación.**

Se trata de un proceso que consiste en provocar la floculación (agrupamiento de materia), añadiendo al agua sustancias químicas llamadas coagulantes.

Las más conocidas son la alúmina (sulfato de aluminio), la cal y el cloruro férrico. La floculación se acelera mediante el agitado. Los flóculos se sedimentan y el agua se separa mediante una decantación, por la que sale del tanque sólo la capa superficial del agua.

La coagulación no siempre sucede al tratamiento secundario, ya que en determinadas ocasiones se introduce coagulante a la entrada de la planta depuradora y, en otras, en el tanque de aireación. En las plantas potabilizadoras el tratamiento terciario suprime el tratamiento secundario. Utilizando cal como coagulante, se incrementa el pH del agua, que permite extraer los metales pesados.

El problema de la coagulación estriba en un notable incremento de residuos de la depuradora, que posteriormente deberán tratarse o depositar en alguna parte.

#### **VI.3.6 Filtración y adsorción.**

El método de filtración es muy conocido pero poco utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, es usado en plantas potabilizadoras.

La filtración consiste en pasar el agua por una superficie de arena o de carbón activado, (Manual of instructions for sewage treatment plant operators,2008).

La acción del filtro de arena se basa en la retención de las partículas que no pasan por los espacios intergranulares, el filtro carbón activado se rige una propiedad llamada adsorción, basada en la afinidad de los sólidos de adherirse a la superficie de otros.

El carbón activado presenta una estructura con gran cantidad de poros y superficie de contacto.

Al agotarse la capacidad del carbón, ésta puede regenerarse en hornos que oxidan la materia orgánica sin descomponer el carbón, que puede hallarse en forma granular o de polvo.

Los filtros de arena y de carbón se limpian periódicamente mediante el paso del agua a contracorriente, siendo la pérdida de agua filtrada no superior a un 5%.

El filtro de carbón activado permite suprimir materias orgánicas que han resistido un tratamiento secundario, floculación y filtración por arena.

## **CAPÍTULO VII.**

### **METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES**

#### **VII.1 Efecto de los Metales Pesados Contenidos en las Aguas Residuales.**

Se consideran dentro de este grupo al Cobre, Zinc, Cadmio, Plomo, Niquel, Cobalto, Cromo, Mercurio, Selenio y Arsénico. La cantidad presente en las aguas residuales dependerá de varios factores, pero principalmente de si el residuo es doméstico o industrial, en general los residuos domésticos llevan una concentración muy baja de metales pesados, si es que los contienen, y las aguas de desecho industrial suelen contener elevadas concentraciones de uno o varios de ellos, dependiendo del tipo de industria de que se trate.

Cuando las aguas residuales se incorporan al suelo, los metales pesados pueden ser removidos por los vegetales, lixiviados por las aguas que llegan a los acuíferos o a las aguas superficiales, o pueden quedar fuertemente retenidos en la matriz del suelo.

El camino que sigan dependerá del tipo de metal y de su estado químico, del pH y contenido de materia orgánica del suelo y de su capacidad de intercambio catiónico, entre otros factores.

Los metales pesados son esenciales para cualquier forma de vida y se les requiere, pero en pequeña cantidad. La disponibilidad de los metales para las plantas y su movilidad, a través del suelo, depende de la interacción con otros compuestos y de su estado químico. Por ejemplo, el Cu, Ni, Cd, Pb y Co; se comportan en forma similar en los suelos; en los suelos ácidos pueden existir como cationes divalentes o en los suelos neutros o alcalinos pueden estar combinados con los iones hidroxilo o con otros metales; tal es el caso del arsénico que se combina con los iones Fe, Al, Co y Mg; y de esta forma queda retenido en el suelo; el cromo generalmente se reduce u oxida, quedando en el suelo como un precipitado insoluble. Por otra parte el pH juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados en el suelo, generalmente, a medida que el pH decrece se incrementa la solubilidad de los metales y, consecuentemente su concentración en la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo.

Al aplicar aguas residuales con altos contenidos de estos metales su concentración se incrementará tanto que, de acuerdo con los principios generales del comportamiento biológico, pueden resultar tóxicos, tanto a los microorganismos del suelo, como a los cultivos, (Charles, W. 1993). Sin embargo, en la mayoría de los casos esto no puede ser, sobre todo cuando se aplican aguas residuales domésticas, debido a que los metales quedan retenidos en la materia

orgánica o arcilla que contienen los suelos o simplemente se transportan a regiones más profundas, inclusive hasta llegar a las aguas subterráneas, (Hernández Rossie, 1980).

Por otra parte, la remoción de los metales por las plantas puede ser significativa y dependerá de la capacidad que tengan los cultivos para remover y acumular metales. Esta capacidad varía entre las especies de cultivo y entre las partes de la planta en que se acumulen, trátase de hojas, tallos, raíces, frutos y semillas.

En realidad, el peligro mayor que pueden presentar los metales pesados contenidos en las aguas residuales usadas para riego, es que pueden acumularse en los cultivos y entrar a la cadena de alimentación de tal forma que rebasen los límites máximos tolerables estipulados para preservar la salud de los consumidores.

## **VII.2 Contaminación del Suelo.**

Esta contaminación es ocasionada principalmente por depósitos de desechos sólidos o líquidos sobre la superficie del suelo o el subsuelo. La inadecuada disposición de los desechos orgánicos del hombre, también favorece la propagación de ciertas enfermedades parasitológicas y bacteriológicas.

Sin embargo, el suelo es también contaminado por sustancias químicas insolubles o no degradables como los desechos de productos del petróleo, los plaguicidas, fertilizantes y metales pesados de variado origen, (Guillermo, A. 1982).

Hay una gran cantidad de desechos sólidos que son producidos por procesos industriales, los cuales crean dificultades especiales por su toxicidad, volumen y lenta o nula degradación.

El problema ocasionado por los desechos sólidos no es debido únicamente por la disposición de los mismos, sino también por la colecta, almacenamiento y procesamiento.

## **VII.3 Acción de la Actividad Industrial sobre el Suelo.**

La capacidad del suelo en la retención de los elementos necesarios para mantener el crecimiento de las plantas, es debida en parte a su carácter negativo que atrae a los elementos positivos ( $\text{Ca}^{++}$   $\text{Mg}^+$   $\text{K}^+$   $\text{Na}^+$   $\text{Fe}^{++}$   $\text{Zn}^{++}$   $\text{Mn}^{++}$   $\text{Ni}^{++}$   $\text{Cd}^{++}$   $\text{Cu}^{++}$   $\text{Pb}^{++}$  etc.).

La lluvia incorpora al suelo, las plantas y los cuerpos de agua una serie de contaminantes como son los óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, la acción fotoquímica acumula óxidos nitrosos y nítricos con la humedad atmosférica, se genera la lluvia ácida en forma  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ , y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , que alteran profundamente el follaje de la vegetación.

## **VII.4 Contaminación por Actividad Agrícola.**

Al tratar de incrementar los rendimientos mediante el uso de semillas mejoradas obtenidas a través de cruza, las semillas se vuelven más sensibles a factores

ambientales y bióticos por lo que hay que incrementar el uso de los riegos intensivos (agua de mala calidad generalmente), se debe fertilizar abundantemente, usar agroquímicos en mayor cantidad y uso indiscriminado de maquinaria.

El resultado de la agricultura moderna, ha permitido obtener un notable incremento en la productividad, pero también ha sido la causa de la difusión de productos químicos en la naturaleza, diseminados por doquier a través del ciclo hidrológico.

Varios estudios han demostrado que más del 50% de los pesticidas arrojados a la naturaleza conservan después de 14 años de su aplicación, más del 30% de sus moléculas sin degradar.

Otro aspecto importante es que el uso de pesticidas disminuye la fertilidad del suelo al afectar a los microorganismos del suelo y animales pequeños a quienes no iba dirigida la acción.

Por lo que se refiere a herbicidas, su uso es cada vez más común, su función consiste en eliminar las plantas y vegetales no deseados, disminuyendo su capacidad de fotosíntesis o bien actuando como hormonas que provocan la caída de las hojas; además de que afecta a las bacterias fijadoras de nitrógeno, además de que los efectos totales de los herbicidas sobre la vegetación no están bien conocidos hasta hoy.

Por lo que se refiere a fertilizantes modernos el agricultor actual acostumbra fertilizar en exceso sus suelos, de manera que el sobrante es arrastrado por el agua que resulta así sobrecargada de nutrientes, provocando un exceso de materia orgánica en los lagos y ríos trayendo como consecuencia el proceso de eutroficación.

Otra práctica agrícola que ocasiona contaminación es el riego con aguas que contienen un exceso de sales. El efecto de la sal consiste principalmente en reducir la habilidad de las plantas para absorber el agua y los elementos disueltos en ella, (Tejeda, 2001).

Hasta hace algunos años el agricultor equilibraba los suelos con métodos naturales. Regaba con el agua de su alrededor, arrancaba las hierbas no deseadas, fertilizaba la tierra con estiércol y establecía un sistema de barbecho. Por otro lado, no podía cultivar los suelos demasiado inclinados o demasiado altos al no disponer de la técnica adecuada.

La necesidad de acercar la rentabilidad agrícola a la industrial, junto con la aparición de nuevas técnicas, ha motivado un cambio en la relación agricultor-naturaleza.

La contaminación atmosférica, (Lacatusu, 1995) produce tres tipos de efectos sobre las plantas:

- a.- Disminuye su crecimiento.
- b.- Destruye los tejidos de las hojas.
- c.- Decolora las hojas.

## VII.5 Los Metales Pesados y la Nutrición Animal y Vegetal.

Muchos de los metales son importantes en la nutrición de plantas y animales, en donde juegan un papel fundamental como micronutrientes, en el metabolismo de los tejidos y en el crecimiento.

Un metal pesado se define como aquel elemento que se presenta en bajas concentraciones y que tiene un número atómico 22 o más; aunque no todos son tóxicos (Federal Emergency Management Agency, 1987).

Un agente tóxico es cualquier sustancia capaz de producir un efecto nocivo en un organismo vivo, desde el daño de sus funciones hasta la muerte y la toxicidad; es la capacidad inherente de ese agente químico de producir ese efecto.

Un metal traza es un metal establecido en bajas concentraciones, tal vez en parte por millón o menos, en alguna fuente, por ejemplo: suelo, planta, tejido, agua, etc. Este término se ha confundido con el bajo requerimiento nutricional por un organismo especificado.

Un metal esencial es el que se requiere para complementar el ciclo de vida de los organismos y éstos producen síntomas de deficiencias, cuyo efecto es mostrado por una dosis-curva de respuesta. Las relaciones entre elementos traza y calidad del ambiente están basadas en la necesidad de mantener y salvaguardar la salud del hombre. Los elementos traza están ligados a la salud debido a las funciones que cumplen en los procesos fisiológicos, (Kabata y Pendias, 1992). Cuando son de naturaleza catalítica, los elementos traza involucrados, casi siempre serán metales pesados.

Este último término es usado ampliamente para incluir ciertos metales que no se consideran formalmente como metales pesados. Con su posición en las estructuras químicas, más que fijados a su formación compleja, los metales pesados figuran en forma importante en varios tipos de reacciones de transferencia de electrones; los metales pesados difieren de los alcalinotérreos y especialmente de los metales alcalinos, en que los últimos son móviles y participan en actividades más dinámicas tales como el funcionamiento muscular y la conducción nerviosa.

Los metales pesados se les ha considerado como catalizadores y son constituyentes de varias enzimas, (Kabata y Pendias, 1992), se pueden reemplazar entre metales en las enzimas, pero tal reemplazo puede ser con diferentes grados de eficiencia.

El reemplazo en una enzima de metal pesado por otro, puede llevar a un mal funcionamiento, debido a la inestabilidad estructural, que se observa en las enzimas si el metal reemplazante difiere dimensionalmente del reemplazo. Por tanto, tendrá que sintetizarse mayor cantidad de la enzima. Si el reemplazo se lleva a cabo en proporciones masivas o, en el peor de los casos, si resulta en una incapacidad bioquímica para llevar a cabo la función requerida, la salud del hombre se ve en peligro.

El comportamiento de los metales, también depende de su asociación con otros compuestos y su estado químico, así tenemos por ejemplo que el Cobre, Níquel, Zinc, Cadmio, Plomo y Cobalto, se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácidos pueden estar como cationes divalentes y en los suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el Hierro, Aluminio, Cobalto, Magnesio y de esta forma queda retenido en el suelo; el cromo se reduce u oxida quedando en el suelo como un precipitado insoluble, (Torres, 1992).

El pH del suelo juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados, generalmente a medida que el pH decrece, se incrementa la solubilidad de los metales y consecuentemente, su concentración en la solución del suelo; cuando el pH aumenta, se reduce la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo.

Podríamos señalar que existe una capacidad de amortiguamiento de los suelos hacia los metales pesados inactivándolos o reduciendo su probable daño al reaccionar con otros metales, pero esa facultad se deteriora si se suministra mayor cantidad de metales de los que se puedan fijar por el suelo o adsorber por las plantas.

Lo mismo ocurre cuando los metales pesados están presentes en concentraciones tales como para precipitar el  $\text{PO}_4^{3-}$ ; o si catalizan la degradación de metabolitos esenciales o alteran la permeabilidad de las membranas celulares. Se debe considerar aquí que al pasar a lo largo de la cadena de consumo, asociada con la vida vegetal y animal, algunas concentraciones de metales pesados que de otra forma no serán dañinas pueden incrementarse a niveles que afecten a los miembros superiores de un número de cadenas alimenticias inicialmente, el daño causado por estos metales pesados es subclínico más que clínico, siendo causado por concentraciones tóxicas crónicas más que agudas, (Campos, 1986)

Se consideran como metales pesados a los siguientes elementos: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobalto (Co), (Mercurio (Hg), Selenio (Se) y Arsénico (As). Y como microelementos que también se llegan a estudiar en este aspecto son: Cobre (Co), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn).

Es de llamar la atención la producción de metales en Latinoamérica, México (Chanlett, 1976), destaca en cantidad de metales producidos, desde las diferentes formas de plomo hasta arsénico, cadmio, cromo, manganeso y mercurio. Así mismo la concentración de algunos de los metales en el cuerpo humano como el plomo se ve fuertemente fijado al sistema óseo y cerebro principalmente, el cadmio en faringe y páncreas, el cromo en el sistema respiratorio y en piel; su adsorción por ingestión e inhalación principalmente, así como se absorbe por el sistema sanguíneo y se distribuye en los órganos del cuerpo humano, (Campos, 1986). La cantidad de estos elementos en las aguas residuales dependerá de varios factores, pero principalmente de que si el residuo es de origen doméstico o industrial, (SRH, 1973-75). En general los residuos domésticos llevan una concentración muy baja de metales pesados, si es que los contienen, y

las aguas de desecho industrial suelen contener elevadas concentraciones de uno u otro de estos elementos, dependiendo del tipo de industria de que se trate.

Al aplicar aguas residuales, principalmente de origen industrial, la cantidad de metales pesados, se ve incrementada notablemente llegando a niveles tóxicos para las plantas, (Hernández Rossie, 1980) de acuerdo a los principios biológicos generales.

La remoción de los metales pesados por las plantas, puede ser significativa y depende de la capacidad de remoción del cultivo y esta capacidad según la especie de que se trate y la parte del vegetal donde se acumule.

## **VII.6 Comportamiento de los Metales Pesados en el Ambiente.**

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. Estos factores han controlado la deposición y disolución de los yacimientos naturales de los metales pesados.

Otro proceso de importancia es 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. Solo queda por considerar las reacciones de intercambio catiónico, las cuales serian el último pero también importante factor que regule la disponibilidad de los cationes de los metales pesados en una solución del suelo.

Seonez, (1978) encontró resultados similares con la excepción de notar un precipitado posiblemente de  $Pb(OH)_2$  cuando reaccionaban  $Pb^{+2}$  y  $Ca^{+2}$  o  $Pb^{+2}$  y  $Na^+$ . El cadmio nunca se les precipitó. La importancia que tienen los fosfatos naturales del suelo como amortiguadores de los cationes de los metales pesados fue propuesto por primera vez por NRIAGU (1972, 1973 a 1974). Los datos termodinámicos de sus estudios indican que la Piromorphita  $Pb_5(P_4O_{10})_3(OH)$  puede ser un compuesto que se precipita con facilidad y por lo tanto un mecanismo natural para contrarrestar la contaminación de estos cationes tóxicos. Cuando se agrega plomo o cadmio a un sistema suelo-agua se produce un equilibrio entre un múltiple de fases. Estas fases son la solución del suelo, las fases con capacidad intercambio catiónico, los sólidos inorgánicos precipitados y la materia orgánica en solución.

Flores, G. y Cajuste, L. (1987), expresaron en el XVIII Congreso de la SMCS, (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo) expuso un estudio en el que afirma que al fraccionar las formas químicas de  $Pb$  y  $Cd$  en el suelo, se encuentra el 70% del  $Pb$  y el 63% del  $Cd$  fijados por el suelo principalmente en forma de Carbonatos.

Cuando los metales pesados son incorporados al suelo, pueden ser tomados por los cultivos, lixiviados hasta llegar a los mantos acuíferos, o bien pueden quedar fijados fuertemente a la matriz del suelo. El camino que sigan dependerá del tipo



de metal y de su estado químico, del pH, contenido de materia orgánica del suelo capacidad de intercambio catiónico, entre otros factores.

El comportamiento de los metales también depende de su asociación con otros compuestos y su estado químico, así tenemos por ejemplo que el cobre, níquel, zinc, cadmio, plomo y cobalto, se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácidos pueden estar como cationes divalentes y en los suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el Hierro, Aluminio, Cobalto, Magnesio y de esta forma queda retenido en el suelo; el cromo se reduce y oxida quedando en el suelo como un precipitado insoluble.

El pH del suelo (Dutta, I., 1981) juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados, generalmente a medida que el pH decrece se incrementa la solubilidad de los metales y consecuentemente, su concentración en la solución del suelo; cuando el pH aumenta, se reduce la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo.

Podríamos señalar que existe una capacidad de amortiguamiento de los suelos hacia los metales pesados inactivándolos o reduciendo su probable daño al reaccionar con otros metales, pero esa facultad se deteriora si se suministra mayor cantidad de metales de los que se pueden fijar por el suelo o adsorber por las plantas.

Los criterios recomendados para manejo de suelos, al usar aguas residuales son:

- Se debe evitar que el pH del suelo se reduzca por debajo de 7.5, ya que esto tendría a la disposición de las plantas o cultivos a los metales pesados, (Dutta, I. 1981).

- Las zonas donde se recomienda usar aguas residuales deben ser áridas o semiáridas, y cálidas o semicálidas, que tengan suelos básicos.

- No regar con aguas crudas donde el manto freático sea menor de 2 m.

## **CAPÍTULO VIII.**

### **EFFECTO DE LOS METALES PESADOS EN EL SER HUMANO**

#### **VIII.1 Cadmio (Cd)**

Este es uno de los elementos acumulativos en la cadena alimenticia. Se conoce que produce en algunos humanos una enfermedad llamada itai-itai y recibe este nombre por los severos dolores causados por las fracturas de los huesos ablandados. Es evidente el daño que causa el cadmio a la salud, por ello la Organización Mundial de la Salud (1972), propuso una tolerancia máxima ingerida de no mayor de 400 a 500 Ug Cd/semana.

El cadmio puede reemplazar al Zn en ciertas enzimas causando enfermedades (Mendoza, 1981).

La gran cantidad de literatura sobre toxicología del cadmio, tal como la referida a la destrucción de eritrocitos, daño testicular y degradación renal, está basada

de metal y de su estado químico, del pH, contenido de materia orgánica del suelo capacidad de intercambio catiónico, entre otros factores.

El comportamiento de los metales también depende de su asociación con otros compuestos y su estado químico, así tenemos por ejemplo que el cobre, níquel, zinc, cadmio, plomo y cobalto, se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácidos pueden estar como cationes divalentes y en los suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el Hierro, Aluminio, Cobalto, Magnesio y de esta forma queda retenido en el suelo; el cromo se reduce y oxida quedando en el suelo como un precipitado insoluble.

El pH del suelo (Dutta, I., 1981) juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados, generalmente a medida que el pH decrece se incrementa la solubilidad de los metales y consecuentemente, su concentración en la solución del suelo; cuando el pH aumenta, se reduce la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo.

Podríamos señalar que existe una capacidad de amortiguamiento de los suelos hacia los metales pesados inactivándolos o reduciendo su probable daño al reaccionar con otros metales, pero esa facultad se deteriora si se suministra mayor cantidad de metales de los que se pueden fijar por el suelo o adsorber por las plantas.

Los criterios recomendados para manejo de suelos, al usar aguas residuales son:

- Se debe evitar que el pH del suelo se reduzca por debajo de 7.5, ya que esto tendría a la disposición de las plantas o cultivos a los metales pesados, (Dutta, I. 1981).

- Las zonas donde se recomienda usar aguas residuales deben ser áridas o semiáridas, y cálidas o semicálidas, que tengan suelos básicos.

- No regar con aguas crudas donde el manto freático sea menor de 2 m.

## **CAPÍTULO VIII.**

### **EFFECTO DE LOS METALES PESADOS EN EL SER HUMANO**

#### **VIII.1 Cadmio (Cd)**

Este es uno de los elementos acumulativos en la cadena alimenticia. Se conoce que produce en algunos humanos una enfermedad llamada itai-itai y recibe este nombre por los severos dolores causados por las fracturas de los huesos ablandados. Es evidente el daño que causa el cadmio a la salud, por ello la Organización Mundial de la Salud (1972), propuso una tolerancia máxima ingerida de no mayor de 400 a 500 Ug Cd/semana.

El cadmio puede reemplazar al Zn en ciertas enzimas causando enfermedades (Mendoza, 1981).

La gran cantidad de literatura sobre toxicología del cadmio, tal como la referida a la destrucción de eritrocitos, daño testicular y degradación renal, está basada

principalmente en observaciones del daño agudo inducido en animales o de la contaminación accidental por el hombre. La contaminación de bajos niveles de cadmio crónicos al hombre, pueden resultar en alteraciones respiratorias como el enfisema, alteraciones en el funcionamiento gástrico e intestinal, anemia, osteomalasia, o hipersensibilidad a enfermedades cardiacas, (Campos, 1986).

Las funciones de Zn son particularmente peligrosas para el daño ambiental que causan por emisión de humos conteniendo ZnO y CdO

El pH del suelo es importante debido, en conjunto, a las condiciones de óxido-reducción en el suelo, a la determinación del equilibrio de las formas más móviles de alta valencia de los iones de los metales pesados. En general el pH debería exceder el valor de 6.5 para minimizar los problemas de toxicidad potencial. (Hurtado y Sánchez, 1989)

Las bacterias del suelo pueden influenciar la química del Cd en relación a ciertos metales pesados, incrementando como en el caso del Zn, o disminuyendo como en el caso del Mn su disponibilidad para las plantas.

Entre las actividades industriales que aportan cadmio está la elaboración de pigmentos y plásticos. Las actividades industriales no relacionadas con la producción del cadmio, también son importantes como lo producido por la combustión de carbono, aceite, madera, papel y basura orgánica urbana, como responsables de la presencia general de cadmio en los materiales biológicos.

Se ha reportado una concentración de cadmio en carbón de hasta 50 ppm. La cantidad de cadmio liberada en la combustión puede contribuir en forma importante a la contaminación aérea. El papel contiene Cd en el caso del carbón y el aceite, debido a que el cadmio, a diferencia del plomo, entra fácilmente a las plantas. (Arcos Ramos, R. et al, 1982)

El cadmio puede llegar al aire como polvo resultante del uso continuado de las llantas de los carros. Aunque algunas marcas de gasolina contienen trazas de Cd, la mayoría no las presentan. Así el aumento de la concentración de cadmio en el suelo de las carreteras con la proximidad incrementada del tránsito, se debe principalmente al uso de las llantas de los automotores.

Descubrimientos recientes demuestran que el Cd materno puede cruzar las membranas placentarias. En ausencia virtual de un mecanismo homeostático, el cadmio es rápidamente acumulado, a una tasa aproximadamente de 5 mg por década hasta la edad de 60 años, especialmente en los riñones. Aquí los aminoácidos con grupos-SH como la cisteinas son instrumentos para ligar cadmio. La vida media biológica del cadmio en el hombre es estimada en 10 y 25 años.

Una dieta en mariscos y granos puede causar una alta ingestión de Cd diaria. Los cigarrillos constituyen otra fuente de Cd. El Cd ingerido es absorbido por la sangre en un rango cercano a 5% y es inhalado en rango de 30%.

La información, principalmente con animales, indica que bajo ciertas circunstancias, la potencia biológica del Cd puede ser atenuada por administración de compuestos conteniendo grupos tiol, agentes secundarios del tipo EDTA, Zn o Se. Con la sal de Ca de EDTA la excreción de un número de metales en la orina, incluyendo Cd, se incrementó marcadamente. El Zn puede competir efectivamente con el Cd o el Hg por algunos sitios enzimáticos. Especialmente los tres metales compiten por los grupos SH<sup>-</sup> y, por lo tanto a menudo forma complejos con los aminoácidos conteniendo grupos tiol como la cisteína. (Chemical and Engineering News, 49, julio, 1971)).

### **Presencia del Cadmio.**

El cadmio está presente en aerosoles, como impurezas en los fertilizantes fosfatados y es un constituyente en fungicidas.

El cadmio también se encuentra en la mayoría de los suelos de los caminos como el resultado de la presencia en llantas de los automóviles y en aceites de motores. El metal es fácilmente absorbido a través de las raíces de plantas con importancia alimenticia, usualmente los principales granos: trigo, maíz, arroz, avenas, mijo. También el cadmio puede estar presente en otro tipo de plantas, tales como chícharo, lechuga, remolacha.

Cuando las plantas han sido desarrolladas en ambientes contaminados aéreamente, el problema surge de qué fracción de cadmio acumulada por la planta viene del suelo y cuál proviene del aire. Las contribuciones aéreas al contenido del Cd de las plantas se incrementaron con la disminución del área de tránsito, a pesar del incremento concurrente en el contenido de cadmio en el suelo.

También se ha observado que la relación de concentración Zn/Cd de las plantas fue considerablemente más baja que aquella del suelo en la cual eran cultivadas. En combinación con los datos sobre la contaminación aérea (Lacatusu, 1995) antes mencionada, parece que el cadmio se vuelve más concentrado que el Zn en la secuencia aire-suelo-planta.

El cadmio reduce la producción de algunas legumbres.

La abundancia de cadmio en rocas sedimentarias e ígneas no excede a 0.3 ppm. Y este metal al igual que el plomo está concentrado en depósitos arcillosos y pizarra (lutita). El cadmio está firmemente asociado con el Zinc (Zn) en Geoquímica; pero parece tener una mayor afinidad por el azufre que por el zinc, exhibe una mayor inestabilidad que el zinc en ambientes ácidos.

Los contenidos promedio de cadmio en suelos, yacen entre 0.007-1.1 ppm.; sin embargo, los niveles de este metal en suelos, no debe exceder de 0.5 ppm. Y todos los valores superiores reflejan un impacto antropogénico.

Como ocurre con otros metales pesados, un incremento en el pH del suelo por alcalinización suprime en cierta forma la captación de cadmio (Helal, 1996).

La solubilidad del cadmio está en función del pH del suelo, a pH de 7.5 el cadmio del suelo no es fácilmente móvil, por consiguiente la solubilidad de  $\text{Cd CO}_3$  y  $\text{Cd}_3 (\text{PO}_4)_2$ , controlan la movilidad del cadmio en suelos, pero la naturaleza de la superficie de absorción y las uniones orgánicas son también de importancia. Por lo cual, es más móvil en suelos ácidos (pH 4.5-5.5) que en suelos alcalinos, siendo más bien inmóvil en este caso.

Controlar la química del Cd en los suelos ofrece otra posibilidad para disminuir la entrada del metal en el ciclo de los alimentos. La alcalinización del suelo puede precipitar el metal no únicamente como carbonato, sino también como sulfato y fosfato, dependiendo de la abundancia de estos aniones.

Más aún el efecto competitivo del calcio y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento en el pH del suelo pueden ser valiosos al disminuir la captación de cadmio por las raíces de las plantas. Nuevamente, un arado limitado puede beneficiar las plantas de enraizado profundo, y el volteo del suelo superficial puede favorecer a las plantas de raíces superficiales.

El balance delicado del Zn-Cd y Hg en relación a su competencia por Se y por grupos -SH de proteínas y enzimas en plantas y animales, es un aspecto que no debe ser olvidado en el manejo del estado de los elementos traza de los suelos.

La materia orgánica del suelo puede contener metales pesados así como quelar grandes fracciones de algunas especies de metales pesados que llegan a tener contacto con ella. Algunos de estos quelatos son solubles y pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas, mientras que otros se descomponen en la vecindad inmediata. Donde los quelatos son insolubles, la quelación inhibe la captación de metales pesados por las plantas.

La capacidad de intercambio catiónico, (Torres, 1992) en los términos en que es expresión en la cantidad de cationes intercambiables potencialmente disponibles para las plantas, puede estar relacionada con la captación de metales pesados. El intercambio de contacto entre la raíz y las superficies de arcillas promueve, mas que impide, la entrada de metales dentro de las plantas a los niveles de concentración traza. Cuando la estación de crecimiento se corta y el metal traza, es captado con facilidad, la fase adsorbida más que la que se encuentra en solución puede ser la fuente principal de suplemento para las plantas.

## **VIII.2 Cobalto (Co).**

Metal pesado, soluble en medio ácido.

Se emplea en alteraciones y en la preparación de sales de cobalto.

Produce trastornos por inhalación, ingestión o contacto.

Se ha señalado que este elemento activa las enzimas orginasa, lecitinasa, oxaloacético de carboxilasa y enzimática. (Kabata y Pendias, 1992)

La presencia de cobalto en suelos disminuye cuando se aumenta el contenido de humus del suelo de 3 a 17%; este efecto se vio en cultivos como la avena y el guisante (chicharo).

La concentración permisible en India para suelos es de 4 a 78 ppm. Otros investigadores consideran como rango permisible de 0.03 a 2 ppm.

### **VIII.3 Cobre (Cu).**

No se han establecido procedimientos específicos para manejar el cobre. Sus sales se manejan en cantidades enormes en un sinnúmero de industrias. La recomendación es tener cuidados extremos que se siguen con los demás productos químicos, evitando la ingestión o al menos cuidar que sea mínimo.

Se ha comprobado que el cobre puede causar anemia hemolítica y necrosis hepática en vacunos y ovejas, con concentraciones de 60 ppm., los vacunos pueden sufrir diarreas, cambio en huesos y problemas de reproducción. (kabata y Pendas, 1992)

Cuando el agua tiene de 0.01 a 1.7 ppm., el cobre es tóxico en peces e insectos acuáticos.

En forma iónica, resulta tóxico en la fotosíntesis de algas verde, en concentraciones de cobre encontradas en fuentes de agua natural, lo cual corrobora que este metal normalmente no se encuentra en forma iónica, sino en forma de complejos, por ejemplo, como polipéptidos. Se han encontrado que para el salmón, el cobre en concentraciones de 0.04 ppm es muy tóxico, aumentando la mortalidad e inhibiendo el crecimiento con solo 0.02 ppm.

Hasta ahora se sabe que el único procedimiento importante causado por el cobre en el hombre, es la enfermedad de Wilson.

En términos generales, las sales solubles de cobre son muy tóxicas para los organismos acuáticos, por lo que deberán cuidarse las corrientes que llegan a las zonas donde se encuentran esas especies.

### **Fuentes principales de desechos solubles de Cobre en corrientes de agua..**

Entre las fuentes más importantes en términos generales, se pueden citar:

1. aguas de enjuague de la industria de electrorrecubrimientos.
2. aguas de desecho de impresión de circuitos.
3. Catalizadores de cobre agotados.
4. Licores con salmueras de cobre.
5. Aguas de desecho de la industria textil.

Los desechos de cobre de la industria de electrorrecubrimiento puede prevenir de diversas etapas del proceso aunque la fuente más importante es la de enjuagues. Las corrientes típicas son soluciones de cobre entre 50 y 10 000 ppm., con concentraciones alcalinas de 1 a 20% de hidróxido de cobre además de algo de cianuros, cromo, níquel y plomo.

Tabla 1. Fuentes de desechos solubles de cobre en agua.

<b>Proceso Industrial</b>	<b>Factores de Emisión</b>
Minería y procesamiento	91 kg/1000 t. de cobre procesado.
Procesos metalúrgicos	4.5 kg/1000 t. de cobre procesado
Producción secundaria	136 kg/1000 t. de cobre procesado
Fabricación de metal	0.45kg/1000 t. de cobre procesado

<b>Otras Fuentes</b>	
Carbón	1.8 kg/1000 t. de carbón quemado
Petróleo	73 kg/millón de barriles quemados
Alto horno	10 kg/1000 t. de hierro forjado
Horno abierto	23 kg/1000 t. de acero producido
Horno eléctrico	3.2 kg/1000 t. de acero
Fundiciones	2.3 kg/1000 t. de hierro gris

Según Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Secretaría de Desarrollo y Ecología.

Enero 1990.

### **Estándares ambientales para el Cobre.**

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales, establece los siguientes valores:

Para el aire, el valor máximo permitido es de 1 mg/m<sup>3</sup>, el cual deberá bajarse hasta 0.2 mg/m<sup>3</sup>.

Tabla 2. Para el agua de desecho, los estandares son los siguientes:

<b>Tipo de Agua</b>	<b>Máxima Concentración Permitida ppm.</b>
Agua de uso doméstico.	1.0 (sería deseable un valor de 0.01)
Agua para irrigación con suministro continuo.	0.2
Agua para irrigación con suministro discontinuo.	5.0
De desecho.	0.5

Según Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Secretaría de Desarrollo y Ecología.

Enero 1990.

### **Disposición de los desechos sólidos.**

Se considera que son tres los métodos más importantes para la disposición de lodos de hidróxido y sulfito de **cobre**: Incineración, Relleno Sanitario y Disposición en el mar.

**Incineración:** Éste método tiene la ventaja de reducir los lodos o cenizas, facilitando el manejo y transporte de los desechos; sin embargo, tiene el

inconveniente de los óxidos metálicos tóxicos solubles que se forman en el proceso.

Además se necesita equipo adicional, sistemas para evitar la contaminación del aire, así como el combustible apropiado para la incineración.

**Relleno Sanitario:** Se reconoce este método como el más conveniente, aunque deberá evitarse la contaminación de suelos y aguas con los lixiviados que se generan.

**Disposición en el Mar:** Este método se usa en forma importante para disponer los lodos de las plantas de desechos municipales. Sin embargo, hay controversia sobre la conveniencia de este método.

### **Impacto Económico en la Recuperación de Cobre.**

La recuperación del cobre resulta más atractiva que la de otros metales, debido a su alto valor. Sin embargo no es posible generalizar y deberá hacerse estudios de factibilidad para cada proceso o empresa particular, considerando tanto la economía, como los resultados deseables en el tratamiento.

Como ejemplo se puede mencionar que, en general, los costos de recuperación de cobre en los procesos de recubrimiento, son más favorables que en los procesos de tratamiento con cianuro. También en términos generales se considera que la recuperación electrolítica de cobre en los procesos de grabado es demasiado cara.

En todo estudio económico de recuperación, deberán compararse los costos con los de tratamiento donde no hay recuperación alguna.

En el hombre, este metal pesado origina la enfermedad de Wilson cuando la ingestión llega a niveles tóxicos.

### **VIII.4 Cromo (Cr.)**

El Cromo puede presentarse en la forma iónica con valencia +2, +3, ó +6. De éstas, las más importantes en cuanto a sus efectos sobre la Salud Humana, son la trivalente (+3) y la hexavalente (+6). La forma trivalente es una forma esencial para el metabolismo humano, el cromo hexavalente es tóxico. (Báez Pedrajo, A. et al. 1982)

La presencia de bajas concentraciones de cromo trivalente (óxido crómico ó ion crómico), parece tener importancia para el metabolismo humano, ya que éstos tendrían un papel en los factores de tolerancia a la glucosa.

Las altas concentraciones de las formas trivalentes y hexavalentes de cromo en el ambiente, principalmente de trabajo, es dañina para la salud, ya que causan problemas de carácter local, tales como dermatitis irritativa, dermatitis alérgica, corrosión del tabique nasal y otros de carácter general, entre los que destacan el asma bronquial, el cáncer de pulmón y el daño renal. (Kabata y Pendias, 1992)

Diversos autores han estudiado la exposición al cromo en Alemania, Estados Unidos de América e Inglaterra y han encontrado una mayor incidencia de cáncer pulmonar en los trabajadores expuestos al metal que en la población general,



después de una exposición de entre 15 y 27 años. Confirmando estos estudios, la Internacional Agency for Research of Cancer (IARC) hizo una evaluación de los datos existentes y concluyó que los productos derivados del cromo causan cáncer.

Otros efectos tales como la necrosis del tabique nasal y las lesiones alérgicas se han estudiado y se han encontrado fuertes asociaciones entre exposición y efecto. Los principales compuestos que tienen interés por su prevalencia en el ambiente son los trivalentes: Oxido Crómico y Sulfato Crómico, y los Hexavalentes trióxido crómico, ácido crómico y dicromatos (de sodio, y de potasio, etc.).

En el cuadro se presentan algunas de las sustancias o compuestos de cromo destacando el ión Cromo, Óxido de Cromo, Sulfato y Carbonilo de Cromo, se señalan algunas propiedades químicas de éstos y sus efectos desfavorables al sistema respiratorio, tracto digestivo, piel y mucosa, tabique nasal, hígado y riñones. (Melo Sánchez, F. M.,2005)

Entre las fuentes de contaminación ocupacional tenemos que las actividades mineras pueden contaminar al extraer ese metal, la industria utiliza el cromo con el objeto de obtener protección por revestimiento de los metales, de fines estéticos y de decoración por el cambio de color de varios tipos de materiales: además, es un importante agente en los procesos de curtidos de pieles. Las industrias que presentan más riesgos por la presencia de cromo son: cemento, colorantes, construcción, curtidurías, galvanoplastia, material fotográfico, material refractario, metalurgia (producción de acero y otras aleaciones metálicas), y pinturas principalmente corrosivas. (SEDUE, 1978)

En las fuentes de contaminación del ambiente general, se tiene que el aire no contaminado, la concentración es de 0.01-0.02 microgramos/m<sup>3</sup> la contaminación de origen industrial por plantas de cemento, de asbesto y por los gases de combustión de vehículos motorizados, pueden elevar las concentraciones de cromo en el aire hasta valores peligrosos para la salud.

En el agua por su baja solubilidad, los niveles naturales de cromo en las aguas, son bajos; en los ríos naturalmente hay como 0.1 a 5 microgramos por litro. Las actividades y afluentes industriales son los principales contaminantes de las aguas, llegando a elevar las concentraciones de cromo sobre 25 microgramos por litro.

Los suelos pueden tener concentraciones de hasta 250 mg/kg y en general las concentraciones medias de 125 mg/kg.

Los alimentos constituyen para el hombre una fuente ambiental de cromo natural importante. Aportes superiores proporcionados por otros medios y agua, habitualmente se deben a contaminación artificial, correspondiendo ello preferentemente a cromo hexavalente. Se estima que la ingestión diaria de cromo en condiciones normales puede variar de 5-500 mg., con un valor promedio diario de 100-300 mg. Cantidades adicionales pueden ser causadas por la contaminación antropogénica del ambiente en general.

Se ha constatado concentraciones de hasta 390 mg de cromo por el Kg. de tabaco, o también de 1.4 mg por cigarrillo, sin que se hayan hecho evaluaciones sobre la proporción que este metal se absorbe por la vía respiratoria.

La absorción del cromo, se da al organismo humano por la vía respiratoria; aproximadamente el 50% del cromo inhalado se absorbe. Los compuestos hexavalentes se absorbe rápidamente en el pulmón de los trivalentes, aunque luego en la sangre se biotransforma a trivalentes.

Se ha demostrado que la absorción por vía digestiva es ineficaz, ya que no alcanza a más del 6% de lo ingerido.

No se ha demostrado absorción significativa a través de la piel. Una vez incorporado al sistema sanguíneo se distribuye por varios órganos, principalmente el sistema retículo endotelial, el hígado, el bazo y los huesos. En el organismo humano solamente se depositará cromo en forma trivalente.

El cromo en la sangre es rápidamente removido hacia los tejidos, lo que hace que las mediciones de cromo en sangre no sean útiles como indicadores de exposición.

La excreción se hace con rapidez; así mismo, gran parte del cromo inhalado queda depositado en el pulmón. Se ha descrito también el flujo placentario del cromo, el cual puede encontrarse en el feto en altas concentraciones; sin embargo, no existen evidencias de efectos adversos en él.

La presencia de compuestos orgánicos de cromo en el organismo humano parece tener un papel importante en numerosas reacciones enzimáticas. Se requiere de 1 mg de cromo absorbible (+3) para mantener el metabolismo de la glucosa y de los lípidos.

El aspecto clínico de la intoxicación por cromo tiene su mayor importancia en las exposiciones ocupacionales causadas por el contacto directo de los compuestos de cromo con la piel, por la inhalación de polvos y por la ingestión.

### **Manifestaciones Agudas por Cromo, Tenemos:**

**Ingestión:** cuadro gastrointestinal con vómitos sanguinolentos y diarrea abundante, la gravedad del caso puede ocasionar colapso. Transcurrido este periodo inicial y con dosis de 10 mg/kg o más de cromo hexavalente, sobreviene una lesión renal grave que conduce a la muerte. Es posible observar daño hepático y lesiones del Sistema Nervioso Central. La dosis mortal para el hombre es de 6 a 8 gramos.

**Inhalación:** la inhalación de polvos con cromo puede dar origen a cuadros graves de bronquitis asmática, fibrosis pulmonar, laringitis, etc.

**Contacto:** el contacto de la piel con los compuestos de cromo puede desarrollar hipersensibilidad, la cual determina que posteriormente sobrevengan cuadros de

dermatitis alérgica, conjuntivitis, úlceras dolorosas o asintomáticas localizadas en dedos, brazos, antebrazos, perforación del tabique nasal.

### **Efectos del Cromo.**

Reduce la productividad, así como ocasiona deficiencias de Fierro en algunos cultivos, clorosis y acumulación en hojas.

La presencia de cromo en los alimentos es muy variable, con rangos entre 20 y 600 mg/kg. Presenta 20-50 mg/kg en las verduras, 20 mg/kg en las frutas, 40 mg/kg en los cereales.

Los efectos tóxicos por cromo, se asocian con un contenido reducido de nitrógeno en plantas de avena.

Han aparecido varios reportes de un efecto estimulante del cromo sobre el crecimiento de los cultivos, así como de sus efectos tóxicos. Kabata y Pendias,1992, Señalan que excesivas cantidades de cromo en ciertos suelos causan enfermedades en las plantas.

En tejidos vegetales normales se encontró de 0.01 a 1.0 ppm pero el nivel medio cae entre 0.1 y 0.5 ppm se considera como límite en agua residual según la Norma Mexicana de 5.00 mg/l.

El contenido de cromo en rocas sedimentarias y ácidas ígneas, es muy bajo y rangos de 5-120 ppm., se tienen en sedimentos arcillosos.

La mayor parte de cromo en el suelo ocurre como Cr+3 dentro de la estructura mineral o formas mixtas de óxido de Cr+3 y Fe+3; el comportamiento del cromo es gobernado por el pH del suelo y potencial redox. Este comportamiento puede ser modificado por complejos orgánicos de cromo y el efecto dominante de materia orgánica, estimula la reducción de Cr+6 a Cr+3 (cromo soluble a cromo insoluble) esta conversión es importante porque es responsable del bajo cromo disponible para las plantas.

El Cr+3 es ligeramente móvil en medios muy ácidos y a un pH de 5.5 es casi completamente precipitado, por lo que estos compuestos son considerados muy estables en suelos. Por otra parte, el Cr+6 es muy inestable y es fácilmente movilizado en suelos ácidos y alcalinos. La adsorción de Cr+6 disminuye al aumentar el pH y la adsorción de Cr+3 aumenta al elevar el pH.

El cromo es tóxico cuando se encuentra en estado hexavalente al acumularse en los suelos, sin embargo esta forma no es muy común.

Los suelos arenosos o histosoles son usualmente los más pobres en cromo y se calcula el contenido medio de 65 ppm en los suelos en general, después de 80 años de irrigación con aguas fecales, los suelos contienen 112 ppm de cromo y la contaminación del metal en ellos, aumentó de 43 a 113 ppm. Otros autores

también reportaron una alta acumulación de cromo en horizontes superficiales de tierras agrícolas, donde los rangos de más alto nivel son de 214 a 349 ppm. Aplicaciones de caliza, fósforo y materia orgánica, se conocen como efectivos en la reducción de cromo tóxico en suelos contaminados. Después de la reducción, la caliza promueve la precipitación de compuestos de  $Cr^{+3}$

### **VIII.5 Hierro (Fe).**

Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y sus usos son:

- Hierro estructural.
- Acero.
- Fabricación de tintes.
- Fabricación de abrasivos.

También es un micronutriente esencial en cantidades pequeñas para la mayoría de los organismos, pero la ingestión de cantidades excesivas puede originar la inhibición de actividad de muchas enzimas, (Duffus, 1983).

El hierro a pH altos no está disponible.

La importancia del hierro radica en que es necesario para la síntesis de clorofila, una planta verde privada de hierro, pronto se volverá clorótica. También se considera fisiológicamente importante para las etapas iniciales de la germinación. En el hombre participa en el proceso hematopoyético, la carencia de este elemento causa trastornos de anemia.

### **VIII.6 Manganeso (Mn).**

Elemento considerado micronutriente por lo que se encuentra en agua, plantas y minerales, pero en grandes cantidades es tóxico.

Soluble en ácidos minerales con desprendimiento de hidrógeno.

Se utiliza en la fabricación del acero.

Este elemento participa en la formación de la clorofila, en la reducción del nitrato, en la respiración y como catalizador de procesos metabólicos, en la síntesis proteica y en la formación del ácido ascórbico o vitamina C.

El potasio fomenta la absorción del manganeso, aun cuando la demasía de manganeso es capaz de ocasionar la presencia de deficiencia férrica.

Este elemento resulta moderadamente tóxico en cantidades altas.

### **VIII.7 Níquel (Ni).**

#### **Cuidados en el Manejo de Níquel y sus Compuestos.**

Deberá evitarse la inhalación de polvos, así como el contacto con la piel, en especial si hay carbonilo de níquel.

El níquel en polvo y los catalizadores de níquel, estén activados o agotados, se inflaman fácilmente. Se recomiendan colocar etiquetas amarillas a los recipientes,

con cargas máximas de 45 kg. No se permite el transporte aéreo, a menos que se mezcle el polvo con 40% de agua u otro líquido apropiado.

El carbonilo de níquel, por ser un líquido inflamable, no deberá transportarse ni por aire ni por tierra. Este compuesto está clasificado como altamente tóxico. Con la excepción del Cianuro de Ni, los demás compuestos no requieren de cuidados especiales para su manejo y transporte.

El níquel en términos generales, es uno de los metales relativamente no tóxico y se encuentran en tejidos humanos, siendo esencial para el cuerpo humano juntamente con el fierro, cobalto, cobre y zinc.

Sin embargo, el níquel y sus compuestos tienen efectos tóxicos importantes sobre todo en la contaminación del aire. Los polvos y vapores pueden producir cáncer en pulmones y seno nasal, enfermedades del sistema respiratorio y dermatitis. Los efectos en ambientes de trabajo y en el aire de zonas aledañas es bastante relevante.

#### **Toxicidad del Carbonilo de Níquel.**

El carbonilo de níquel, cuya toxicidad es unas 5 veces la del monóxido de carbono, en casos agudos produce una falta severa de movimientos pulmonares, provocando entre otros efectos, que el diafragma pulmonar tome una posición anormal alta. Fisiológicamente, los disturbios son a nivel capilar y arteriolar.

Este compuesto es un líquido inflamable, que hierve a 43° C, el cual descompone fácilmente en níquel metálico y monóxido de carbono, generando dos contaminantes importantes, ya que suministra al cuerpo receptor una importante concentración de níquel activo, el cual deposita en los pulmones. El carbonilo de níquel se forma al reaccionar el níquel y el monóxido de carbono a temperaturas altas probablemente en incineradores de lodos o desechos sólidos que contienen este metal. En el proceso Mond para la producción de níquel se produce carbonilo de níquel en un paso intermedio de la reacción, por lo que en este caso, los cuidados deben ser extremos.

#### **Disposición de lodos con Ni.**

Seguramente la mayor fuente de sales de Ni provienen de los procesos de recubrimiento.

Uno de los métodos más usados, en general, es el relleno sanitario para los lodos que contienen Ni.

La contaminación del agua por Ni se debe fundamentalmente a la industria metálica, sobre todo en procesos de recubrimiento. Otras fuentes de contaminación son las industrias de acero y fundición, automotriz y aeronaves, así como la de impresos.

En las corrientes de desechos, el níquel se encuentra en forma iónica. Con sustancias que forman complejos, el Ni puede tenerse como complejo soluble.

Estos complejos interfieren con los tratamientos para eliminar Ni y cianuro, por lo que las aguas tratadas pueden tener concentraciones grandes de esos dos contaminantes.

Tabla 3. La tabla siguiente da las concentraciones de Ni en las aguas de los procesos de recubrimiento.

<b><u>Industria</u></b>	<b><u>Concentración de Ni, mg/l</u></b>
	<b><u>Rango</u></b>
<b><u>Recubrimientos (servicios):</u></b>	
Desechos de plata	0-30
Desechos de ácidos	10-130
Desechos alcalinos	0.4-3.2
<b><u>Acabados Metálicos:</u></b>	
Desechos mezclados	0-51
Desechos ácidos	12-48
Desechos alcalinos	2-21
<b><u>Manufactura de maquinaria</u></b>	
Desechos de recubrimientos	5-35
Desechos de baños limpiadores	6-32
<b><u>Plantas de recubrimientos</u></b>	
Cuatro plantas diferentes	2-205
Aguas de enjuague	2-900

Según Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Secretaría de Desarrollo y Ecología.  
Enero 1990.

En los procesos de electrorrecubrimiento, el Ni y sus compuestos constituyen una fuente potencial de contaminación de las aguas con las sales solubles. Las soluciones empleadas normalmente contienen sulfatos y cloruros de Ni.

Otra fuente de contaminación son las fugas en filtros, tuberías, bombas. Por otro lado, debido al alto costo de los baños, éstos normalmente no se desechan.

El costo relativamente alto del Ni ha propiciado el control para abatir las pérdidas en los procesos de enjuague después del recubrimiento. En el proceso de producción de sulfato de níquel, los iones  $Ni^{+2}$  y  $Ni^{+3}$  se encuentran en concentraciones apreciables en las aguas de desecho. Esas sales son especialmente tóxicas para los organismos.

### **Disposición de Lodos Residuales con Ni.**

Generalmente la mayor fuente de sales de Ni provienen de los procesos de recubrimiento.

Uno de los métodos más usados, en general, es el relleno sanitario para los lodos que contienen Ni.

## VIII.8 Plomo (Pb).

Metabólicamente el plomo y el calcio se comportan de manera muy semejante, tanto en su disposición como en su movilización en los huesos.

Como el plomo puede permanecer inmovilizado por años, los disturbios metabólicos no se detectan fácilmente. Bajo condiciones normales, más del 90% de plomo retenido en el cuerpo, se encuentra en el esqueleto. Aunque es un elemento no esencial, se presenta en todos los tejidos y órganos de los mamíferos. Afecta la permeabilidad de las membranas del riñón, hígado y las células cerebrales, resultando en la reducción del funcionamiento o en parálisis total.

Es un veneno acumulativo, cuya toxicidad se ha conocido por muchos siglos. Puede causar daños cerebrales, deficiencia mental y problemas de comportamiento. Su contenido en el agua potable aumenta cuando se emplean tuberías de dicho metal, especialmente si el agua es "blanda", es decir, el contenido de calcio resulta bajo.

En México, se producen 184-261 ton/plomo/año; las industrias y actividades más importantes productoras del plomo son: Industrias de baterías, pigmentos de pinturas, alfarería, cables, productos químicos, antidetonantes para gasolina (tetraalquilos de plomo), construcción, productos de acero y tubería de plomo, etc. (López, 1992; Aoyama 1996).

Los problemas ambientales y de salud asociados al plomo identificados y estudiados se refieren en su mayor parte a los compuestos inorgánicos del plomo y al plomo metálico.

Alrededor del 50% o más del plomo emitido al aire por fuente antropogénicas, corresponde al proveniente de vehículos automotores (gasolina con aditivos de plomo).

Este elemento químico es inhibidor de numerosas enzimas (Kandeler, 1997) y esto constituye el fundamento de los diversos efectos tóxicos que se reflejan en la clínica y el laboratorio.

El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades: uno es compitiendo con los metales esenciales (especialmente el calcio y el zinc en sus sitios de inserción); otra es mediante su afinidad por los grupos sulfhidrilos (SH) de las proteínas, lo que significa alteración de la forma y de la función de ellas y dado que numerosas proteínas (entre ellas diversas enzimas), poseen grupos S, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas en el organismo; finalmente, también actúa alterando el transporte de iones esenciales.

El plomo está presente en la dieta y en el ambiente humano (general y ocupacional). Se ingieren unos 200-300 microgramos diarios sin que ello cause daño conocido. En la sangre se ha encontrado 10-35 microgramos por 100 ml., en poblaciones sanas. Las concentraciones sanguíneas aparecen más elevadas en hombres que en mujeres, en áreas urbanas que en rurales, por la mayor

contaminación del ambiente urbano y también son más elevadas entre fumadores comparados con no fumadores.

El plomo traspasa fácilmente la placenta y su concentración en la sangre del recién nacido es similar a la de la madre. También traspasa la barrera cerebral, pero el cerebro no acumula plomo de manera significativa.

En el Sistema Nervioso Central (SNC), se forma un cuadro clínico denominado encefalopatía saturnina, cuyos síntomas y signos varía desde cambios psicológicos o conductuales sutiles hasta alteraciones neurológicas graves. Las características principales de la encefalopatía son embotamiento, desazón, irritabilidad, vértigo, cefaleas, visión nublada, temblor muscular, alucinaciones, pérdidas de memoria y pérdida de la capacidad de concentración.

En los niños especialmente en los menores de 5 años se ven característicamente deterioradas las habilidades adquiridas en el desarrollo psicomotor, tales como el control de esfínteres y la coordinación psicomotriz.

Las lesiones en el sistema nervioso central se producen en el nivel histopatológico y pueden tornarse irreversibles.

Los niños con encefalopatía plúmbica habitualmente quedan con secuelas.

Factores de orden genético, nutricional, económico, social y familiar, interfieren en la correcta interpretación de los efectos psicológicos, conductuales y de aprendizaje en los niños, causados por concentraciones de plomo en sangre tan bajas como 10 microgramos/100 ml.

Uno de los primeros y mas importantes efectos del plomo en el organismo humano es la alteración de la síntesis del grupo hem (molécula hemo, que conforma la hemoglobina-eritrocitos). Clínicamente aparece una palidez acentuada; (fascies saturnina), especialmente peribucal (Duffus, 1983).

Las mujeres y los niños son más sensibles que los hombres a los efectos del plomo sobre la síntesis del hem.

De este modo, los eritrocitos constituyen el componente crítico de la acción tóxica del plomo y son uno de los que primero se afectan a las dosis tóxicas más bajas.

Existe un creciente interés por los efectos del plomo sobre la población infantil expuesta en el ambiente general o perteneciente a grupos familiares expuestos (padre obrero, familia de alfareros). Se ha demostrado la asociación del plomo en el déficit mental y otras alteraciones de la conducta neuropsicológica en los niños. Se comenta que en un estudio de dos fundidoras de plomo, en el Paso (Texas, EUA), se encontró que el 55% y el 99% respectivamente de los niños que residían dentro de un radio de 1.6 Km. de la fundición, presentaban concentraciones elevadas de plomo sanguíneo de 40 o más microgramos/100 ml).

Otro estudio (OMS) de la exposición de la población en general en México, encontró 269 microgramos/l para 1981 (esto es 26 microgramos/100 ml), y 195 microgramos/l para 1992 (19 microgramos/100 ml).



Antes de 1960, se creía que las concentraciones sanguíneas inferiores a 60 microgramos/100 ml. no eran peligrosas. Sin embargo, el avance en los estudios ha motivado para que gradualmente se modifiquen los criterios de toxicidad.

Alrededor de 1978 el límite máximo permisible en la sangre se redujo a 40 microgramos/100 ml para adultos y 25 microgramos/100 ml en niños.

La concentración de plomo en agua potable también ha variado mucho, se han verificado niveles de 3.7 hasta 139 microgramos /l, sobrepasando en ocasiones el límite de 50 microgramos/l establecidos por la OMS.

La exposición al plomo en agua potable es mínima, debido a que forma compuestos insolubles del tipo de carbonatos y sulfatos, y por que el plomo es removido por las plantas convencionales de tratamiento de agua potable.

El suelo es contaminado principalmente por depósito de partículas del aire y por agua contaminada por actividades industriales.

La cantidad de plomo ingerida a través de los alimentos varía mucho, según el tipo de producto. Las determinaciones en algunos países demostraron que el aporte de plomo puede ser de 1.5mg/kg en condimentos, de 0.2 a 2.5 mg/kg en pescados y mariscos, de hasta 1.3 mg/kg en cereales y legumbres.

El efecto del plomo en el hombre en su ambiente general es menos visible y se requieren altas cantidades para contaminar, mientras que el ambiente laboral aún con concentraciones relativamente bajas, alcanza efectos nocivos para la salud. En el ambiente ocupacional la vía de absorción más importante es la vía respiratoria. La vía de exposición más importante en la población es la digestiva.

### **Uso de antídotos para Plomo.**

Tres son los antídotos más usados: Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) bajo la forma de sal cálcica disódica ( $\text{CaNa}_2\text{EDTA}$ ) d-penicilamina y dimercapro (BAL).

Se utiliza más el primero, se debe cuidar el daño en el riñón especialmente en niños. Se aplica por vía endovenosa, en dosis de adultos de 1-3 g y para niños 25-50 mg/kg se pone en solución glucosada gota a gota durante 5 horas en 5 días; pudiera ser necesario repetir el tratamiento a los 5 días.

La d- penicilamina excreta el plomo y se aplica en forma oral. El BAL se aplica asociado con EDTA en niños con encefalopatía.

### **Efecto del Plomo en los cultivos.**

Entre los efectos de este elemento se conoce que reduce el crecimiento de las raíces en concentraciones extremas e inhibe la proliferación celular; es un elemento acumulativo en la cadena alimenticia. Es absorbido en grandes

cantidades por los cultivos, concentrándose en las paredes del núcleo en la mitosis, reduce la proliferación celular de los cultivos; también es altamente tóxico a muchas plantas de importancia económica y provoca severos impactos al ecosistema natural.

El plomo causa una adelantada senectud de la planta recién nacida. A concentraciones de plomo de 100 mg/ml, la respiración en hojas se incrementa en un 22%.

Algunas investigaciones tienen establecido que varias formas de plomo producen lesiones cromosomales y otras perturbaciones.

En otros efectos interactivos por plomo se ha sugerido la hipótesis de que el efecto tóxico no es directo sobre cualquier componente celular, es más bien indirecto por la destrucción continua de células, por carencia de fosfato.

El plomo también produce alteraciones en la actividad de muchas membranas mitocondriales y cloroplásticas, así como también altera ácidos nucleicos en la actividad de la fosfatasa y de la enzima ligada a la ATPasa. (Kabata y Pendias, 1992)

Efectos sobre cloroplastos aislados, han permitido observar que el plomo inhibe el transporte de electrones en la fotosíntesis, asociada con el fotosistema II, pero no tiene efecto sobre el transporte de electrones que van al fotosistema I.

También se ha visto en cloroplastos aislados de Zea mays L. que el plomo tiene dos efectos simultáneos. (Craig, G. C., 1977)

1. inhibición del P700 a nivel fotooxidación, y
2. la alteración de la reducción cinética de P700, lo que trae como consecuencia una disminución en la velocidad de la fotofosforilación y por lo tanto en la producción de carbohidratos fotosintéticos.

Algunos estudios con cultivos hidropónicos han demostrado una reducción significativa de su producción con el incremento de niveles de plomo. En otro estudio a 100 mg/g de suelo no causó daño al cultivo de alfalfa, pero si se encontraron considerables incorporaciones de plomo en el rábano, zanahoria y espinaca.

En plantas de chícharo recién nacidas, tratados con plomo, en medio nutritivo, fue inhibida la absorción de iones de hierro, manganeso y zinc, se consideran que la inhibición es de naturaleza física, al bloquear la entrada con ligamentos o con iones cargados.

La utilización del Acetato de Plomo ( $6 \times 10^{-2} M$ ) en medio líquido, afectó la germinación de arroz aproximadamente en un 50 % disminuyendo la actividad de proteasa y alfa-amilasa en endospermos después de cuatro días. Además la actividad del RNA fue reducida al 17 %, pero el DNA fue estimulado en 12 %.

## **VIII.9 Zinc (Zn).**

### **Toxicidad del Zinc y sus compuestos.**

Los efectos tóxicos más comunes del Zn se deben a vapores de óxido de Zinc, que provoca la fiebre por vapor de Zn y los compuestos de Zinc que provocan problemas por ingestión de alimentos ácidos enlatados en recipientes galvanizados con Zn.

Los vapores de cloruro de Zn, en concentraciones altas pueden producir efectos fatales, aunque en general se considera a este compuesto como moderadamente tóxico. Esta misma sal produce dermatitis al contacto con la piel. Se piensa que el estearato de Zn puede producir neumonía.

### **Contaminación del aire con Zn.**

Las emisiones de Zn deben evitarse tanto por las pérdidas como por la contaminación que producen. Normalmente el control no es efectivo en las industrias donde el Zn es un subproducto, por lo que en este caso la contaminación puede ser considerable.

## **CAPÍTULO IX.**

### **EFFECTO DE LOS SIGUIENTES METALES PESADOS EN SUELOS.**

#### **IX.1 Cadmio (Cd)**

La abundancia de cadmio en rocas sedimentarias e ígneas no excede a 0.3 ppm y este metal al igual que el plomo está concentrado en depósitos arcillosos y pizarra (lutita). El cadmio está firmemente asociado con el zinc (Zn) en Geoquímica; pero parece tener una mayor afinidad por el azufre que por el zinc, y exhibe una mayor inestabilidad que el zinc en ambientes ácidos.

Los contenidos promedio de cadmio en suelos, se encuentran entre 0.007-1.1 ppm sin embargo, los niveles de este metal en suelos, no debe exceder de 0.5 ppm y todos los valores superiores reflejan un impacto antropogénico.

Como ocurre con otros metales pesados, un incremento en el pH del suelo por alcalinización suprime en cierta forma la captación de cadmio.

La solubilidad del cadmio está en función del pH del suelo, a pH de 7.5 el cadmio del suelo no es fácilmente movable, por consiguiente la solubilidad del  $\text{CdCO}_3$  y  $\text{Cd}(\text{PO}_4)_2$  controlan la movilidad del cadmio en suelos, pero la naturaleza de la superficie de absorción y las uniones orgánicas son también de importancia. Por lo cual, es más móvil en suelos ácidos (pH 4.5-5.5) que en suelos alcalinos, siendo más bien inmóvil.

Sin embargo, si el suelo tiene un pH menor de 6.5 aunque esté presente una C.I.C.T. de 15 meq/100 g de suelo (suelo franco o franco arcilloso) también se requieren 17 años para ser contaminados; es decir, se acelera el proceso si el

## **VIII.9 Zinc (Zn).**

### **Toxicidad del Zinc y sus compuestos.**

Los efectos tóxicos más comunes del Zn se deben a vapores de óxido de Zinc, que provoca la fiebre por vapor de Zn y los compuestos de Zinc que provocan problemas por ingestión de alimentos ácidos enlatados en recipientes galvanizados con Zn.

Los vapores de cloruro de Zn, en concentraciones altas pueden producir efectos fatales, aunque en general se considera a este compuesto como moderadamente tóxico. Esta misma sal produce dermatitis al contacto con la piel. Se piensa que el estearato de Zn puede producir neumonía.

### **Contaminación del aire con Zn.**

Las emisiones de Zn deben evitarse tanto por las pérdidas como por la contaminación que producen. Normalmente el control no es efectivo en las industrias donde el Zn es un subproducto, por lo que en este caso la contaminación puede ser considerable.

## **CAPÍTULO IX.**

### **EFFECTO DE LOS SIGUIENTES METALES PESADOS EN SUELOS.**

#### **IX.1 Cadmio (Cd)**

La abundancia de cadmio en rocas sedimentarias e ígneas no excede a 0.3 ppm y este metal al igual que el plomo está concentrado en depósitos arcillosos y pizarra (lutita). El cadmio está firmemente asociado con el zinc (Zn) en Geoquímica; pero parece tener una mayor afinidad por el azufre que por el zinc, y exhibe una mayor inestabilidad que el zinc en ambientes ácidos.

Los contenidos promedio de cadmio en suelos, se encuentran entre 0.007-1.1 ppm sin embargo, los niveles de este metal en suelos, no debe exceder de 0.5 ppm y todos los valores superiores reflejan un impacto antropogénico.

Como ocurre con otros metales pesados, un incremento en el pH del suelo por alcalinización suprime en cierta forma la captación de cadmio.

La solubilidad del cadmio está en función del pH del suelo, a pH de 7.5 el cadmio del suelo no es fácilmente movable, por consiguiente la solubilidad del  $\text{CdCO}_3$  y  $\text{Cd}(\text{PO}_4)_2$  controlan la movilidad del cadmio en suelos, pero la naturaleza de la superficie de absorción y las uniones orgánicas son también de importancia. Por lo cual, es más móvil en suelos ácidos (pH 4.5-5.5) que en suelos alcalinos, siendo más bien inmóvil.

Sin embargo, si el suelo tiene un pH menor de 6.5 aunque esté presente una C.I.C.T. de 15 meq/100 g de suelo (suelo franco o franco arcilloso) también se requieren 17 años para ser contaminados; es decir, se acelera el proceso si el

suelo es ácido. Esto es una observación valiosa porque en 17 años se pierde un suelo agrícola que estaba trabajando muy bien.

Controlar la química del cadmio en los suelos ofrece otra posibilidad para disminuir la entrada del metal en el ciclo de los alimentos. La alcalinización del suelo puede precipitar el metal no únicamente como carbonato, sino también como sulfato y fosfato, dependiendo de la abundancia de estos aniones.

Más aún el efecto competitivo del calcio y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento en el pH del suelo pueden ser valiosos al disminuir la captación de cadmio por las raíces de las plantas. Nuevamente, un arado limitado puede beneficiar las plantas de enraizado profundo, y el volteo del suelo superficial puede favorecer a las plantas de raíces superficiales.

El balance delicado de Zn-Cd y Hg en relación a su competencia por Se y por grupos --SH de proteínas y enzimas en plantas y animales, es un aspecto que no debe ser olvidado en el manejo del estado de los elementos traza de los suelos.

El pH del suelo es importante debido, en conjunto, a las condiciones de oxidoreducción en el suelo, a la determinación del equilibrio de las formas más móviles de baja valencia, y las menos móviles de alta valencia de los iones de los metales pesados. En general el pH debería exceder el valor de 6.5 para minimizar los problemas de toxicidad potencial.

Las bacterias del suelo pueden influenciar la química del mismo en relación a ciertos metales pesados, incrementando como en el caso del Zn, o disminuyendo como en el caso del Mn su disponibilidad para las plantas.

## **IX.2 Cromo (Cr).**

El contenido de cromo en rocas sedimentarias y ácido ígneas, es muy bajo y rangos de 5-120 ppm se tienen en sedimentos arcillosos.

La mayor parte del cromo en el suelo ocurre como  $\text{Cr}^{+3}$  dentro de la estructura mineral o formas mixtas de óxidos de  $\text{Cr}^{+3}$  y  $\text{Fe}^{+3}$  el comportamiento del cromo es gobernado por el pH del suelo y potencial redox. Este comportamiento puede ser modificado por complejos orgánicos de cromo y el efecto dominante de materia orgánica, estimula la reducción de  $\text{Cr}^{+6}$  a  $\text{Cr}^{+3}$  (cromo soluble a cromo Insoluble) esta conversión es importante por que es responsable del bajo cromo disponible para las plantas.

El  $\text{Cr}^{+3}$  es ligeramente móvil en medios muy ácidos y a un pH de 5.5 es casi completamente precipitado, por lo que estos compuestos son considerados muy estables en suelos. Por otra parte, el  $\text{Cr}^{+6}$  es muy inestable y es fácilmente movilizado en suelos ácidos y alcalinos. La adsorción de  $\text{Cr}^{+6}$  es muy inestable y es fácilmente movilizado en suelos ácidos y alcalinos. La adsorción de  $\text{Cr}^{+6}$  disminuye al aumentar el pH y la adsorción de  $\text{Cr}^{+3}$  aumenta al elevar el pH.

El cromo es tóxico cuando se encuentra es estado hexavalente al acumularse en los suelos, sin embargo esta forma no es muy común.

Los suelos arenosos o histosoles son usualmente los más pobres en cromo y se calcula el contenido medio de 65 ppm en suelos en general, después de 80 años de irrigación con aguas fecales, los suelos contienen 112 ppm de cromo y la contaminación del metal en ellos, aumentó de 43 a 113 ppm. Otros autores también reportaron una alta acumulación de cromo en horizontes superficiales de suelos agrícolas, donde los rangos de más alto nivel son de 214 a 349 ppm.

Aplicaciones de caliza, fósforo y materia orgánica, se conocen como métodos efectivos en la reducción de cromo tóxico en suelos contaminados. Después de la reducción, la caliza promueve la precipitación de compuestos de  $\text{Cr}^{+3}$ .

### **IX.3 Cobre (Cu).**

Otra fuente de aporte de Cobre son las aguas de desecho de las diversas industrias que se mezclan con aguas municipales, que en algunos casos llegan a utilizarse en el riego agrícola.

### **IX.4 Hierro (Fe).**

El Hierro es ligeramente tóxico, a pH altos no está disponible.

### **IX.5 Manganeso (Mn).**

Este elemento resulta moderadamente tóxico en altas cantidades.

### **IX.6 Níquel (Ni).**

El níquel, en términos generales, es uno de los metales pesados relativamente no tóxicos y que se encuentran en tejidos humanos, siendo esencial para el cuerpo humano juntamente con el hierro, cobalto, cobre y zinc, aunque su función fisiológica no está aún determinada con exactitud.

Sin embargo, el níquel y sus compuestos tienen efectos tóxicos importantes sobre todo en la contaminación del aire. Los polvos y vapores pueden producir cáncer en pulmones y seno nasal, enfermedades del sistema respiratorio y dermatitis. Los efectos en ambientes de trabajo y en el aire de zonas aledañas es bastante relevante. En especial son importantes el cáncer en senos nasales y las dermatitis. También se han detectado afecciones importantes en la sangre, debido a inhalaciones de polvos y gases de este elemento.

Toxicidad del Carbonilo de Níquel.

El carbonilo de níquel, cuya toxicidad es unas 5 veces la del monóxido de carbono, en casos agudos produce una falta severa de movimientos pulmonares, provocando entre otros efectos, que el diafragma pulmonar tome una posición anormal alta. Fisiológicamente, los disturbios son a nivel capilar y arteriolar. Este compuesto es líquido inflamable, que hierve a  $43^{\circ}\text{C}$ , el cual se descompone fácilmente en níquel metálico y monóxido de carbono, generando dos

contaminantes importantes, ya que se suministra al cuerpo receptor una importante concentración de níquel activo, el cual se deposita en los pulmones. El carbonilo de níquel se forma al reaccionar el níquel y el monóxido de carbono a temperaturas altas probablemente en incineradores de lodos o de desechos sólidos que contienen este metal. En el proceso Mond para la producción de níquel se produce carbonilo de níquel en un paso intermedio de la reacción, por lo que en este caso, los cuidados deben ser extremos.

### **IX.7 Plomo (Pb).**

La abundancia terrestre de Plomo, tiende a concentrarse en las series ácidas de rocas ígneas y sedimentos arcillosos que en rangos de concentraciones comunes de plomo son de 10 a 40 ppm mientras que en rocas ultramórficas y sedimentos calcáreos los rangos son de 0.1 a 10 ppm.

Debido a la contaminación del plomo es probable enriquecer los suelos con este metal, especialmente en la superficie del horizonte superficial de diferentes suelos de varios países muestra valores de 32 ppm.

La contaminación de suelos con plomo se considera un proceso irreversible, y por lo tanto un proceso acumulativo en superficies de suelos aunque el aporte sea bajo.

Si en ciertas áreas se continúa usando plaguicidas con contenido de plomo (arseniato de plomo) se debe considerar esta situación como elemento adicional de contaminación de suelos, especialmente agrícolas.

El plomo es el menos móvil entre todos los metales, por su relativa baja concentración en solución de suelos, se ha considerado que la lixiviación del metal puede suceder como complejos o quelatos solubles en materia orgánica.

La presencia del plomo en la parte superficial del suelo se debe a la acumulación de la materia orgánica en esa zona. Así como también por las grandes concentraciones de plomo en las superficies de horizontes de suelos orgánicos no cultivados.

Se estima un aumento de plomo anual en los suelos agrícolas de 3.7 % de la cantidad total.

La acumulación de plomo en superficies de suelos, es de gran importancia ecológica porque se conoce que este metal influye en la actividad biológica del suelo. Al aumentar los niveles de plomo en el suelo, es probable que limiten la actividad enzimática macrobiótica y en consecuencia aumenta la acumulación de la descomposición incompleta de la materia orgánica, celulosa.

El efecto tóxico del plomo se conoce desde hace siglos. Hay quienes afirman que la desintegración de la clase dominante romana se debió a la intoxicación lenta por plomo, que constituía la base de los recipientes usados para comer y beber.

El peligro actual de la contaminación por plomo se halla en el aire. Gran parte de las partículas de plomo son inferiores a 0.4 micras penetrando en lo profundo de los pulmones. Se calcula que el 40 % del plomo que ingerimos por la respiración es absorbido por el cuerpo; sin embargo, se absorbe menos del 10 % del contenido de plomo en el agua y en los alimentos.

El plomo que se respira, añadido al que ingerimos con el agua y los alimentos, puede alcanzar límites peligrosos.

La fuente más importante de plomo atmosférico la constituyen los coches, (Dutta, 1981), ya que se añade a la gasolina como antidetonante (se supone que ya disminuyó en la gasolina actualmente). El plomo se oxida y reacciona con los elementos halógenos para formar:  $PbBr_2$ ;  $PbCl_2$ ; y otros.

## **IX.8 ZINC (Zn)**

### **Efectos**

El zinc es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. El crecimiento de las plantas puede sufrir desde carencia de zinc en suelos deficientes de zinc hasta niveles excesivos en los suelos, que son tóxicos para las plantas y los organismos en el suelo. Por ejemplo, la toxicidad de zinc ha sido observada en el algodón y en la soja y en el maní expuestos a Zn en rocíos de pesticida usados en duraznos (algodón y soja).

Varios factores del suelo, la planta y el medio ambiente influyen la disponibilidad y toxicidad de zinc para las plantas. El zinc es más soluble en suelos ácidos. La solubilidad del zinc, desde el punto de vista de su disponibilidad, disminuye a medida que el pH del suelo es incrementado desde pH 4 a pH 7. Se ha encontrado que un incremento en el zinc del suelo desde 1 a 10 mg/Kg incrementa las hojas de maní por 202 mg/Kg a un pH del suelo de 4,6 y por sólo 9 mg/Kg a pH 6,6. En tratamientos de lodos de aguas residuales, se ha observado una reducción en la fitotoxicidad del metal cuando el pH del suelo fue elevado desde 6,2 a 7,0. A pH 7,0, más de 4 veces la cantidad de zinc y níquel fue requerida para producir la misma reducción en rendimiento de betarragas y cebollas como a pH 6,2. En estudios más recientes, se notó que la concentración de todos los elementos (níquel, cobre y zinc) en centeno, crecidos en dos suelos tratados con aguas residuales, disminuyó como una función lineal simple del pH del suelo que incrementa desde 4,2 a 7,0. En base a estos resultados, se proponen concentraciones máxima permisibles de zinc en el suelo como una función del pH, para protegerlo en contra de reacciones fitotóxicas

**Tabla 4 Efectos del Zinc en Rendimiento de Cultivos y Sustentabilidad del Suelo.**

<b>Rango de Concentración (mg/L)</b>	<b>Rendimiento del Cultivo y Sustentabilidad del Suelo</b>
--------------------------------------	--



Rango de calidad de aguas objetivo < 1,0	Tóxico para muchas plantas a una concentración de 1 mg/L y menos en soluciones de nutrientes. El rango de calidad de aguas objetivo debería proteger a la mayoría de las plantas desde concentraciones tóxicas de zinc absorbidas incluso cuando crecen sobre suelos arenosos ácidos.
1,0 – 5,0	Concentración máxima aceptable para suelos neutros a alcalinos de textura fina.
> 5,0	Aceptable para riego sólo en cortos tiempos en base a un sitio específico.

Fuente: South African Water Quality Guidelines

**Tabla 5. Efectos del Zinc en los Usos del Agua de Riego**

<b>Usos de Agua de Riego</b>	<b>Efectos</b>
Aplicación a cultivos comerciales.	El rendimiento de cultivo es afectado por la sensibilidad del cultivo al zinc consumido a través de las raíces de la planta.
Aplicación para mantener sustentabilidad del suelo regado.	Acumulación en el suelo a concentraciones donde el cultivo es afectado.
Mantenimiento de equipos de riego.	Efectos desconocidos.

Fuente: South African Water Quality Guidelines

## **OBJETIVOS**

### Objetivo general

Contribuir al conocimiento de la contaminación por metales pesados en la zona lacustre de Xochimilco y Mixquic, D. F.

### Objetivos específicos

Cuantificar los elementos contaminantes en agua y lodos residuales de las plantas de tratamientos.

Cuantificar los metales pesados de nuestro interés en algunos canales de Xochimilco y Mixquic.

Determinar los elementos contaminantes en suelos representativos y en tejidos vegetales de cultivos específicos.

Investigar los efectos que causan los elementos de nuestro interés al medio.

## **METODOLOGÍA.**

### **SITUACIÓN GEOGRÁFICA.**

La zona de estudio se ubica entre los paralelos 19° 09' y los 19° 19' latitud norte; los meridianos 98° 56' y los 99° 09' longitud oeste; y una altitud de 2 240 msnm.

El clima indica temperatura media anual de 15.9° C y precipitación media anual de 620.4 mm.

El clima es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano y parte en otoño, con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, las que están entre 5° C y 7° C y la clave es C(w<sub>2</sub>) b(l'). (García 1981).

Cuenta con 800 hectáreas en ejidos, para 2 237 parcelas para el mismo número de ejidatarios, (actualmente poseedores) tiene además 38 760 chinampas de diferentes áreas que van de 200, 400, 600 y 950 m<sup>2</sup>. en un zona de más de 200 Km. de canales para el riego de las zonas de cultivo.

### **DIVISIÓN POLÍTICA.**

Xochimilco está situado al sureste del distrito Federal a 23 Km. de la capital de la República. Está delegación colinda, al norte con la delegación de Iztapalapa y Tláhuac y Milpa Alta, al sur con la delegación de Milpa Alta, al oriente con la delegaciones de Tláhuac y Milpa Alta y al poniente con la delegación de Tlalpan. Xochimilco es una localidad catalogada como Ciudad, dividida en quince barrios.

### **GEOLOGÍA.**

El área de Xochimilco tiene formación de tres periodos: Terciario Medio, Terciario Superior y Cuaternario.

Existen rocas volcánicas andesíticas, basálticas, traquiandesíticas, dacitas, lutitas, riolitas y piroxenas, estas rocas se formaron en el Terciario Medio. Al Suroeste de Xochimilco se localiza la Sierra de Xochitepec.

Al noroeste se localiza la Sierra de Santa Catarina, formada por material piroclástico de composición intermedia y básica constituidos principalmente por arenas, cenizas, lavas y pequeñas interdigitaciones de derrames lávicos basálticos.

El vulcanismo del Cuaternario Superior se manifestó con extraordinarias efusiones lávicas, como lo muestra la Sierra de Chichinautzin, situada al sur de la delegación, formada esta sierra por derrames lávicos basálticos así como acumulaciones de brechas, arenas y cenizas provenientes de conos volcánicos. (Mooser, 1987)

La zona lacustre se encuentra a una altura de 2 238 msnm planicie que se interrumpe por afloramientos volcánicos aislados que contribuyen a la formación de diferentes subcuencas.

La casi totalidad de la planicie en que se encuentran los lagos del Valle (cuenca) es de formación Cuaternaria.

La formación de estos lagos probablemente se presentó en el periodo Champlain o Diluvial.

Hidrología de la zona de estudio.

Los principales afluentes de esta zona lacustre son: El Canal Nacional que acarrea las aguas residuales de la Ciudad de México incluyendo el agua del Río Churubusco, el agua que proviene de la planta tratadora de aguas negras del Cerro de la Estrella por el canal de Garay, así como por ríos temporales como el Buenaventura con cabecera en el volcán Ajusco; Santiago con cabecera en el volcán Pelado; San Lucas con cabecera en el volcán Cuautzin; el San Gregorio con cabecera en la franja montañosa de Milpa Alta y por aportes pluviales y por el agua de drenaje urbano de la zona. (Plan para la Regeneración Ecológica y el Desarrollo Regional de la Cuenca Hidrológica de Xochimilco, 1990).

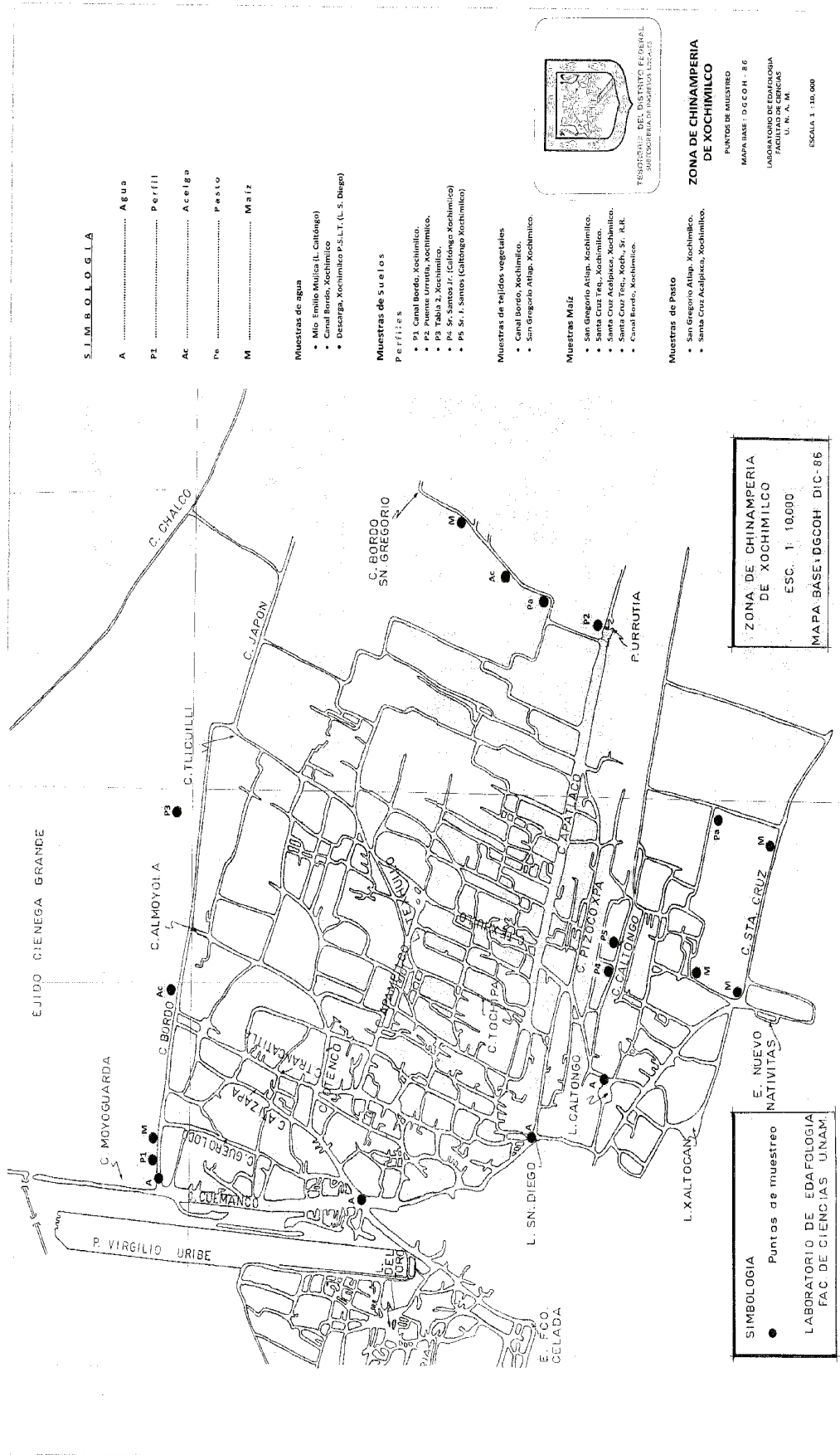
## **MUESTREOS**

### **Tejidos vegetales**

En esta tesis se presentan los datos de los materiales muestreados de mayo a septiembre 1990, se realizaron muestreos de vegetación, de suelo y de agua como lo indican los planos de Xochimilco y Mixquic (Mapa No.1 y Mapa No.2). En los sembradíos de maíz se colectaron plantas con orientación a los puntos cardinales y al centro de la misma (zig-zag); lo mismo se hizo para las muestras de acelga, pasto y lirio acuático. En los muestreos de vegetación se tomaron las plantas completas para lavarlas con agua de la llave y después con agua destilada tres veces sin jabón, enseguida se separaron en raíz, tallo, hojas y en su caso fruto. Se pusieron a secar sobre papel de estraza por un día, enseguida se metieron en bolsas de papel a las que se les hicieron perforaciones pequeñas y se colocaron en la estufa a 70<sup>0</sup> C por 48 horas. Las muestras se molieron en mortero de agata para no usar ningún instrumento de metal.

Se preparó la mezcla diácida. Se pesaron 0.5 g de muestra (seca y molida) y se colocaron en matraces microkheldal secos. Al matraz con las muestras se les agrega 1 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3 ml de la mezcla diácido, se agita y se deja reposar una noche y luego se evapora sobre una placa, se espera hasta que la muestra en el fondo del matraz quede blanca, se deja reposar una tarde (enfriar) y al día siguiente se afora en un matraz de 50 ml con agua destilada desionizada. Y se procedió a leer en Atomic Absortion Spectrophotometer Perkin-Elmer 3100.

Los sitios de muestreo se pueden localizar en los mapas número 1 y 2.



Mapa 1: Sitios de Muestreo en Xochimilco D.F.

## SIMBOLOGIA

### Muestras de tejidos vegetales

- 1 Canal Independencia
- 2 Canal San Miguel
- 3 Canal Agua Dulce

### Muestras de Suelos

### Perfiles

- 1 Canal Independencia
- 2 Canal San Miguel
- 3 Canal Agua Dulce

### Muestras de Agua

- 1 Canal Independencia
- 2 Canal San Miguel
- 3 Canal Agua Dulce

## MIXQUIC

ETAPAS 1-1

CARTA DE ORDENAMIENTO DE CONSTRUCCION

ESCALA 1 : 30,000

SISTEMA DE INFORMACION CARTOGRAFICO CATASTRAL

Mapa 2: Sitios de Muestreo en Mixquic. D.F.

## **Muestras de Suelos**

Por lo que se refiere a la recolecta de Suelo de los perfiles se hizo el muestreo utilizando utensilios de madera para evitar en lo posible alguna contaminación. La recolecta se hizo cada 10 cm y las muestras se depositaron en bolsas de plástico, se etiquetaron con los datos pertinentes y se transportaron al laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Las muestras de los suelos se secaron sobre papel de estraza nuevo.

Se tamizó en tamiz de aluminio malla 10, la muestra se recibió en bolsa de polietileno transparente.

Se secaron los suelos a 110<sup>0</sup> C durante 3 horas; se pesaron 2 g de suelo y se les agregaron 25 ml de HNO<sub>3</sub>, 4 molar; los primeros 5 ml se agregan de ml en ml esperando que deje de efervescer la muestra y los restantes 20 ml se agregaron con una prepipeta.

Se calienta en baño de arena a 80<sup>0</sup> C durante 24 horas ininterrumpidas. Se dejaron enfriar 30' luego se agitó por 30'. Se aforó a 50 ml con agua destilada-desionizada.

Se filtró con papel wathman No. 5. Y se determinaron los metales pesados en un aparato Atomic Absortion Spectrophotometer Perkin-Elmer 3100.

## **Muestras de Agua**

La metodología utilizada fue la siguiente se tomaron por muestra 300 ml de agua que al tiempo de colecta se le adicionaron 3 ml de ácido nítrico para llevarlo a sequedad a una temperatura de 80-90<sup>0</sup> C sobre una placa de arena, hasta que la muestra quedó de un color amarillo claro, recuperando muestra con ácido clorhídrico 0.2 N aforando a 50 ml esta solución se preparó con agua destilada desionizada. (Nota: se agregaron primero 20 ml y se agitó vigorosamente el matraz luego otros 20 ml y finalmente 10 ml sin dejar de agitar fuertemente) Técnica según el US EPA, 1773.

La lectura de las muestras se efectuó en aparato de Atomic Absortion Spectrophotometer Perkin-Elmer 3100.

Después de haber obtenido los datos de las lecturas de todas las muestras se realizó un análisis minucioso sobre los Análisis Estadísticos que se pudiera aplicar con mayor confiabilidad, por lo que se decidió aplicar el Análisis de Componentes Principales, el cual es una Técnica Estadística de Síntesis de la Información, o reducción de la dimensión. Los componentes principales son una combinación lineal de las variables originales y son independientes entre sí, este análisis se genera cuando existen altas correlaciones entre las variables. Los factores se eligen considerando la proporción de variabilidad que cada uno contiene hasta que se acumule la variabilidad que se considere suficiente; estos factores se llaman

componentes principales. Una vez seleccionados los componentes principales se representan en forma de una matriz, cada elemento de esta matriz representa los coeficientes factoriales de las variables. La matriz tendrá tantas columnas como componentes principales y tantas filas como variables.



## RESULTADOS

### Resultados de las Lecturas y las Concentraciones de Metales Pesados en Muestras de Agua y de Tejidos Vegetales.

Tabla 6.

MUESTRAS DE AGUA															
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.													
		Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,360	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,091	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,250	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,198	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,151	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,210	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm= 0,124	P.P.M.
		Cd.	Cd.	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	Planta Aculco	0.004	0.022	0.005	0.109	0.011	0.220	0.022	0.555	0.007	0.231	0.002	0.190	0.135	0.544
2	Planta Cerro de la Estrella	0.004	0.022	0.006	0.131	0.030	0.600	0.398	10.050	0.011	0.364	0.006	0.571	0.006	0.024
3	Planta San Luis Tlaxialtemalco	0.003	0.016	0.002	0.043	0.012	0.240	0.016	0.404	0.005	0.165	0.001	0.095	0.195	0.786
4	Canal de Cuernavaca	0.002	0.011	0.004	0.087	0.017	0.340	0.288	7.272	0.015	0.496	0.005	0.476	0.819	3.302
5	Planta el Hueso	0.002	0.011	0.007	0.153	0.025	0.500	0.290	7.323	0.008	0.264	0.011	1.047	0.505	2.036
6	Canal Belem Xochimilco	0.003	0.016	0.003	0.065	0.038	0.760	0.060	1.515	0.008	0.264	0.007	0.666	0.255	1.028
		<b>Segunda Lectura Estandar 2ppm=0,360</b>		<b>Segunda Lectura Estandar 2ppm=0,090</b>		<b>Segunda Lectura Estandar 5ppm=0,248</b>		<b>Segunda Lectura Estandar 5ppm=0,210</b>		<b>Segunda Lectura Estandar 5ppm=0,146</b>		<b>Segunda Lectura Estandar 20ppm=0,200</b>		<b>Segunda Lectura Estandar 0,5ppm=0,139</b>	
7	Canal Caltongo Xochimilco	0.005	0.028	0.003	0.066	0.013	0.262	0.016	0.380	0.009	0.308	0.004	0.400	0.046	0.165
8	Laguna Caltongo Xochimilco	0.005	0.028	0.030	0.666	0.028	0.564	0.077	1.833	0.041	1.404	0.009	0.900	0.362	1.459
9	Canal San Diego Xochimilco	0.009	0.051	0.005	0.111	0.013	0.262	0.043	1.023	0.006	0.205	0.005	0.500	0.095	0.341
10	Lago Xaltocan Xochimilco	0.007	0.040	0.016	0.355	0.025	0.504	0.090	2.142	0.008	0.273	0.007	0.700	0.410	1.474
11	Canal Naciona Urrutia Xochimilco	0.009	0.051	0.001	0.022	0.027	0.544	0.100	2.380	0.008	0.273	0.004	0.400	0.194	0.697
12	Canal Nacional San Gregorio	0.005	0.028	0.005	0.11	0.21	0.423	0.013	0.309	0.007	0.239	0.002	0.200	0.110	0.393
		<b>Tercer Lectura Estandar 2ppm=0,400</b>		<b>Tercer Lectura Estandar 2ppm=0,089</b>		<b>Tercer Lectura Estandar 5ppm=0,254</b>		<b>Tercer Lectura Estandar 5ppm=0,203</b>		<b>Tercer Lectura Estandar 5ppm=0,150</b>		<b>Tercer Lectura Estandar 20ppm=0,210</b>		<b>Tercer Lectura Estandar 0,5ppm=0,130</b>	
13	Planta Cerro de la Estrella antes de Cloración	0.008	0.040	0.004	0.089	0.025	0.492	0.035	0.862	0.005	0.166	0.002	0.190	0.068	0.261
14	Canal San Miguel Mixquic	0.006	0.034	0.007	0.155	0.017	0.342	0.052	1.280	0.006	0.200	0.002	0.190	0.073	0.280
15	Canal Agua Dulce Mixquic	0.007	0.035	0.011	0.247	0.016	0.314	0.020	0.492	0.004	0.133	0.003	0.285	0.098	0.376
16	Canal Calzada Independia Mixquic	0.007	0.035	0.007	0.155	0.013	0.255	0.044	1.083	0.006	0.200	0.002	0.190	0.116	0.446
17	Emilio Mujica Xochimilco M-10	0.004	0.020	0.008	0.179	0.012	0.236	0.005	0.123	0.003	0.100	0.001	0.095	0.050	0.192
18	Emilio Mujica Canal de Descarga Planta San Luis Tlaxialtemalco	0.005	0.025	0.014	0.314	0.006	0.118	0.002	0.049	0.005	0.166	0.000	0.000	0.630	2.423

Tabla 7.

MUESTRAS DE AGUA																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,375	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,125	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,209	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,144	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,128	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,125	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,116	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,115	P.P.M.
		Cd.	Cd.	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	Planta Aculco	0.006	0.032	0.007	0.112	0.024	0.598	0.157	5.451	0.076	2.000	0.014	0.560	0.008	1.379	0.380	16.521
2	M-10 E. Mújica Xochimilco	0.004	0.021	0.006	0.096	0.018	0.430	0.041	1.423	0.070	1.296	0.012	0.480	0.006	1.034	0.072	3.130
3	Canal Belem Xochimilco	0.004	0.021	0.006	0.096	0.010	0.239	0.004	0.138	0.005	0.092	0.015	0.600	0.006	1.034	0.004	0.173
4	Planta S. L. Tlax. Antes de Cloración	0.005	0.026	0.005	0.086	0.036	0.861	0.076	2.638	0.013	0.240	0.015	0.600	0.006	1.034	0.342	14.869
5	Descarga Xoch. Planta S.L. Tlaxial.	0.004	0.021	0.004	0.069	0.008	0.191	0.002	0.069	0.006	0.111	0.010	0.400	0.006	1.034	0.005	0.217
6	Planta S.L. Tlax. Aireación	0.004	0.021	0.007	0.121	0.026	0.622	0.145	5.034	0.101	1.870	0.012	0.480	0.008	1.379	0.155	6.739
7	Planta C.de la Est. Aireación	0.004	0.021	0.009	0.156	0.043	1.028	0.440	15.277	0.086	1.592	0.015	0.600	0.008	1.379	0.535	23.260
8	Planta C. de la Est.antes de Cloración	0.005	0.026	0.027	0.432	0.055	1.315	0.281	9.756	0.095	1.759	0.016	0.640	0.013	2.241	0.533	23.173

Tabla 8.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "RAIZ DE PLANTA DE MAIZ"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	S.Gregorio Atlapulco Xochimilco	0.020	0.833	0.001	0.018	0.011	0.246	0.064	1.454	0.014	0.215	0.015	0.480	0.014	2.333	0.052	0.262
2	Agua Dulce Mixquic	0.022	0.976	0.002	0.037	0.017	0.381	0.129	2.931	0.016	0.246	0.018	0.576	0.022	3.666	0.108	0.545
3	Tequisquiapan Sta.Cruz Acalpixca Xoch.	0.024	0.937	0.001	0.016	0.010	0.226	0.120	2.690	0.021	0.323	0.026	0.866	0.020	3.305	0.058	0.284
4	Santa Cruz Acalpixca Xochimilco	0.025	0.976	0.002	0.033	0.013	0.290	0.038	0.859	0.022	0.338	0.019	0.612	0.018	3.000	0.071	0.358
5	Tequisquiapan S.C. Acal. Sr. R. Rodríguez	0.019	0.791	0.003	0.055	0.006	0.131	0.039	0.886	0.016	0.246	0.024	0.769	0.020	3.333	0.125	0.644
6	Bordo S. Miguel Mixquic	0.027	1.054	0.001	0.011	0.018	0.401	0.040	0.904	0.016	0.246	0.019	0.612	0.021	3.500	0.056	0.288
7	Bordo Canal Belem Xoch.	0.020	0.833	0.003	0.055	0.018	0.401	0.060	1.357	0.025	0.384	0.024	0.769	0.018	3.000	0.056	0.288

Tabla 9.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "HOJAS DE PLANTA DE MAIZ"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0,120	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	S.G.Atlapulco Xochimilco	0.034	1.416	0.001	0.018	0.006	0.134	0.055	1.250	0.026	0.400	0.024	0.769	0.020	3.333	0.131	0.661
2	Agua Dulce Mixquic	0.022	0.0916	0.002	0.037	0.011	0.246	0.078	1.772	0.025	0.384	0.025	0.801	0.022	3.666	0.163	0.823
3	Tequisquiapan S.C.Acalpixca Xoch.	0.026	0.955	0.002	0.033	0.003	0.067	0.076	1.704	0.020	0.307	0.028	0.933	0.020	3.305	0.117	0.573
4	Sta. Cruz Acalpixca Xochimilco	0.025	0.919	0.002	0.033	0.007	0.158	0.041	1.919	0.028	0.430	0.023	0.766	0.020	3.305	0.095	0.465
5	Tequisquiapan S.C.Acal.Sr.R.Rodríguez	0.030	1.250	0.001	0.016	0.013	0.294	0.049	1.098	0.022	0.338	0.028	0.933	0.021	3.471	0.120	0.588
6	Bordo San Miguel Mixquic	0.015	0.551	0.002	0.033	0.014	0.316	0.034	0.762	0.010	0.153	0.016	0.533	0.013	2.148	0.037	0.181
7	Bordo Canal Belem Xochimilco	0.026	0.955	0.002	0.033	0.011	0.246	0.075	1.696	0.030	0.461	0.023	0.766	0.020	3.333	0.117	0.573

Tabla 10.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "HOJAS Y TALLOS DE PLANTA DE MAIZ"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0,120	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	S.G.Atlapulco Xochimilco	0.020	0.833	0.001	0.018	0.022	0.201	0.031	0.704	0.015	0.230	0.015	0.480	0.014	2.333	0.067	0.338
2	Agua Dulce Mixquic	0.031	1.291	0.003	0.055	0.011	0.246	0.073	1.659	0.026	0.400	0.027	0.865	0.020	3.333	0.073	0.621
3	Tequisquiapan S.C.Acalpixca Xoch.	0.017	0.708	0.002	0.037	0.002	0.044	0.044	1.000	0.013	0.200	0.022	0.705	0.018	3.000	0.049	0.247
4	Sta. Cruz Acalpixca Xochimilco	0.027	1.125	0.003	0.050	0.012	0.267	0.034	0.769	0.017	0.261	0.024	0.774	0.021	3.500	0.067	0.345
5	Tequisquiapan S.C.Acal.Sr.R.Rodriguez	0.027	1.125	0.000	0.000	0.016	0.357	0.058	1.312	0.025	0.384	0.025	0.806	0.020	3.333	0.125	0.644
6	Bordo San Miguel Mixquic	0.018	0.750	0.004	0.075	0.011	0.246	0.040	0.909	0.021	0.323	0.016	0.512	0.017	2.833	0.053	0.267
7	Bordo Canal Belem Xochimilco	0.020	0.819	0.001	0.016	0.014	0.312	0.048	1.085	0.019	0.292	0.023	0.741	0.016	2.666	0.086	0.443

Tabla 11.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "MAZORCA DE MAIZ"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0,120	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	S.G.Atlapulco Xochimilco	0.026	0.955	0.001	0.016	0.011	0.248	0.059	1.334	0.028	0.430	0.028	0.933	0.021	3.471	0.155	0.759
2	Agua Dulce Mixquic	0.015	0.551	0.002	0.033	0.011	0.248	0.047	1.053	0.014	0.215	0.022	0.733	0.013	2.148	0.095	0.465
3	Tequisquiapan S.C.Acalpixca Xoch.	0.025	1.041	0.003	0.055	0.020	0.448	0.030	0.681	0.014	0.215	0.002	0.064	0.029	3.333	0.068	0.343
4	Sta. Cruz Acalpixca Xochimilco	0.022	0.808	0.001	0.018	0.007	0.158	0.043	0.972	0.026	0.400	0.022	0.733	0.022	3.666	0.155	0.759
5	Tequisquiapan S.C.Acal.Sr.R.Rodríguez	0.029	1.208	0.002	0.033	0.005	0.111	0.027	0.610	0.016	0.246	0.026	0.838	0.022	3.666	0.093	0.479
6	Bordo San Miguel Mixquic	0.022	0.808	0.002	0.033	0.009	0.203	0.024	0.538	0.016	0.246	0.024	0.800	0.018	2.975	0.132	0.647
7	Bordo Canal Belem Xochimilco	0.025	1.041	0.003	0.055	0.020	0.448	0.054	1.221	0.030	0.461	0.026	0.838	0.020	3.333	0.068	0.343

Tabla 12.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "ESPIGA DE PLANTA DE MAIZ"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0,120	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	S.G.Atlapulco Xochimilco	0.028	1.166	0.003	0.050	0.013	0.290	0.066	1.493	0.024	0.369	0.025	0.806	0.021	3.500	0.139	0.716
2	Agua Dulce Mixquic	0.025	1.041	0.001	0.016	0.021	0.468	0.055	1.244	0.021	0.323	0.20	0.645	0.019	3.166	0.155	0.798
3	Tequisquiapan S.C.Acalpixca Xoch.	0.020	0.735	0.003	0.050	0.012	0.271	0.026	0.582	0.012	0.184	0.022	0.733	0.017	2.809	0.097	0.475
4	Sta. Cruz Acalpixca Xochimilco	0.020	0.735	0.003	0.055	0.014	0.312	0.066	1.493	0.026	0.400	0.025	0.806	0.020	3.305	0.139	0.176
5	Tequisquiapan S.C.Acal.Sr.R.Rodríguez	0.020	0.735	0.002	0.033	0.012	0.271	0.033	0.746	0.030	0.461	0.020	0.645	0.020	3.305	0.139	0.176
6	Bordo San Miguel Mixquic	0.031	1.139	0.002	0.033	0.007	0.158	0.051	1.143	0.035	0.538	0.031	1.033	0.026	4.297	0.058	0.284
7	Bordo Canal Belem Xochimilco	0.025	1.041	0.001	0.018	0.020	0.448	0.060	1.357	0.026	0.400	0.020	0.645	0.018	2.975	0.139	0.716

Tabla 13.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "HOJAS DE ACELGA"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0,120	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	Bordo San Miguel Mixquic	0.022	0.808	0.002	0.033	0.008	0.180	0.044	0.986	0.017	0.261	0.023	0.766	0.017	2.809	0.078	0.382
2	Agua Dulce Mixquic	0.020	0.833	0.002	0.033	0.011	0.246	0.050	1.131	0.012	0.184	0.020	0.666	0.013	2.148	0.096	0.494
3	S. Gregorio Atlapulco Xochimilco	0.017	0.625	0.001	0.016	0.014	0.312	0.034	0.769	0.020	0.307	0.024	0.774	0.014	2.333	0.065	0.335



Tabla 14.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "RAÍZ DE ACELGA"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0,120	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	Bordo San Miguel Mixquic	0.012	0.500	0.002	0.333	0.008	0.178	0.070	1.583	0.013	0.200	0.013	0.419	0.011	1.833	0.032	0.164
2	Agua Dulce Mixquic	0.015	0.551	0.003	0.050	0.011	0.246	0.092	2.081	0.016	0.246	0.013	0.419	0.019	1.900	0.046	0.237
3	S. Gregorio Atlapulco Xochimilco	0.010	0.330	0.002	0.033	0.007	0.158	0.056	1.266	0.014	0.215	0.010	0.330	0.012	1.983	0.052	0.268

Tabla 15.

MUESTRAS DE TEJIDOS VEGETALES "PLANTA COMPLETA DE PASTO"																	
Numero de Muestra	Sitio	E L E M E N T O S.															
		Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,120-0,128-0,136	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,108-0,119-0,120	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,223-0,224-0,221	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,220-0,221-0,223	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 2 ppm=0,130-0,130-0,130	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 5 ppm=0,156-0,155-0,150	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 20 ppm=0,120-0,121	P.P.M.	Lectura Absorbancia Estandar 0,5ppm=0,099-0,097-0,102	P.P.M.
		Co	Co	Cr	Cr	Cu	Cu	Fe	Fe	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn.
1	Bordo San Miguel Mixquic	0.027	1.125	0.001	0.016	0.011	0.133	0.036	0.814	0.015	0.230	0.025	0.806	0.020	3.333	0.116	0.597
2	Agua Dulce Mixquic	0.024	0.937	0.003	0.050	0.013	0.290	0.084	1.900	0.012	0.184	0.017	0.548	0.017	2.833	0.086	0.443
3	S. Gregorio Atlapulco Xochimilco	0.017	0.625	0.002	0.033	0.016	0.361	0.045	1.008	0.012	0.184	0.020	0.666	0.012	1.983	0.076	0.372
4	Sta. Cruz Acalpixca Xochimilco	0.020	0.819	0.002	0.033	0.016	0.361	0.076	1.719	0.018	0.276	0.018	0.576	0.018	3.000	0.120	0.618

## RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS

Tabla 16.

Profundidad de los metales con mayor concentración promedio

METAL	PROMEDIO MÁXIMO. EN PPM	PROFUNDIDAD
Cadmio	0.39	30-40
Cobalto	0.34	120-130
Cobre	1.06	150-160
Cromo	1.34	70-80
Fierro	38.81	50-60
Manganeso	17.30	150-160
Níquel	0.75	110-120
Plomo	0.67	0-10
Zinc	6.73	150-160

**Tabla 17.****Profundidad de los metales con menor concentración promedio**

<b>METAL</b>	<b>PROMEDIO MÍNIMO. EN PPM</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
Cadmio	<b>0.001</b>	<b>150-160</b>
Cobalto	<b>0.21</b>	<b>140-150</b>
Cobre	<b>0.66</b>	<b>100-110</b>
Cromo	<b>0.17</b>	<b>150-160</b>
Fierro	<b>36.34</b>	<b>20-30</b>
Manganeso	<b>4.23</b>	<b>90-100</b>
Níquel	<b>0.21</b>	<b>10-20</b>
Plomo	<b>0.13</b>	<b>140-150</b>
Zinc	<b>1.53</b>	<b>70-80</b>

**Tabla 18. CONTENIDO PROMEDIO EN PPM DE METALES EN EL PERFIL COMPLETO**

<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>0-10</b>	0.24638	0.48542857	0.852	37.8866667	7.774875	0.58	0.669375	3.20625	0
<b>10,-20</b>	0.24	0.54	0.82	38.36	7.70	0.21	0.64	2.38	0.00
<b>20-30</b>	0.24	0.59	0.91	36.34	6.68	0.26	0.53	2.92	0.00
<b>30-40</b>	0.2685	0.501	0.816875	38.4966667	6.8895	0.23	0.477	2.307125	0.39
<b>40-50</b>	0.25985714	0.64033333	0.77285714	36.62	7.406	0.525	0.49414286	2.49885714	0.002
<b>50-60</b>	0.25557143	0.64071429	0.793	38.805	6.948	0.705	0.42185714	2.88442857	0
<b>60-70</b>	0.25142857	0.60085714	0.66971429	36.95	7.17628571	0.52	0.28642857	2.83157143	0.00028571
<b>70-80</b>	0.256	1.34357143	0.768	36.74	5.07471429	0.47	0.23257143	1.52757143	0.002
<b>80-90</b>	0.23457143	0.57742857	0.67814286	36.68	5.10971429	0.585	0.247	2.04328571	0.0025
<b>90-100</b>	0.22614286	0.67557143	0.69542857	36.65	4.23514286	0.55	0.20928571	2.13871429	0
<b>100-110</b>	0.22133333	0.74266667	0.65616667	36.91	4.564	0.73	0.274	1.6105	0.003
<b>110-120</b>	0.27916667	0.4045	0.78316667		5.46766667	0.75	0.34316667	1.74483333	0
<b>120-130</b>	0.3446	0.2218	0.8738		7.4624		0.4992	1.8826	0.03457166
<b>130-140</b>	0.27725	0.70025	0.72775		6.6505		0.23675	3.18	0.0075
<b>140-150</b>	0.21366667	0.4345	0.72966667		5.788		0.127	4.103	0.002
<b>150-160</b>	0.29	0.168	1.063		17.291		0.337	6.726	0.001
<b>PROMEDIO</b>	0.25653	0.57902	0.78839	37.31258	7.01394	0.50948	0.37645	2.74898	0.02796
<b>H0:</b>	0.01	0.001	0.03		0.1	0.05	0.001	0.005	0.001

**Tabla 19. MÁXIMOS, MÍNIMOS, PROMEDIOS EN PPM Y DESVIACIÓN ESTANDAR DE LOS METALES EN LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES DE PERFILES EN XOCHIMILCO Y MIXQUIC.**

<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>0-10</b>	<b>PPM</b>								
<b>MÁXIMO</b>	0.345	0.91	1.16	38.62	11.39	0.64	1.233	5.017	0
<b>MÍNIMO</b>	0.179	0.07	0.32	36.5	4.673	0.48	0.312	1	0
<b>PROMEDIO</b>	0.246375	0.48542857	0.852	37.8866667	7.774875	0.58	0.669375	3.20625	0
<b>DESV</b>	0.05984011	0.34681067	0.32861962	1.20155455	2.69644795	0.08717798	0.3031567	1.55060106	
<b>10,-20</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.337	1.078	1.457	38.63	11.798	0.7	1.608	5.621	0
<b>MÍNIMO</b>	0.17	0.014	0.24	38.08	4.447	0.33	0.211	0.78	0
<b>PROMEDIO</b>	0.24	0.54	0.82	38.36	7.70	0.21	0.64	2.38	0.00
<b>DESV</b>	0.06021865	0.43528669	0.41922034	0.27513633	2.83674119	0.19655364	0.44575215	1.75203661	
<b>20-30</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.349	1.045	2.091	37.75	13.37	1.09	1.327	6.602	0.003
<b>MÍNIMO</b>	0.13	0.088	0.14	34.45	2.8	0.44	0.161	0.5	0.002
<b>PROMEDIO</b>	0.24	0.59	0.91	36.34	6.68	0.26	0.53	2.92	0.00
<b>DESV</b>	0.08513686	0.36480521	0.70547237	1.70155811	3.73376951	0.34789845	0.38039789	2.12525965	0.00070711
<b>30-40</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.408	1.05	1.756	39.98	11.482	0.66	1.172	4.103	0.39
<b>MÍNIMO</b>	0.149	0.012	0.37	36.51	4.206	0.53	0.126	0.7	0.39
<b>PROMEDIO</b>	0.2685	0.501	0.816875	38.4966667	6.8895	0.23125	0.477	2.307125	0.39
<b>DESV</b>	0.08846307	0.42808711	0.49728533	1.7889196	2.32778816	0.07505553	0.34060283	1.21355516	
<b>40-50</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.388	1.16	1.211	37.04	13.079	0.59	1.246	4.085	0.002
<b>MÍNIMO</b>	0.17	0.315	0.33	36.2	3.78	0.46	0.082	1.07	0.002
<b>PROMEDIO</b>	0.25985714	0.64033333	0.77285714	36.62	7.406	0.525	0.49414286	2.49885714	0.002

<b>DESV</b>	0.08414358	0.3786425	0.35061585	0.5939697	3.29022831	0.09192388	0.39018646	1.23038049	
<b>50-60</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.33	1.31	1.15	40.03	11.4	0.89	1.09	6.007	0
<b>MÍNIMO</b>	0.197	0.103	0.35	37.58	3.402	0.52	0.129	1.039	0
<b>PROMEDIO</b>	0.25557143	0.64071429	0.793	38.805	6.948	0.705	0.42185714	2.88442857	0
<b>DESV</b>	0.05787589	0.40252773	0.24923416	1.73241161	2.72557988	0.26162951	0.36100204	1.61800441	
<b>60-70</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.324	1.096	0.939	37.53	10.233	0.64	0.228	6.693	0.002
<b>MÍNIMO</b>	0.2	0.049	0.24	36.37	3.433	0.4	0.08	1	0.002
<b>PROMEDIO</b>	0.25142857	0.60085714	0.66971429	36.95	7.17628571	0.52	0.28642857	2.83157143	0.00028571
<b>DESV</b>	0.05445444	0.35033718	0.24712393	0.82024387	2.72391175	0.16970563	0.23847492	1.85021322	
<b>70-80</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.378	4.998	1.389	37.93	9.572	0.55	0.46	2.955	0.002
<b>MÍNIMO</b>	0.13	0.027	0.15	36.37	2.618	0.39	0.076	0.4	0.002
<b>PROMEDIO</b>	0.256	1.34357143	0.768	36.74	5.07471429	0.47	0.23257143	1.52757143	0.002
<b>DESV</b>	0.07881624	1.71854918	0.47298344	1.68291414	2.37100954	0.11313708	0.13458561	0.99601453	
<b>80-90</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.289	1.684	1.032	39.35	10.508	0.69	0.57	6.077	0.003
<b>MÍNIMO</b>	0.13	0.019	0.14	34.01	2.588	0.48	0.064	0.17	0.002
<b>PROMEDIO</b>	0.23457143	0.57742857	0.67814286	36.68	5.10971429	0.585	0.247	2.04328571	0.0025
<b>DESV</b>	0.05391307	0.57592993	0.32591636	3.77595021	2.74226851	0.14849242	0.17914147	1.99386231	0.00070711
<b>90-100</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.292	1.201	1.069	39.46	9.6	0.65	0.6	3.84	0
<b>MÍNIMO</b>	0.13	0.037	0.2	33.84	2.099	0.45	0.007	0.38	0
<b>PROMEDIO</b>	0.22614286	0.67557143	0.69542857	36.65	4.23514286	0.55	0.20928571	2.13871429	0
<b>DESV</b>	0.06985802	0.38749402	0.31697206	3.97394011	3.06307702	0.14142136	0.21580834	1.25072602	

<b>100-110</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.4	1.69	1.441	36.91	12.771	0.73	0.855	3.168	0.003
<b>MÍNIMO</b>	0.104	0.025	0.148	36.91	0.319	0.73	0.008	0.451	0.003
<b>PROMEDIO</b>	0.22133333	0.74266667	0.65616667	36.91	4.564	0.73	0.274	1.6105	0.003
<b>DESV</b>	0.11512718	0.60082199	0.46117737		5.05742037		0.32739517	1.06168748	
<b>110-120</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.481	0.82	1.37	38.63	16.106	0.75	1.125	2.585	0
<b>MÍNIMO</b>	0.107	0.025	0.4	38.63	1.263	0.75	0.022	1.24	0
<b>PROMEDIO</b>	0.27916667	0.4045	0.78316667	38.63	5.46766667	0.75	0.34316667	1.74483333	0
<b>DESV</b>	0.16091416	0.33983099	0.35750436		5.61979283		0.43403752	0.88246618	
<b>120-130</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.652	0.473	1.145	0	19.545	0	1.481	2.978	0.078
<b>MÍNIMO</b>	0.13	0.016	0.55	0	1.333	0	0.048	1.222	0.003
<b>PROMEDIO</b>	0.3446	0.2218	0.8738	0	7.4624	0	0.4992	1.8826	0.0405
<b>DESV</b>	0.20881762	0.20110743	0.2187686	0	7.50603146	0	0.59681211	0.65531542	0.03457166
<b>130-140</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.301	2.171	1.235	0	13.887	0	0.35	4.456	0.013
<b>MÍNIMO</b>	0.238	0.071	0.416	0	2.224	0	0.102	1.677	0.002
<b>PROMEDIO</b>	0.27725	0.70025	0.72775	0	6.6505	0	0.23675	3.18	0.0075
<b>DESV</b>	0.04454773	1.48492424	0.57912045	0	8.24698639	0	0.17536248	1.96504974	0.00777817
<b>140-150</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.219	0.798	0.790	0.000	11.450	0.000	0.212	5.163	0.002
<b>MÍNIMO</b>	0.209	0.071	0.676	0.000	2.126	0.000	0.056	3.318	0.002
<b>PROMEDIO</b>	0.214	0.435	0.730	0.000	5.788	0.000	0.127	4.103	0.002
<b>DESV</b>	0.00707107	0.51406663	0.08061017	0	6.59306363	0	0.11030866	1.30461201	



<b>150-160</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>MÁXIMO</b>	0.290	0.168	1.063	0.000	17.291	0.000	0.337	6.726	0.001
<b>MÍNIMO</b>	0.290	0.168	1.063	0.000	17.291	0.000	0.337	6.726	0.001
<b>PROMEDIO</b>	0.290	0.168	1.063	0.000	17.291	0.000	0.337	6.726	0.001

## **Análisis de Componentes Principales**

El análisis de componentes principales es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión. Los componentes principales son una combinación lineal de las variables originales y son independientes entre sí.

### **Fases de un análisis de componentes principales**

#### **1. Análisis de la matriz de correlaciones**

Un análisis de componentes principales se genera cuando existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto indica que existe información redundante y por tanto, pocos factores explican gran parte de la variabilidad total.

#### **2. Selección de los factores**

Los factores se eligen considerando la proporción de variabilidad que cada uno contiene hasta que se acumule la variabilidad que se considere suficiente; estos factores se llaman componentes principales.

#### **3. Análisis de la matriz factorial**

Una vez seleccionados los componentes principales, se representan en forma de matriz. Cada elemento de esta matriz representa los coeficientes factoriales de las variables. La matriz tendrá tantas columnas como componentes principales y tantas filas como variables.

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

### **PROFUNDIDAD DE 0-10**

El 97.2% de la varianza se explica con los primeros cuatro componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la mayor correlación positiva se da con el Cromo y se presenta correlación negativa en el resto de los metales. (% de variabilidad = 47)

PC2: correlación positiva con cromo, manganeso, plomo y zinc, y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=24.4)

PC3: correlación positiva con cobalto, cromo, cobre y manganeso y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=16.7)

PC4: correlación positiva con cobre, manganeso y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=9.1)

El **cromo** es el metal que presenta la mayor correlación positiva en los componentes que contienen el mayor porcentaje de la varianza, por tanto su presencia afecta la concentración del resto de los metales. El **manganeso** presenta la correlación más positiva en los componentes 2, 3 y 4.

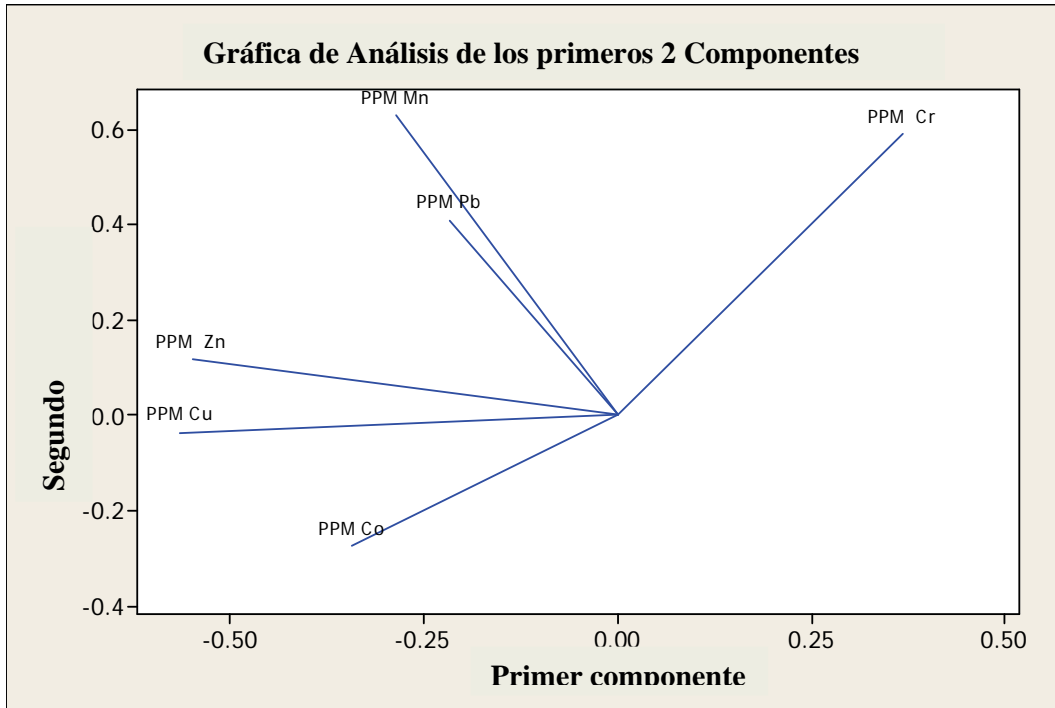
### **Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	2.8192	1.4631	1.0012	0.5481	0.1277	0.0407
Proporción	0.470	0.244	0.167	0.091	0.021	0.007
Acumulado	0.470	0.714	0.881	0.972	0.993	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.343	-0.276	0.547	-0.682	0.136	-0.153
PPM Cr	0.368	0.588	0.297	-0.081	-0.183	-0.625
PPM Cu	-0.564	-0.037	0.021	0.192	-0.788	-0.151
PPM Mn	-0.286	0.629	0.411	0.110	0.103	0.575
PPM Pb	-0.216	0.409	-0.655	-0.596	-0.034	0.034
PPM Zn	-0.549	0.116	-0.121	0.351	0.562	-0.481

La gráfica indica que el cromo es el metal que presenta correlaciones positivas en el primer y segundo componentes, estos componentes son los que concentran el mayor porcentaje de la variabilidad, por tanto, en la profundidad de 0 a 10 se debe enfatizar el análisis del comportamiento de dicho metal.



**Gráfica 1. PROFUNDIDAD 0 - 10**

**PROFUNDIDAD 10-20**

El 95.2% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: concentra el 55.2% de la variabilidad, todos los metales presentan correlaciones negativas, el cromo presenta la correlación mayor.

PC2: correlación positiva con cobalto, cobre y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. Este componente concentra el 25.3% de la variabilidad.

PC3: correlación positiva con cobre, plomo y zinc; negativa con el resto de los metales. (% de la variabilidad=14.7)

**Cobre y zinc** son los metales que presentan las correlaciones más positivas en los componentes 2 y 3, su presencia afecta directamente la presencia de otros metales.

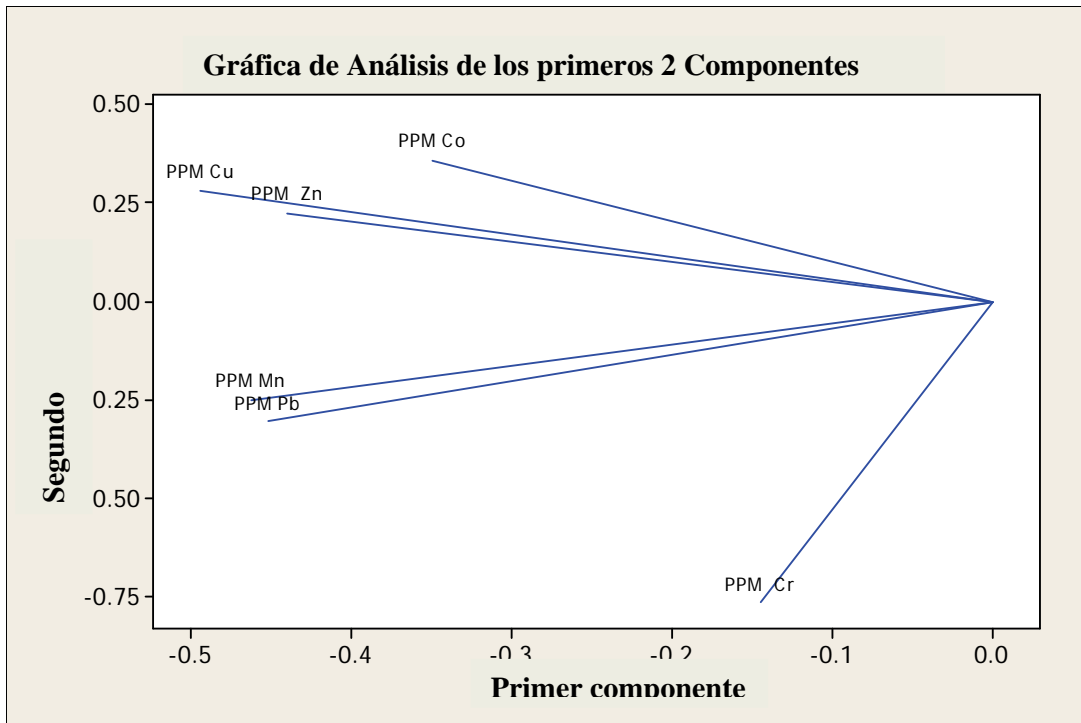
**Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	3.3140	1.5175	0.8794	0.1702	0.0860	0.0329
Proporción	0.552	0.253	0.147	0.028	0.014	0.005
Acumulado	0.552	0.805	0.952	0.980	0.995	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.350	0.361	-0.645	-0.215	-0.534	0.025
PPM Cr	-0.145	-0.765	-0.142	-0.280	-0.162	-0.519
PPM Cu	-0.494	0.282	0.117	0.501	0.141	-0.625
PPM Mn	-0.462	-0.250	-0.422	0.074	0.631	0.376
PPM Pb	-0.453	-0.304	0.392	0.328	-0.494	0.445
PPM Zn	-0.440	0.223	0.468	-0.715	0.163	0.000

El gráfico muestra que el análisis para la profundidad 10-20 debe enfatizarse en el comportamiento del cobre, el zinc y el cobalto.



**Gráfica 2. PROFUNDIDAD 10 - 20**

### **PROFUNDIDAD 20-30**

El 94.5% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la mayor correlación positiva se da con el hierro y presenta correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad = 59.7)

PC2: correlación positiva con cromo, hierro, manganeso, plomo y zinc, y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=24.2)

PC3: correlación positiva con cobre, plomo y zinc y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=10.6)

El **hierro**, **cromo** (tiene un valor más cercano a 1) y **plomo** son los elementos que presentan los valores más positivos en los componentes y por tanto afectan la presencia del resto de los metales.

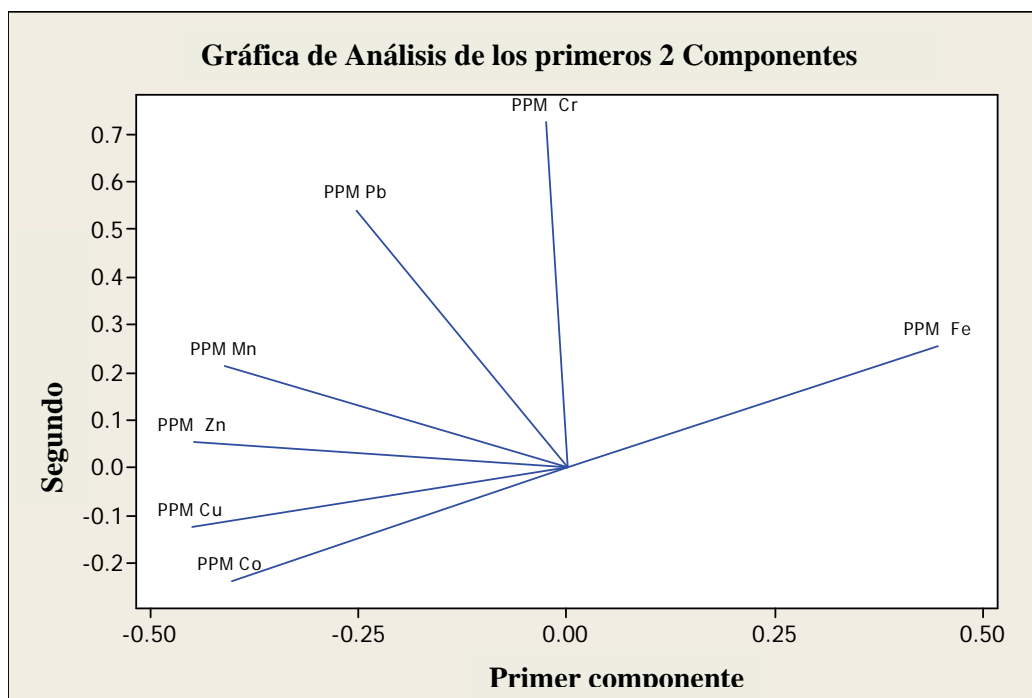
## Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Pb,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	4.1758	1.6908	0.7450	0.2905	0.0724	0.0167	0.0087
Proporción	0.597	0.242	0.106	0.041	0.010	0.002	0.001
Acumulado	0.597	0.838	0.945	0.986	0.996	0.999	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
PPM Co	-0.404	-0.239	-0.439	-0.440	-0.555	-0.284	0.076
PPM Cr	-0.025	0.724	-0.374	0.010	-0.229	0.325	-0.421
PPM Cu	-0.451	-0.125	0.180	-0.541	0.369	0.549	-0.140
PPM Fe	0.446	0.253	-0.057	-0.428	-0.085	0.255	0.692
PPM Mn	-0.411	0.212	-0.490	0.238	0.541	-0.153	0.416
PPM Pb	-0.253	0.540	0.536	-0.271	0.020	-0.531	0.040
PPM Zn	-0.449	0.054	0.324	0.449	-0.450	0.378	0.379

El análisis se debe centrar en el comportamiento del hierro ya que presenta correlaciones positivas en los primeros dos componentes principales.



**Gráfica 3. PROFUNDIDAD 20 - 30**

### PROFUNDIDAD 30-40

El 98.3% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta con el cromo, con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 62.9)

PC2: correlación positiva con cobre y zinc, y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=26.8)

PC3: correlación positiva con cobre, plomo y zinc y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=8.5)

Cobre y zinc son los metales que afectan positivamente la presencia del resto de los elementos, mientras que el cromo presenta el valor más positivo para el componente principal 1.

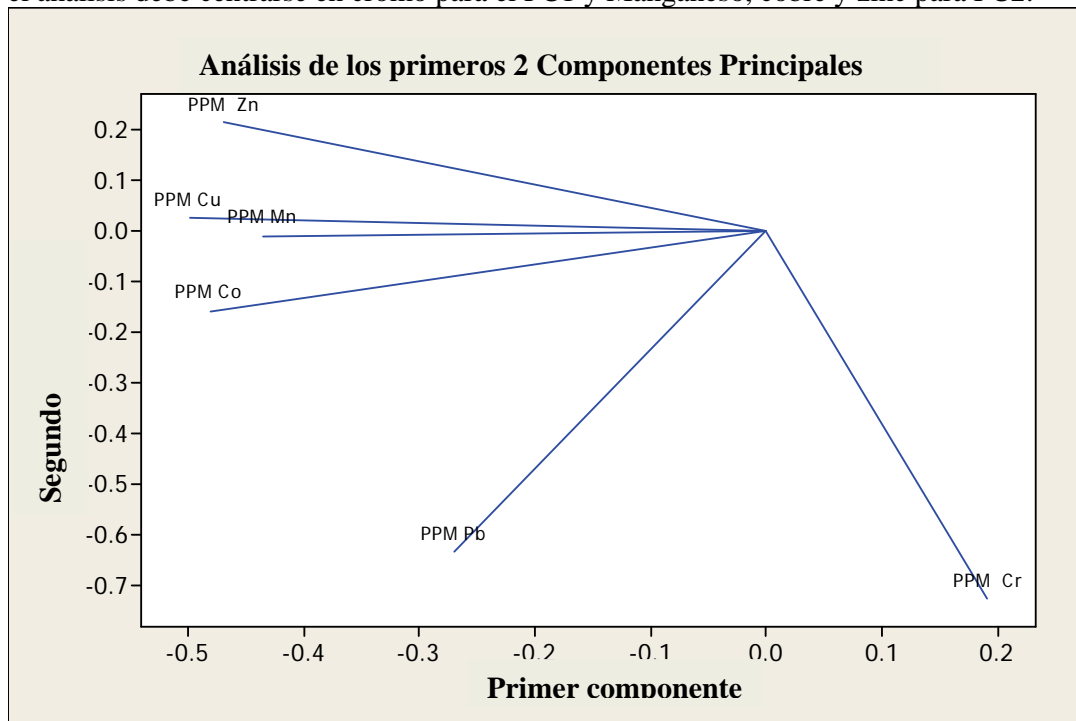
### **Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	3.7762	1.6061	0.5128	0.0805	0.0217	0.0026
Proporción	0.629	0.268	0.085	0.013	0.004	0.000
Acumulado	0.629	0.897	0.983	0.996	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.481	-0.159	-0.299	-0.683	-0.142	-0.409
PPM Cr	0.192	-0.725	-0.123	0.083	-0.606	0.218
PPM Cu	-0.500	0.025	0.311	-0.249	-0.009	0.769
PPM Mn	-0.435	-0.010	-0.720	0.492	0.149	0.170
PPM Pb	-0.270	-0.634	0.368	0.202	0.543	-0.231
PPM Zn	-0.469	0.214	0.381	0.428	-0.543	-0.334

Los componentes principales PC1 y PC2 no presentan correlaciones positivas comunes, el análisis debe centrarse en cromo para el PC1 y Manganeso, cobre y zinc para PC2.



**Gráfica 4. PROFUNDIDAD 30 - 40**

### **PROFUNDIDAD 40-50**

El 96.3% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta con el cromo, con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 73.1)

PC2: correlación positiva con cobalto, cromo, plomo y zinc, y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=13.6)

PC3: correlación positiva con cromo, cobre, manganeso y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=9.6)

El **chromo** presenta correlación positiva en los tres componentes, mientras que el **plomo** presenta valores cercanos a 1 en el componente 2; la presencia de estos metales favorece el comportamiento positivo de las correlaciones en el resto.

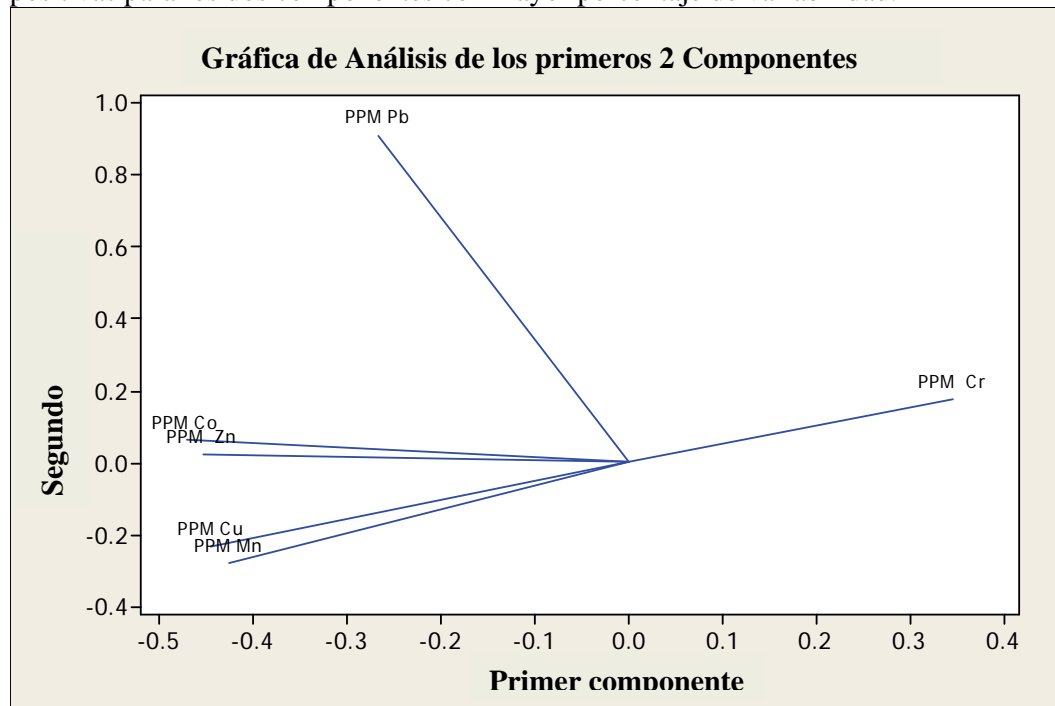
### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	4.3865	0.8168	0.5761	0.1615	0.0542	0.0049
Proporción	0.731	0.136	0.096	0.027	0.009	0.001
Acumulado	0.731	0.867	0.963	0.990	0.999	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.472	0.064	-0.075	0.175	0.395	0.762
PPM Cr	0.345	0.176	0.886	0.041	0.064	0.244
PPM Cu	-0.446	-0.234	0.323	0.199	0.545	-0.552
PPM Mn	-0.427	-0.279	0.250	-0.782	-0.242	0.089
PPM Pb	-0.267	0.912	-0.011	-0.221	0.044	-0.215
PPM Zn	-0.454	0.023	0.205	0.518	-0.695	-0.022

El análisis debe centrarse en el comportamiento del cromo ya que presenta correlaciones positivas para los dos componentes con mayor porcentaje de variabilidad.



Gráfica 5. PROFUNDIDAD 40 - 50

### PROFUNDIDAD 50-60

El 96.2% de la varianza se explica con los primeros cuatro componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta en cobre y zinc, con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 42.8)

PC2: correlación positiva con cromo y plomo, y negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=34.4)

PC3: correlación positiva con cobre y manganeso; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=13.4)

PC4: correlación positiva, muy cercana al 1 con cobalto (% de variabilidad=5.6)

Metales que afectan la presencia del conjunto: zinc, manganeso y cobalto.

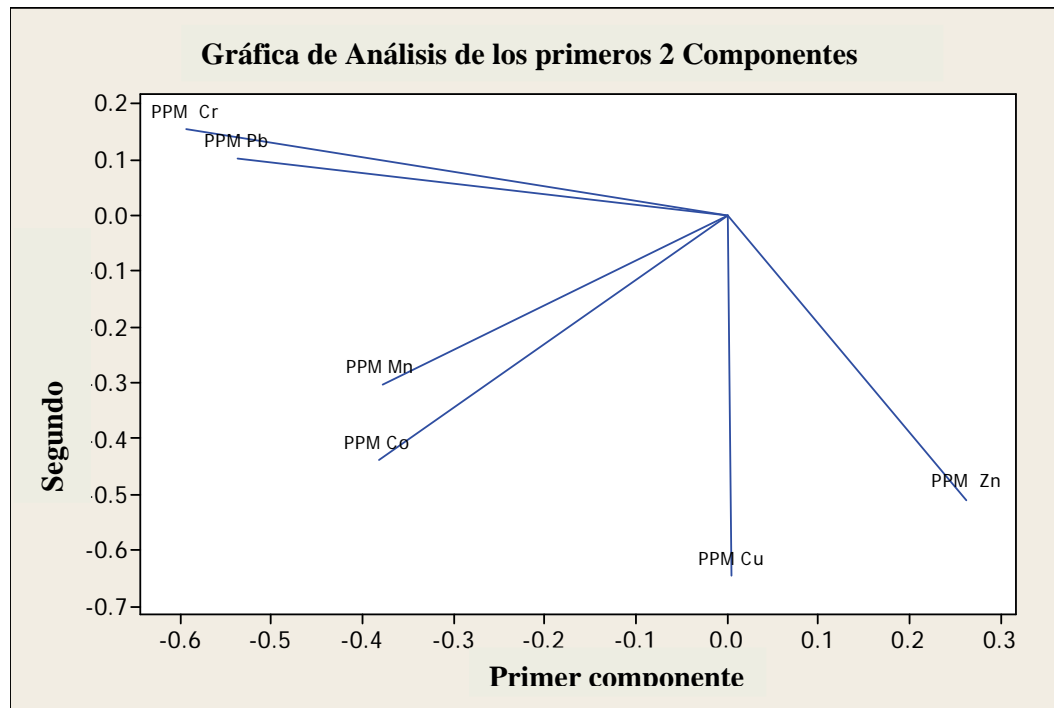
### **Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	2.5672	2.0646	0.8032	0.3353	0.2292	0.0004
Proporción	0.428	0.344	0.134	0.056	0.038	0.000
Acumulado	0.428	0.772	0.906	0.962	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.382	-0.439	-0.111	0.801	-0.080	0.035
PPM Cr	-0.593	0.154	-0.137	-0.155	0.328	-0.688
PPM Cu	0.006	-0.648	0.065	-0.287	0.667	0.220
PPM Mn	-0.379	-0.305	0.667	-0.302	-0.476	-0.034
PPM Pb	-0.538	0.100	-0.496	-0.313	-0.173	0.572
PPM Zn	0.263	-0.510	-0.524	-0.253	-0.429	-0.385

El PC1 y PC2 no presentan correlaciones positivas en común, el análisis debe centrarse en zinc para el PC1 y para el PC2 en cromo y plomo.



**Gráfica 6. PROFUNDIDAD 50 - 60**

**PROFUNDIDAD 60-70**



El 95.4% de la varianza se explica con los primeros cuatro componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta en cobalto, cobre, zinc y manganeso, con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 45.6)

PC2: correlación positiva con todos los metales excepto el cobalto. Los valores más altos se presentan para manganeso y cromo. (% de variabilidad=35.6)

PC3: correlación positiva con cobre, plomo y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=8.3)

PC4: correlación positiva para cobre y manganeso (% de variabilidad=5.9)

Metales que afectan la presencia del conjunto: **cobre, zinc y cobalto.**

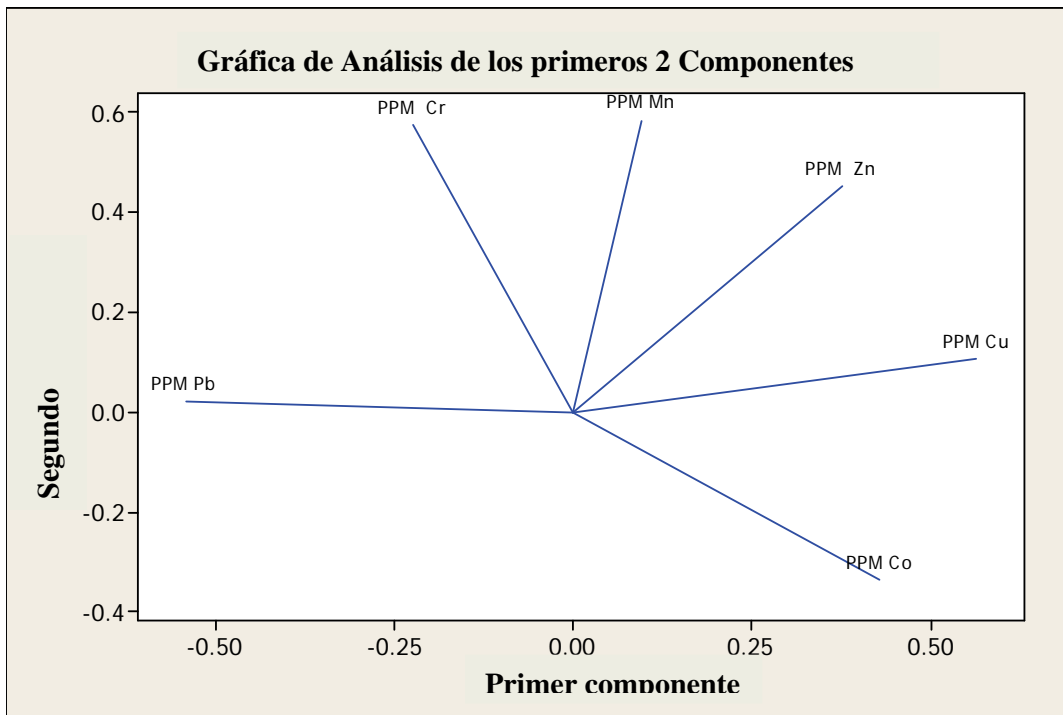
### **Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn**

Eigenanálisis of the Correlation Matrix

Eigenvalor	2.7348	2.1389	0.4963	0.3520	0.2615	0.0166
Proporción	0.456	0.356	0.083	0.059	0.044	0.003
Acumulado	0.456	0.812	0.895	0.954	0.997	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	0.430	-0.337	-0.468	-0.601	-0.243	-0.252
PPM Cr	-0.224	0.575	-0.171	-0.605	0.178	0.438
PPM Cu	0.565	0.106	0.238	0.110	-0.496	0.596
PPM Mn	0.095	0.583	-0.580	0.413	-0.272	-0.264
PPM Pb	-0.543	0.021	0.230	-0.197	-0.762	-0.178
PPM Zn	0.376	0.451	0.553	-0.227	0.095	-0.537

Los componentes PC1 y PC2 que concentran la mayor parte de la variabilidad presentan correlación positiva para manganeso, zinc y cobre, por tanto, el análisis debe centrarse en estos metales.



**Gráfica 7. PROFUNDIDAD 60 - 70**

### **PROFUNDIDAD 70-80**

El 93.8% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: todos los metales excepto el plomo presentan correlación positiva, los valores más altos son para cobalto y zinc. (% de variabilidad = 57.6)

PC2: correlación positiva con cobalto y cobre; negativa para el resto. (% de variabilidad=26.1)

PC3: correlación positiva con cobre, manganeso y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=10.1)

El **cobre** es el metal que presenta correlación positiva en los tres componentes; el manganeso tiene un valor de 0.697 para el tercer componente.

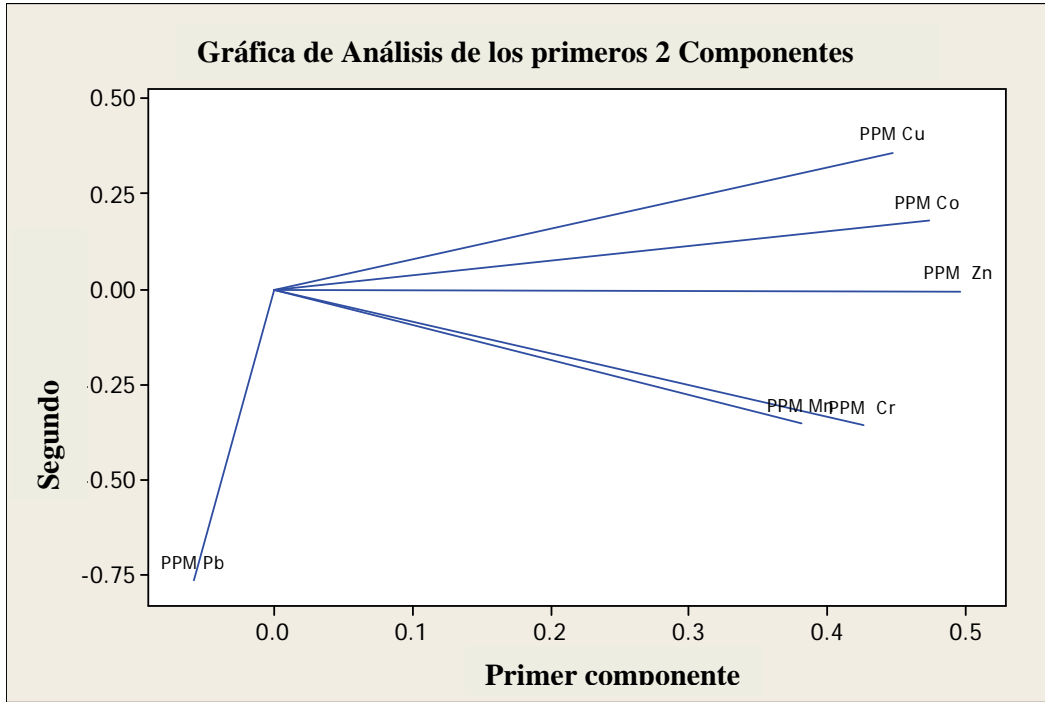
### **Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	3.4570	1.5648	0.6069	0.2423	0.1290	0.0000
Proporción	0.576	0.261	0.101	0.040	0.021	0.000
Acumulado	0.576	0.837	0.938	0.978	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	0.473	0.179	-0.504	0.236	-0.254	-0.608
PPM Cr	0.426	-0.358	-0.431	-0.136	0.647	0.260
PPM Cu	0.448	0.360	0.197	0.578	-0.061	0.542
PPM Mn	0.381	-0.353	0.697	0.114	0.215	-0.431
PPM Pb	-0.057	-0.765	-0.146	0.343	-0.486	0.188
PPM Zn	0.496	-0.006	0.122	-0.678	-0.480	0.220

La correlación positiva en los componentes principales uno y dos se genera por Cobre, cobalto y zinc, el análisis debe centrarse en estos metales.



**Gráfica 8. PROFUNDIDAD 70 - 80**

### PROFUNDIDAD 80-90

El 94.9% de la varianza se explica con los primeros cuatro componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: cobalto, cobre, manganeso y zinc presentan valores de correlación positivos, el resto presenta valores negativos. (% de variabilidad = 50.9)

PC2: correlación positiva en cobre; negativa para el resto. (% de variabilidad=27.8)

PC3: correlación positiva con cromo, manganeso y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=8.4)

PC3: correlación positiva con manganeso y plomo; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=7.7)

Cobre, manganeso y zinc presentan valores positivos de correlación en 2 componentes, el cobre presenta el valor más positivo en el primer componente, por lo que su presencia afecta la concentración de otros metales en el suelo.

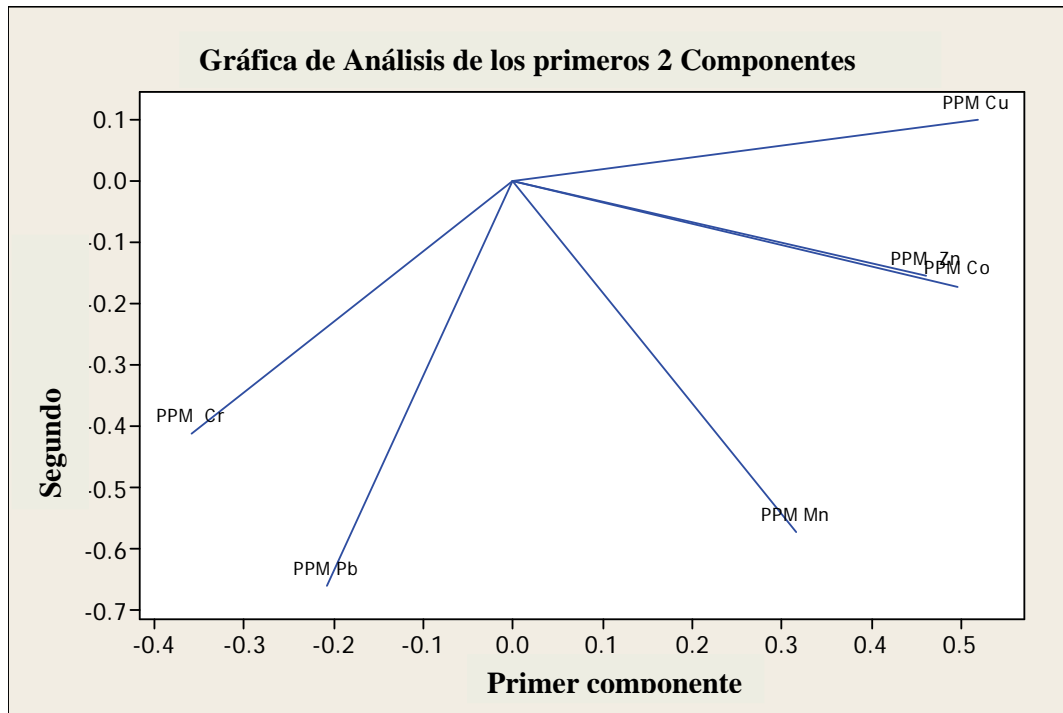
### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn

Eigenanálisis of the Correlation Matrix

Eigenvalor	3.0540	1.6699	0.5056	0.4648	0.2630	0.0426
Proporción	0.509	0.278	0.084	0.077	0.044	0.007
Acumulado	0.509	0.787	0.872	0.949	0.993	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	0.497	-0.171	-0.508	-0.112	-0.428	0.519
PPM Cr	-0.359	-0.413	0.108	-0.824	-0.060	0.086

PPM Cu	0.518	0.100	-0.311	-0.402	0.293	-0.614
PPM Mn	0.315	-0.573	0.202	0.158	0.655	0.280
PPM Pb	-0.208	-0.662	-0.322	0.349	-0.261	-0.474
PPM Zn	0.461	-0.156	0.699	-0.018	-0.480	-0.208

El análisis debe centrarse en cobre ya que presenta correlación positiva en los componentes con mayor porcentaje de la variabilidad.



**Gráfica 9. PROFUNDIDAD 80 - 90**

### PROFUNDIDAD 90-100

El 95.9% de la varianza se explica con los primeros cuatro componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: cobalto, cobre, manganeso y zinc presentan valores de correlación positivos, el resto presenta valores negativos. (% de variabilidad = 42.8)

PC2: correlación positiva en zinc; negativa para el resto. (% de variabilidad=27.2)

PC3: correlación positiva con cobalto y manganeso; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=18.3)

PC4: correlación positiva con manganeso, plomo y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=7.5)

Cobalto, manganeso y zinc presentan valores positivos de correlación en 2 componentes; el cobre presenta la correlación más positiva en el componente 1.

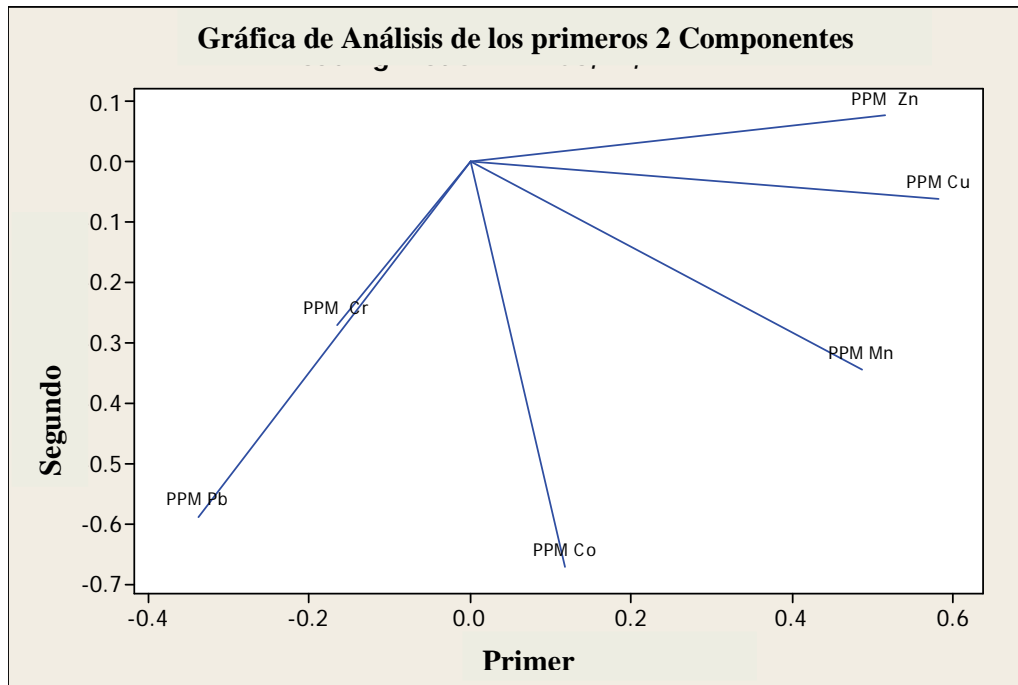
### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	2.5674	1.6323	1.0997	0.4526	0.2352	0.0128
Proporción	0.428	0.272	0.183	0.075	0.039	0.002
Acumulado	0.428	0.700	0.883	0.959	0.998	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	0.119	-0.672	0.288	-0.452	-0.425	0.258
PPM Cr	-0.165	-0.271	-0.838	-0.222	0.235	0.302
PPM Cu	0.583	-0.061	-0.229	-0.357	0.068	-0.687
PPM Mn	0.488	-0.345	0.212	0.319	0.650	0.272
PPM Pb	-0.338	-0.589	-0.085	0.533	-0.086	-0.491
PPM Zn	0.517	0.077	-0.331	0.483	-0.574	0.234

El metal que presenta correlación positiva en PC1 y PC2 es el zinc.



**Gráfica 10. PROFUNDIDAD 90 - 100**

### PROFUNDIDAD 100-110

El 97.5% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: zinc presenta correlación positiva, el resto presenta valores negativos. (% de variabilidad = 62.5)

PC2: correlación positiva en cromo y plomo; negativa para el resto. (% de variabilidad=28)

PC3: correlación positiva con cobalto, manganeso, plomo y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=7)

Plomo y zinc son los elementos que presentan correlación positiva en dos componentes principales, su presencia favorece que se presente correlación más positiva en el resto de los metales.

### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn

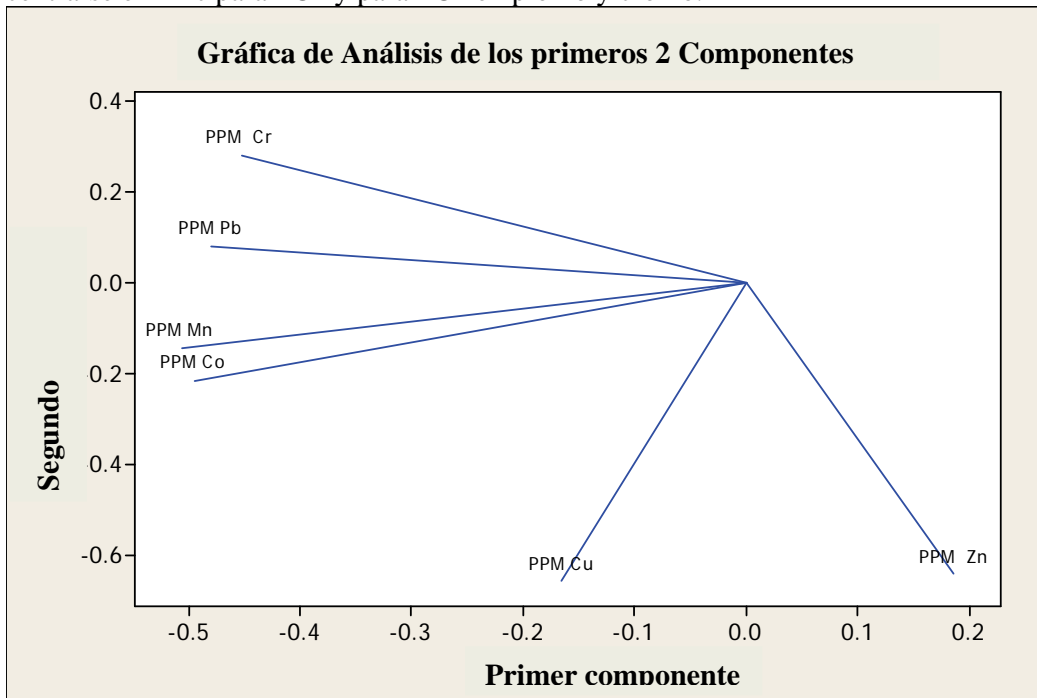
De la Matriz de Correlación

Eigenvalor	3.7512	1.6796	0.4200	0.1478	0.0014	0.0000
Proporción	0.625	0.280	0.070	0.025	0.000	0.000

Acumulado 0.625 0.905 0.975 1.000 1.000 1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.495	-0.215	0.095	0.042	0.724	-0.418
PPM Cr	-0.453	0.284	-0.154	-0.756	0.036	0.342
PPM Cu	-0.165	-0.658	-0.631	0.136	-0.033	0.349
PPM Mn	-0.507	-0.143	0.035	-0.018	-0.684	-0.503
PPM Pb	-0.481	0.082	0.459	0.477	-0.065	0.565
PPM Zn	0.187	-0.642	0.597	-0.424	-0.049	0.118

Los componentes PC1 y PC2 no presentan correlación positiva común, el análisis debe centrarse en zinc para PC1 y para PC2 en plomo y cromo.



**Gráfica 11. PROFUNDIDAD 100 - 110**

### **PROFUNDIDAD 110-120**

El 99.2% de la varianza se explica con los primeros cuatro componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: solo el cromo presenta valores negativos. (% de variabilidad =45.2)

PC2: correlación positiva en cobalto, cromo, cobre y zinc; negativa para el resto. (% de variabilidad=27.9)

PC3: correlación positiva con cobre y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=16.6)

PC4: correlación positiva con cobalto, cobre y manganeso; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=9.6)

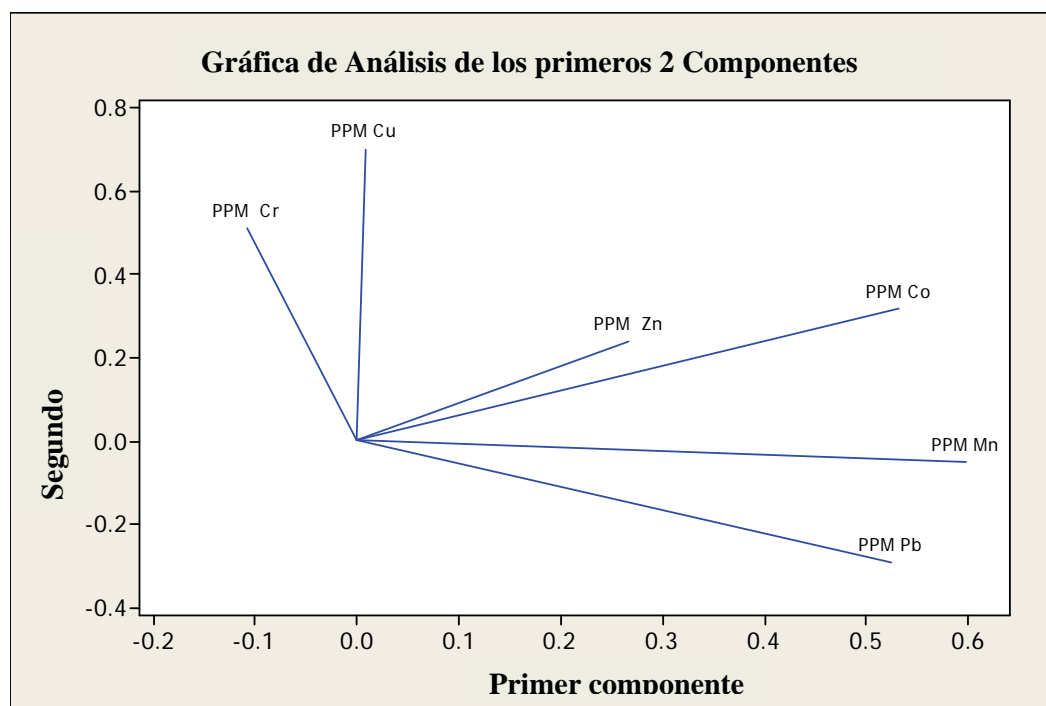
Cobalto, cobre y zinc presentan valores positivos en la correlación para al menos tres de los factores, el cobre es el elemento que afecta de manera positiva la correlación para los elementos restantes.

## Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	2.7108	1.6741	0.9934	0.5731	0.0486	-0.0000
Proporción	0.452	0.279	0.166	0.096	0.008	-0.000
Acumulado	0.452	0.731	0.896	0.992	1.000	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	0.532	0.318	-0.165	0.126	0.755	0.050
PPM Cr	-0.108	0.510	-0.589	-0.571	-0.160	-0.173
PPM Cu	0.008	0.703	0.131	0.509	-0.378	0.294
PPM Mn	0.599	-0.050	-0.013	0.169	-0.386	-0.679
PPM Pb	0.525	-0.291	-0.307	-0.146	-0.332	0.643
PPM Zn	0.267	0.238	0.718	-0.591	-0.038	0.078

El análisis debe centrarse en cobre, zinc y cobalto ya que estos metales presentan correlaciones positivas en los componentes con mayor porcentaje de variabilidad.



**Gráfica 12. PROFUNDIDAD 110 - 120**

### PROFUNDIDAD 120-130

El 99.6% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: valor de correlación positivo para el zinc. (% de variabilidad =63.9)

PC2: correlación positiva en manganeso y plomo; negativa para el resto. (% de variabilidad=22.1)

PC3: correlación positiva para todos los metales excepto para el cobre. (% de variabilidad=13.7)

**Zinc, manganeso y plomo** son los metales que presentan valores positivos de correlación al menos para dos de los factores principales.

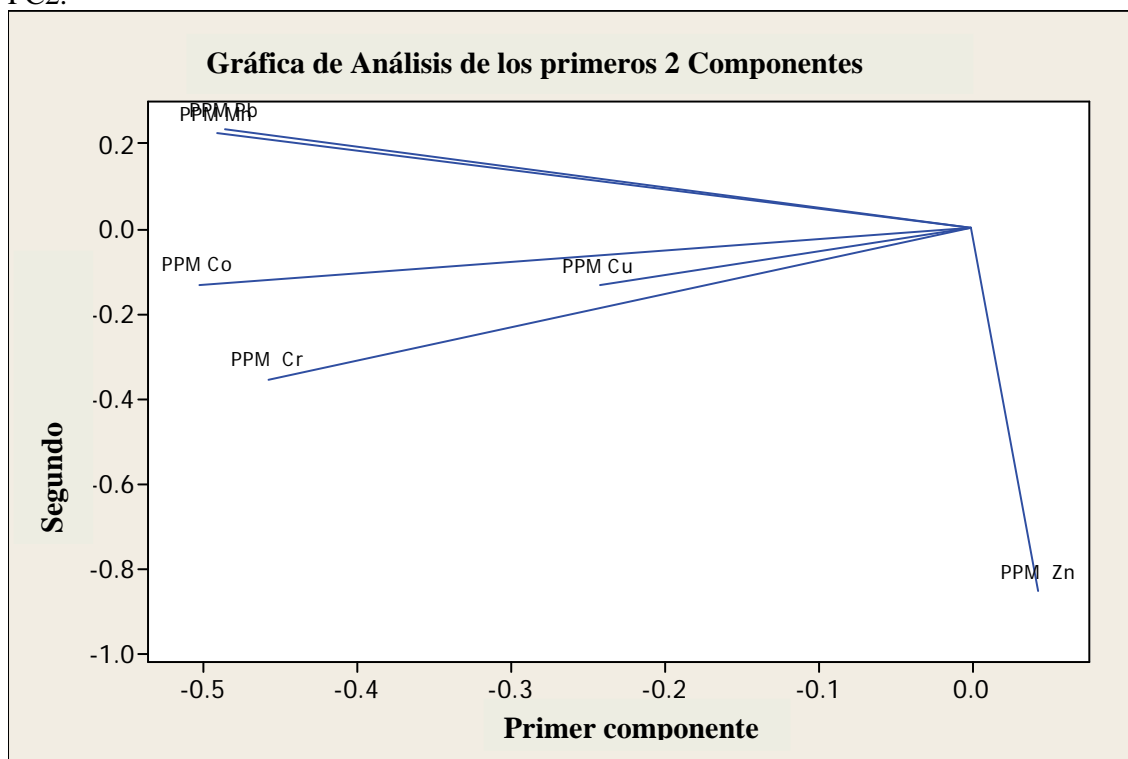
## Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	3.8328	1.3240	0.8221	0.0212	0.0000	-0.0000
Proporción	0.639	0.221	0.137	0.004	0.000	-0.000
Acumulado	0.639	0.859	0.996	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.503	-0.131	0.080	-0.157	-0.440	0.710
PPM Cr	-0.457	-0.355	0.151	0.775	0.125	-0.158
PPM Cu	-0.242	-0.135	-0.956	-0.041	0.075	-0.051
PPM Mn	-0.491	0.225	0.104	-0.268	-0.446	-0.653
PPM Pb	-0.486	0.234	0.159	-0.316	0.760	0.082
PPM Zn	0.044	-0.856	0.147	-0.448	0.094	-0.184

El gráfico indica que no se presentan correlaciones positivas comunes entre PC1 y PC2, entonces, el análisis debe centrarse en zinc para PC1 y, en manganeso y plomo para el PC2.



**Gráfica 13. PROFUNDIDAD 120 - 130**

### PROFUNDIDAD 130-140

El 100% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: todos los metales presentan valores de correlación negativos, el manganeso tiene el valor más positivo. (% de variabilidad =68.2)



PC2: los metales que presentan valores de correlación positivos son: cobalto, manganeso y plomo. (% de variabilidad=20.3)  
 PC3: correlación positiva para cobre, manganeso y zinc. (% de variabilidad=11.5)  
 El **manganeso** es el elemento que afecta positivamente la presencia de los otros metales.

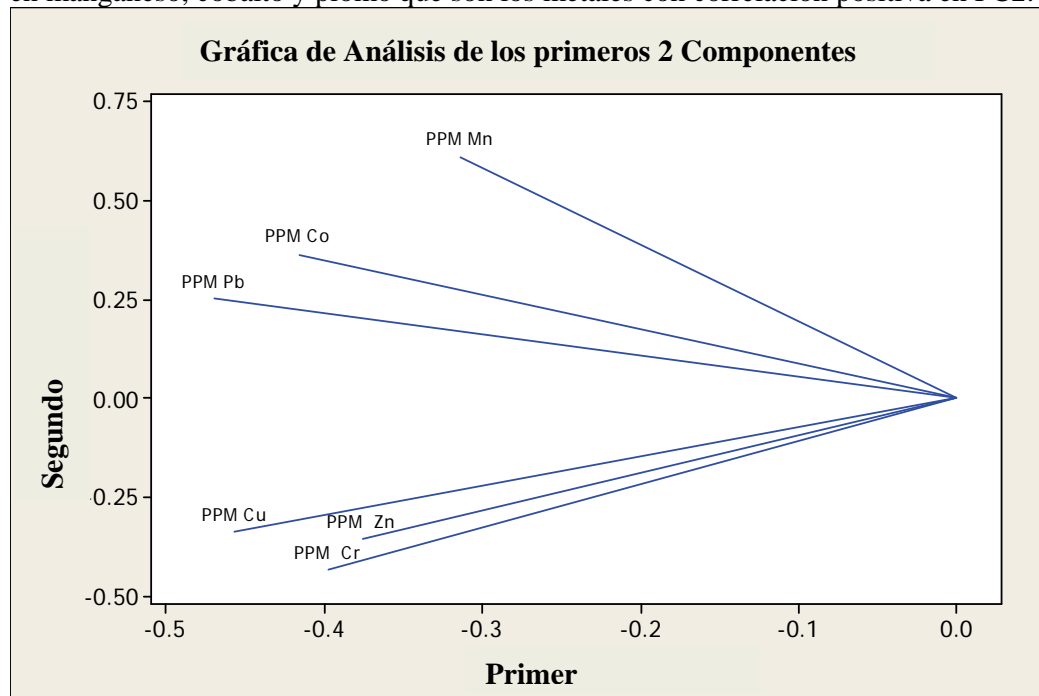
### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	4.0903	1.2190	0.6907	0.0000	0.0000	0.0000
Proporción	0.682	0.203	0.115	0.000	0.000	0.000
Acumulado	0.682	0.885	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.416	0.364	-0.436	-0.533	-0.114	0.456
PPM Cr	-0.398	-0.434	-0.423	-0.192	0.360	-0.555
PPM Cu	-0.456	-0.338	0.113	0.451	0.354	0.579
PPM Mn	-0.314	0.610	0.455	-0.038	0.504	-0.258
PPM Pb	-0.470	0.253	-0.167	0.551	-0.551	-0.283
PPM Zn	-0.376	-0.358	0.620	-0.412	-0.417	-0.051

El PC1 y PC2 no presentan correlaciones positivas comunes; el análisis debe centrarse en manganeso, cobalto y plomo que son los metales con correlación positiva en PC2.



**Gráfica 14. PROFUNDIDAD 130 - 140**

### PROFUNDIDAD 140-150

El 100% de la varianza se explica con los primeros dos componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: el manganeso presenta valores de correlación positivos, el resto de los metales presentan valores negativos. (% de variabilidad =81.2)

PC2: Cobalto y plomo presentan valores de correlación positivos. (% de variabilidad=18.8)

Los elementos que afectan positivamente la correlación entre los metales son: manganeso, cobalto y plomo.

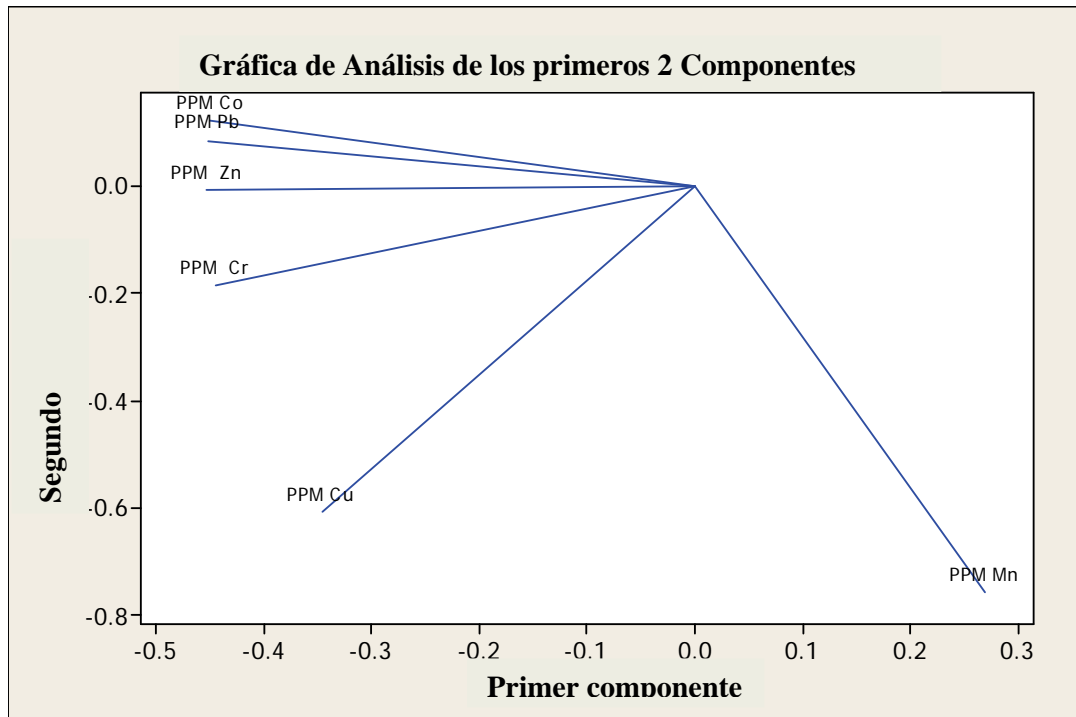
### **Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Mn, PPM Pb, PPM Zn**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	4.8711	1.1289	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
Proporción	0.812	0.188	0.000	0.000	0.000	-0.000
Acumulado	0.812	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
PPM Co	-0.449	0.121	-0.425	-0.594	-0.242	-0.438
PPM Cr	-0.444	-0.186	-0.306	0.350	0.723	-0.173
PPM Cu	-0.346	-0.608	0.608	-0.364	0.077	0.048
PPM Mn	0.269	-0.758	-0.510	0.101	-0.287	0.030
PPM Pb	-0.451	0.085	-0.241	-0.033	-0.140	0.843
PPM Zn	-0.453	-0.008	0.194	0.617	-0.558	-0.255

Los componentes principales uno y dos no presentan correlaciones positivas en común; el análisis debe centrarse en manganeso para PC1 y para PC2 en cobalto y plomo.



**Gráfica 15. PROFUNDIDAD 140 - 150**

**AGUA**

El 81.1% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: el cadmio presenta valores de correlación negativo, el resto de los metales presentan valores positivos. (% de variabilidad =41)

PC2: Cobre, hierro y zinc presentan valores de correlación positivos. (% de variabilidad=21.5)

PC3: el cadmio, cobre, hierro y plomo presentan valores positivos, el resto de los metales presentan valores negativos. (% de variabilidad=18.6)

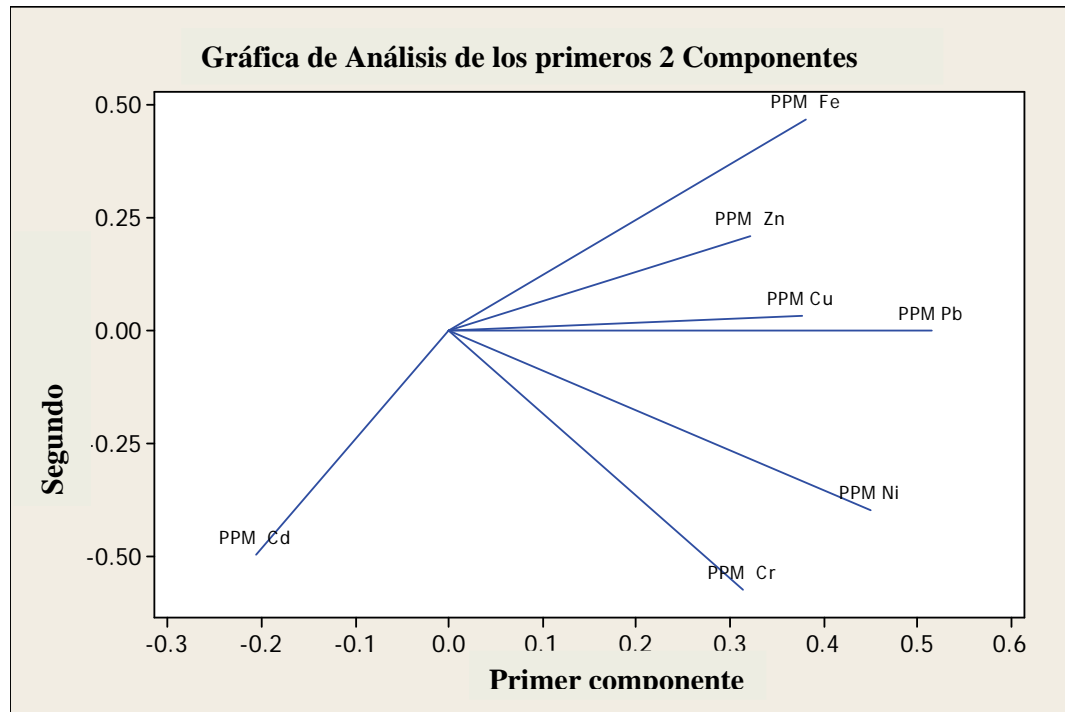
Los elementos que afectan positivamente la correlación son el cobre y hierro.

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	2.8673	1.5035	1.3054	0.5314	0.3720	0.2286	0.1918
Proporción	0.410	0.215	0.186	0.076	0.053	0.033	0.027
Acumulado	0.410	0.624	0.811	0.887	0.940	0.973	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
PPM Cd	-0.207	-0.499	0.420	-0.703	-0.109	0.159	-0.019
PPM Cr	0.313	-0.574	-0.306	0.062	-0.147	-0.342	0.580
PPM Cu	0.376	0.031	0.574	0.181	0.512	0.270	0.400
PPM Fe	0.381	0.467	0.169	-0.215	-0.691	0.121	0.264
PPM Ni	0.450	-0.399	-0.126	0.246	-0.201	0.566	-0.448
PPM Pb	0.515	-0.002	0.258	-0.142	0.095	-0.638	-0.481
PPM Zn	0.323	0.209	-0.538	-0.585	0.421	0.205	0.039

Los componentes principales uno y dos presentan correlaciones positivas en común; el análisis debe centrarse en cobre, zinc y hierro.



Gráfica 16. Resultados de las concentraciones de metales pesados en agua.

**Tabla 20. Máximo, mínimo, promedio y desviación estandar en PPM.**

AGUA	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
PPM						
<b>MÁXIMO</b>	0.666	0.76	10.05	1.404	1.047	3.302
<b>MÍNIMO</b>	0.022	0.118	0.049	0.1	0.095	0.024
<b>PROMEDIO</b>	0.17	0.388	2.171	0.303	0.417	0.902
<b>DESV</b>	0.152093968	0.16840889	2.912092	0.28950571	0.28353626	0.90328416
<b>H0:</b>	0.01	0.20	5	0.05	0.5	2

METAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA en PPMM	MUESTRA
Cromo	<b>0.666</b>	8, Laguna Caltongo Xoch
Cobre	<b>0.76</b>	6, Canal Belem Xoch
Fierro	<b>10.05</b>	2, P.de T.Cerro de la Estrella
Níquel	<b>1.404</b>	8, Laguna Caltongo Xoch
Plomo	<b>1.047</b>	5, Planta El Hueso
Zinc	<b>3.302</b>	4, Canal Cuemanco
Cadmio	<b>0.051</b>	11, Canal Nal P. Urrutia

**Tabla 21. Concentración máxima de metales pesados en PPM en agua.**

METAL	CONCENTRACIÓN MÍNIMA en PPM	MUESTRA
Cromo	<b>0.022</b>	11, Canal Nal P. Urrutia
Cobre	<b>0.118</b>	18, E.Muj.C.desc.S.L.TI
Fierro	<b>0.049</b>	18, E.Muj.C.desc.S.L.TI
Níquel	<b>0.1</b>	17, Emilio Mújica M-10
Plomo	<b>0.095</b>	17, Emilio Mújica M-10
Zinc	<b>0.024</b>	2, P.de T.Cerro de la Estrella
Cadmio	<b>0.011</b>	4, Canal Cuemanco, 5, Planta El Hueso

**Tabla 22. Concentración mínima de metales pesados en PPM en agua.**

**PLANTA**

**ACELGA (HOJA)**

**Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni,**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	8.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	1.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Eigenvalor	-0.0000
Proporción	-0.000
Acumulado	1.000

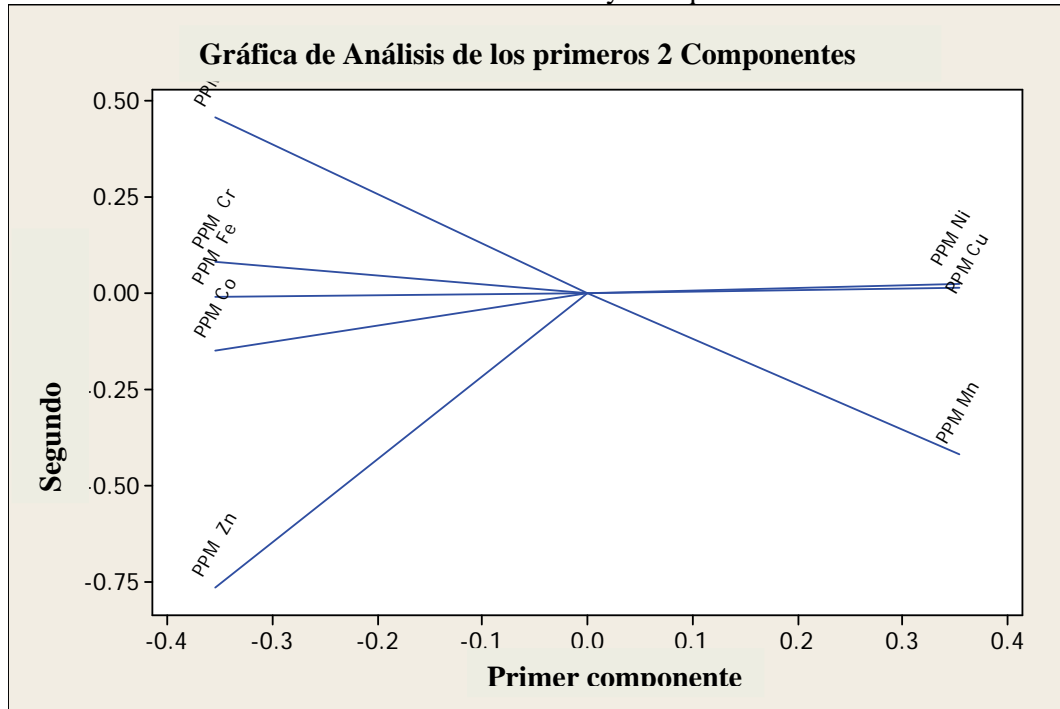
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Co	-0.354	-0.147	0.019	0.459	0.455	-0.138	0.303	-0.569
PPM Cr	-0.354	0.083	-0.423	-0.132	-0.371	-0.717	0.139	0.028
PPM Cu	0.354	0.024	0.320	-0.283	0.451	-0.609	-0.326	-0.109
PPM Fe	-0.354	-0.007	-0.327	-0.339	0.072	0.251	-0.645	-0.410
PPM Mn	0.354	-0.420	0.116	-0.279	-0.462	0.020	0.228	-0.584

PPM Ni	0.354	0.016	-0.656	-0.309	0.436	0.120	0.379	0.027
PPM Pb	-0.354	0.457	0.391	-0.562	0.076	0.136	0.406	-0.094
PPM Zn	-0.354	-0.765	0.120	-0.296	0.194	-0.000	0.078	0.379

El 100% de la varianza se explica con el primer componente principal, la variabilidad se explica como sigue:

PC1: cobre, manganeso y níquel presentan valores positivos; los elementos restantes presentan valores negativos.

La interacción entre el componente principal uno y el componente principal dos se genera entre, cobre y níquel; como el PC1 es el componente que incluye toda la variabilidad el análisis debe centrarse en el cobre y el níquel.



Gráfica 17. Acelga (hoja)

## ACELGA (RAÍZ)

### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni, PPM Pb,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

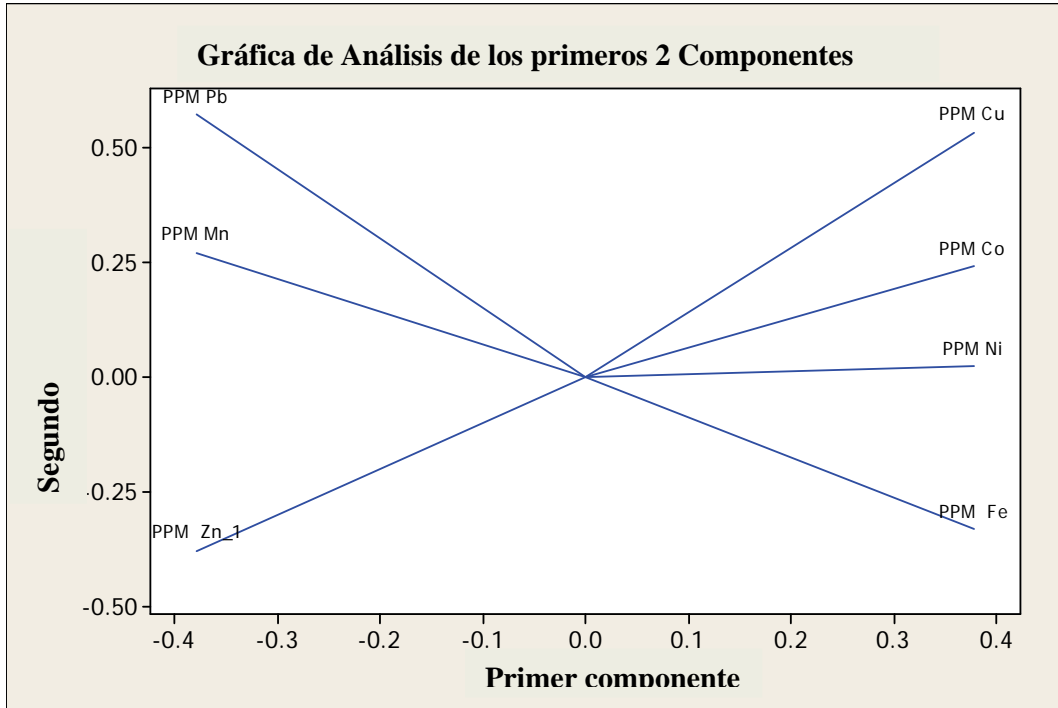
Eigenvalor	7.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	1.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
PPM Co	0.378	0.242	-0.412	-0.488	0.585	-0.097	0.198
PPM Cu	0.378	0.533	0.308	0.259	-0.221	0.081	0.596
PPM Fe	0.378	-0.333	0.472	0.001	0.372	0.606	-0.131
PPM Mn	-0.378	0.271	-0.233	-0.360	-0.239	0.732	0.085
PPM Ni	0.378	0.022	0.268	-0.631	-0.521	-0.175	-0.292
PPM Pb	-0.378	0.573	0.504	-0.103	0.367	-0.139	-0.334
PPM Zn	-0.378	-0.380	0.365	-0.396	0.089	-0.176	0.620

El 100% de la varianza se explica con el primer componente principal, la variabilidad se explica como sigue:

PC1: cobalto, cobre, fierro y níquel presentan valores positivos; los elementos restantes presentan valores negativos.

La interacción entre el componente principal uno y el componente principal dos se genera entre cobalto, cobre y níquel; como el PC1 es el componente que incluye toda la variabilidad el análisis debe centrarse en el cobre y el níquel.



**Gráfica 18. Acelga (Raíz)**

## MAÍZ (HOJA)

### Análisis de Componentes Principales: PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni, PPM Pb,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	3.7494	1.8055	1.2036	0.2415	0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.536	0.258	0.172	0.034	0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.536	0.794	0.966	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
PPM Cr	0.464	0.157	-0.218	-0.613	0.009	-0.549	0.188
PPM Cu	-0.245	-0.513	-0.472	-0.365	0.177	0.376	0.385
PPM Fe	0.498	0.103	-0.202	-0.093	-0.584	0.568	-0.168
PPM Mn	0.271	-0.628	0.085	-0.110	0.216	-0.090	-0.677
PPM Ni	-0.295	0.531	-0.349	-0.287	0.343	0.189	-0.523
PPM Pb	-0.457	-0.158	-0.378	0.038	-0.628	-0.415	-0.235
PPM Zn	-0.328	-0.013	0.646	-0.621	-0.261	0.138	-0.039

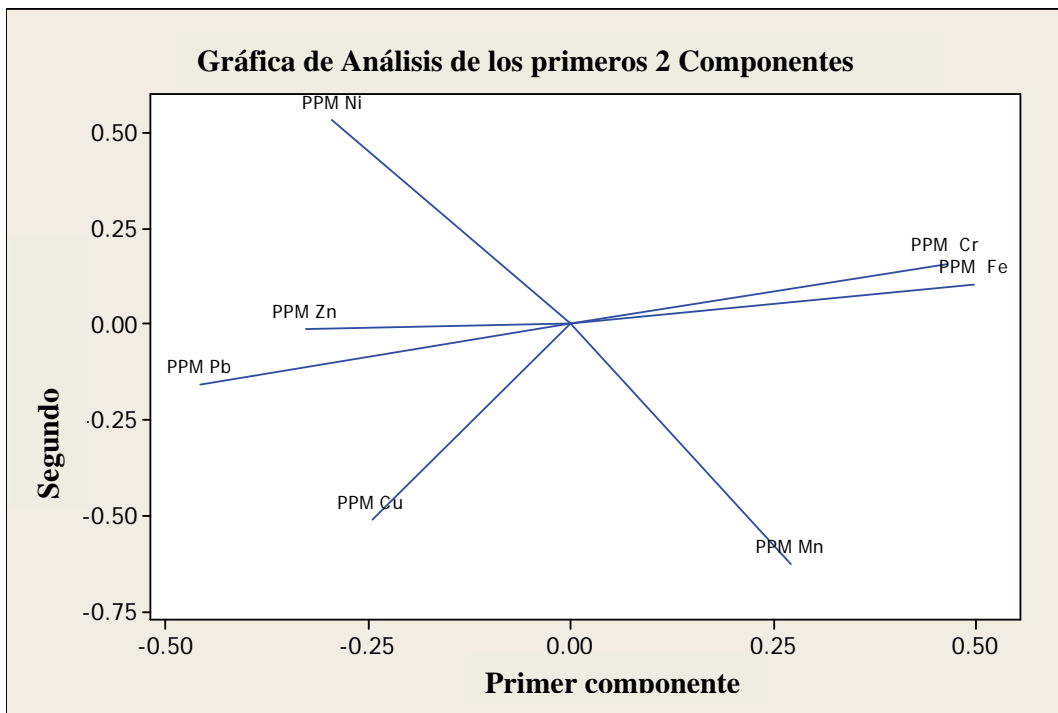
El 96.6% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta en cromo, hierro y manganeso; con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 53.6)

PC2: correlación positiva con cromo, hierro y níquel; negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=25.8)

PC3: correlación positiva con manganeso y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=17.2)

La interacción entre el primer y segundo componentes genera correlaciones positivas en hierro y cromo; el análisis debe centrarse en dichos elementos.



Gráfica 19. Maíz (Hoja)

## HOJA Y TALLO

### Análisis de Componentes Principales: PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni, PPM Pb,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	4.8146	1.9666	0.9977	0.2211	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
Proporción	0.602	0.246	0.125	0.028	0.000	0.000	0.000	-0.000
Acumulado	0.602	0.848	0.972	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Cr	0.265	-0.568	0.087	0.293	-0.234	0.401	0.545	0.023
PPM Cu	-0.383	0.103	0.430	0.638	0.344	0.286	-0.175	-0.142
PPM Fe	-0.349	0.127	-0.618	-0.060	-0.138	0.504	0.022	-0.450
PPM Mn	-0.449	0.109	0.063	-0.045	0.128	-0.438	0.731	-0.196
PPM Ni	-0.316	-0.403	-0.393	0.462	-0.274	-0.450	-0.246	0.177
PPM Pb	-0.242	-0.587	-0.100	-0.372	0.642	0.109	-0.088	0.130

PPM Zn	-0.436	0.200	0.059	-0.140	-0.243	0.311	0.121	0.759
PPM Co	-0.334	-0.303	0.504	-0.360	-0.496	-0.007	-0.233	-0.336

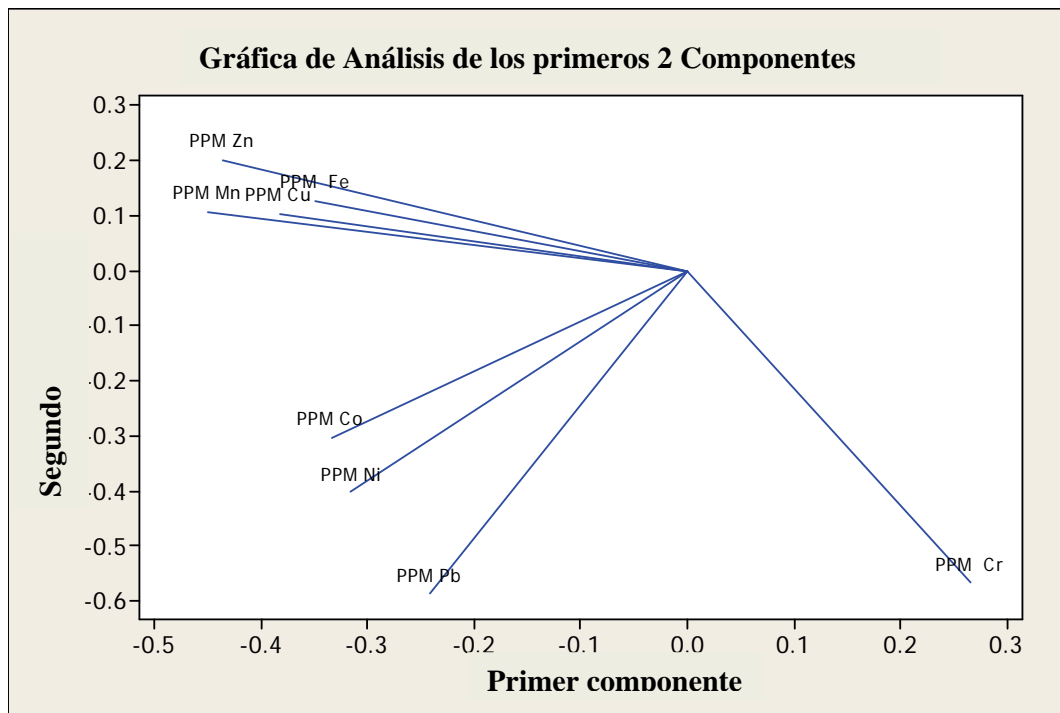
El 97.2% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta en cromo; con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 60.2)

PC2: correlación positiva con cobre, hierro, manganeso y zinc; negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=24.6)

PC3: correlación positiva con cromo, cobre, níquel, zinc y cobalto; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=12.5)

La interacción entre el primer y segundo componentes no genera correlaciones positivas; el análisis debe centrarse en cromo para el primer componente y en manganeso, cobre, hierro y zinc en el segundo componente.



Gráfica 20. Hoja y tallo de maíz.

## ESPIGA

### Análisis de Componentes Principales: PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni, PPM Pb,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	3.0178	2.5941	1.7595	0.6287	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.377	0.324	0.220	0.079	0.000	0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.377	0.701	0.921	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Cr	0.432	-0.366	0.213	0.123	-0.004	0.017	-0.086	-0.782
PPM Cu	-0.500	0.144	0.028	0.551	0.081	-0.015	-0.620	-0.182



PPM Fe	-0.318	-0.461	-0.035	0.472	-0.077	-0.381	0.556	0.036
PPM Mn	-0.245	-0.163	-0.653	-0.040	-0.195	0.612	0.124	-0.242
PPM Ni	0.212	-0.516	0.273	0.262	-0.010	0.495	-0.208	0.508
PPM Pb	-0.027	-0.514	-0.358	-0.372	-0.130	-0.453	-0.484	0.114
PPM Zn	-0.399	-0.046	0.510	-0.304	-0.684	0.093	0.001	-0.102
PPM Co	-0.445	-0.270	0.254	-0.396	0.682	0.149	0.077	-0.121

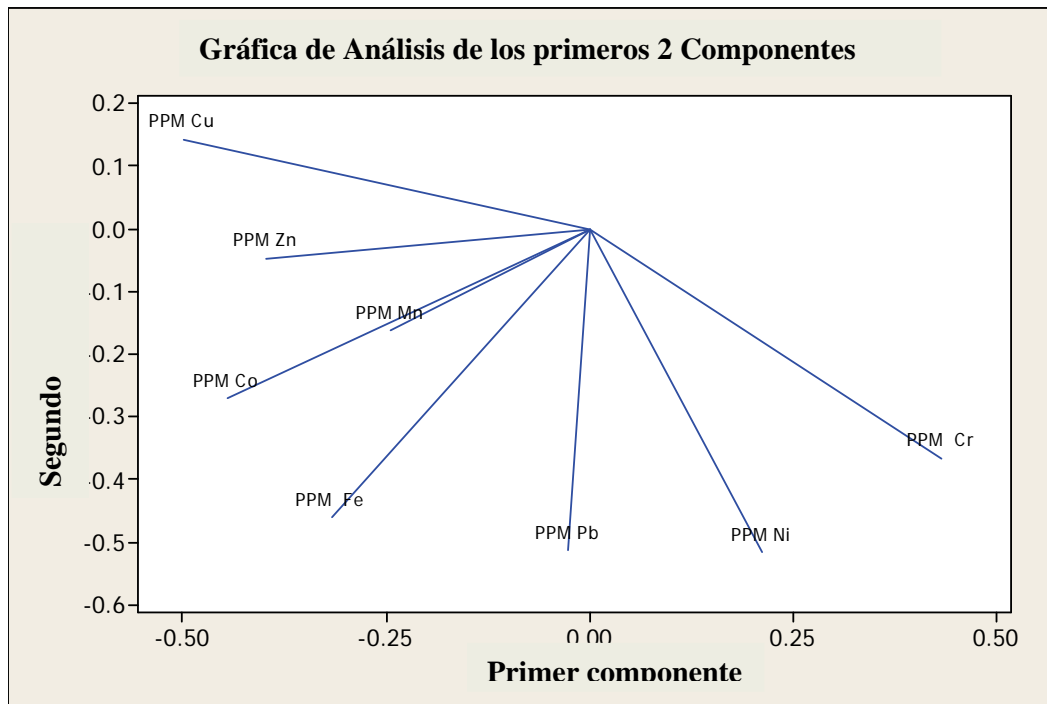
El 92.1% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta en cromo y níquel; con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 37.7)

PC2: correlación positiva con cobre; negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=32.4)

PC3: correlación positiva con cromo, cobre, níquel, zinc y cobalto; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=22)

La interacción entre el primer y segundo componentes no genera correlaciones positivas; el análisis debe centrarse en cobre, níquel y cromo.



**Gráfica 21. Espiga de maíz.**

## MAZORCA

### Análisis de Componentes Principales: PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni, PPM Pb,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	4.1825	2.5047	1.0708	0.2420	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.523	0.313	0.134	0.030	0.000	0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.523	0.836	0.970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Cr	0.461	0.131	-0.139	-0.442	0.359	-0.504	-0.043	-0.413
PPM Cu	0.357	0.423	0.120	0.059	-0.419	0.051	-0.701	0.075
PPM Fe	-0.234	0.540	-0.132	0.302	-0.304	-0.572	0.353	0.029
PPM Mn	-0.280	0.488	-0.191	-0.392	0.428	0.149	-0.103	0.527
PPM Ni	-0.364	0.093	-0.627	-0.115	-0.193	0.291	-0.169	-0.549
PPM Pb	-0.334	-0.439	-0.041	-0.455	-0.373	-0.461	-0.264	0.257
PPM Zn	-0.460	-0.022	0.278	0.369	0.458	-0.260	-0.488	-0.243
PPM Co	0.268	-0.269	-0.663	0.447	0.184	-0.169	-0.188	0.345

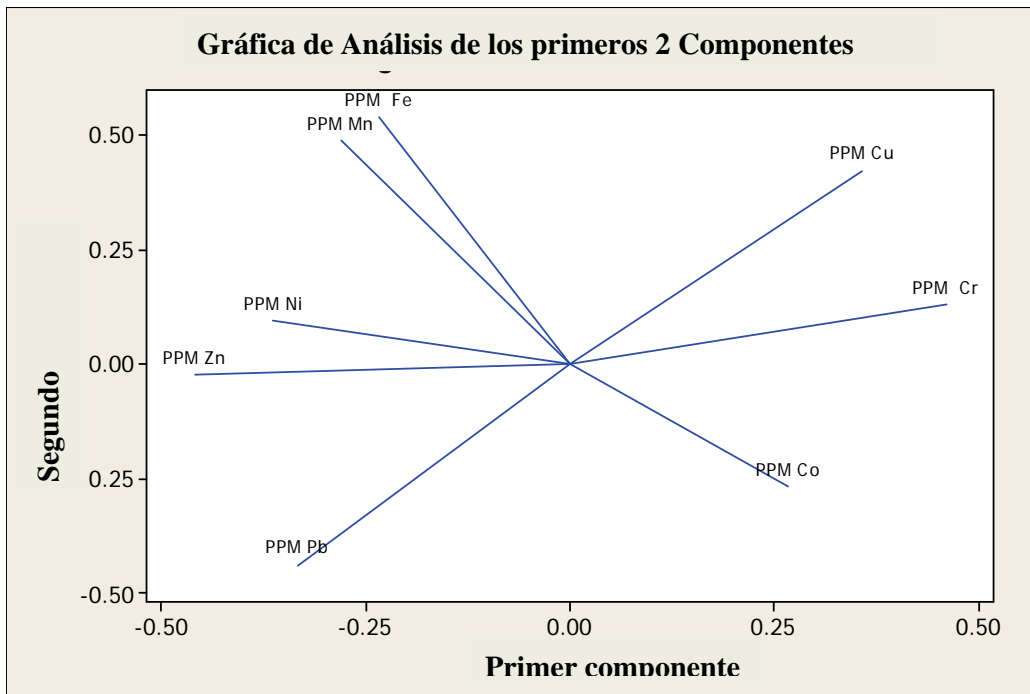
El 97% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta en cromo, cobre y cobalto; con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 52.3)

PC2: correlación positiva con cromo, cobre, fierro, manganeso y níquel; negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=31.3)

PC3: correlación positiva con cobre, y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=13.4)

La interacción entre el primer y segundo componentes indican que las correlaciones positivas son generadas por cromo y cobre.



Gráfica 22. Mazorca de maíz.

## RAÍZ

**Análisis de Componentes Principales: PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni, PPM Pb,**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor 3.0867 2.6587 1.9479 0.3067 0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000

Proporción	0.386	0.332	0.243	0.038	0.000	0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.386	0.718	0.962	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Cr	-0.208	-0.472	-0.298	-0.575	0.150	0.310	-0.425	0.125
PPM Cu	0.032	0.216	-0.660	-0.282	-0.447	-0.435	0.159	0.151
PPM Fe	0.513	0.208	0.153	-0.298	-0.018	-0.245	-0.519	-0.502
PPM Mn	0.288	-0.106	-0.566	0.542	0.473	-0.086	-0.244	0.034
PPM Ni	0.427	-0.390	-0.066	-0.282	0.261	0.000	0.663	-0.273
PPM Pb	0.298	-0.511	-0.011	0.323	-0.692	0.221	-0.113	-0.069
PPM Zn	-0.241	-0.513	0.249	0.063	0.063	-0.772	-0.097	0.055
PPM Co	-0.530	-0.026	-0.254	0.141	-0.055	0.044	0.056	-0.791

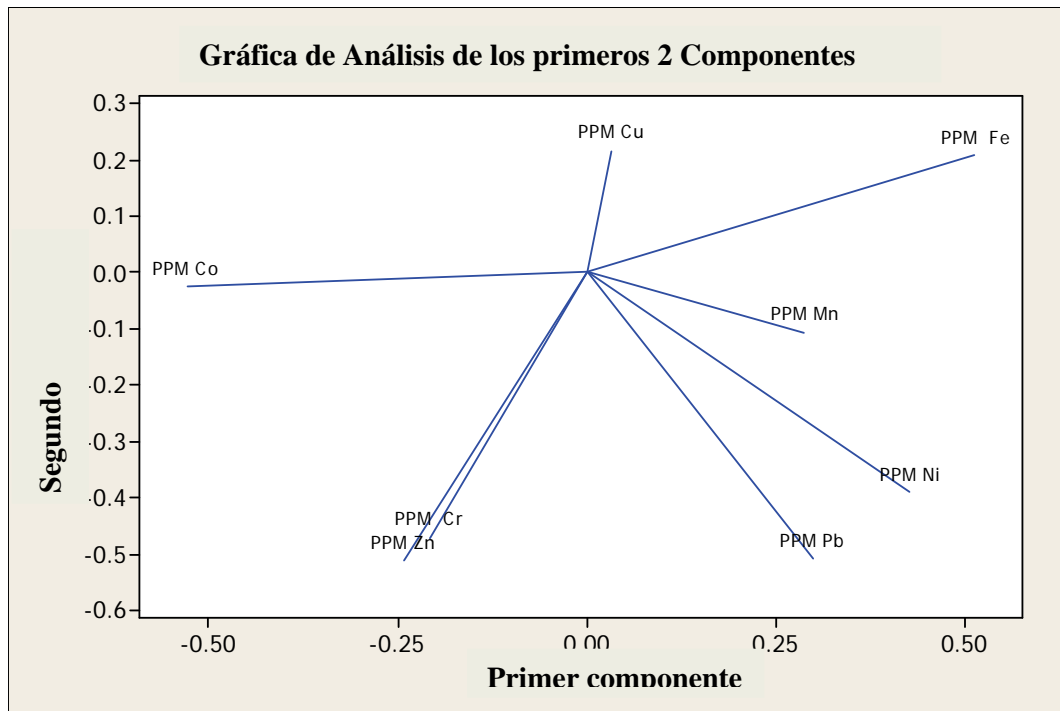
El 96.2% de la varianza se explica con los primeros tres componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación positiva se presenta en cobre, hierro, manganeso, níquel y plomo; con el resto de los metales hay correlación negativa. (% de variabilidad = 38.6)

PC2: correlación positiva con cobre y hierro; negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=33.2)

PC3: correlación positiva con hierro, y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=24.3)

La interacción entre el primer y segundo componentes indican que las correlaciones positivas son generadas por cobre y hierro.

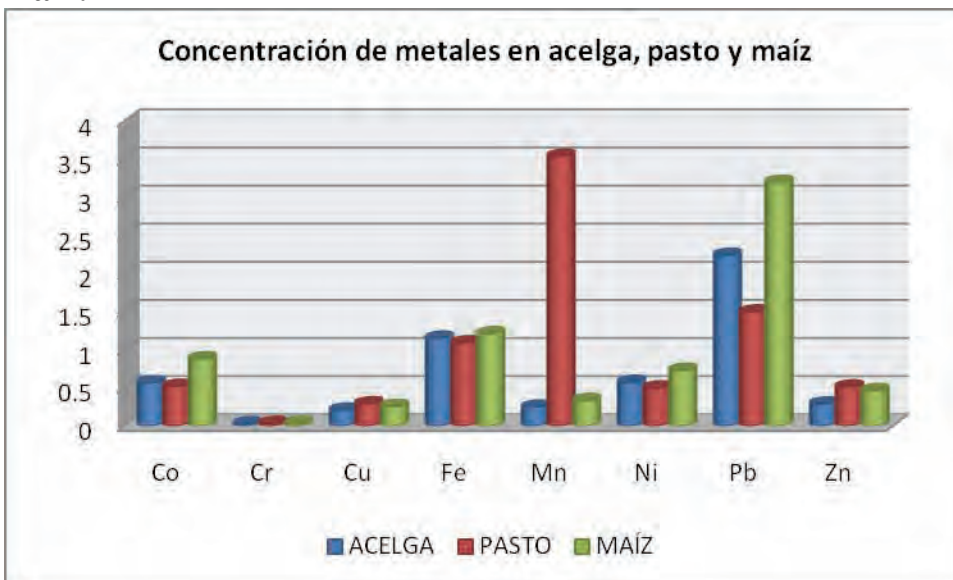


**Gráfica 23. Raíz de planta de maíz.**

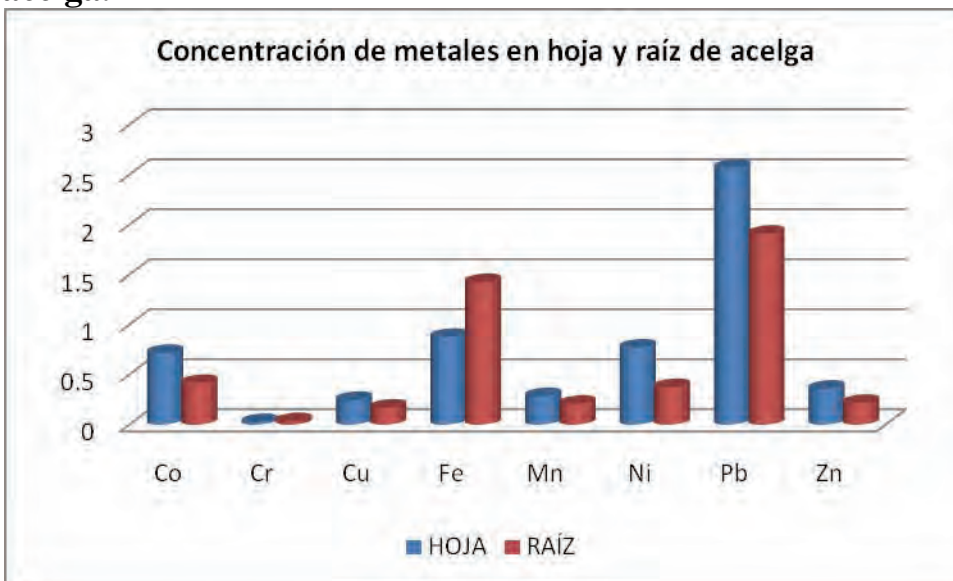
PLANTA		PPM Co	PPM Cr	PPM Cu	PPM Fe	PPM Mn	PPM Ni	PPM Pb	PPM Zn
ACELGA	HOJA	0.7165	0.0245	0.246	0.8775	0.284	0.77	2.5695	0.3585
	RAÍZ	0.415	0.033	0.168	1.4245	0.2075	0.3745	1.908	0.216
	<b>COMPLETA</b>	<b>0.56575</b>	<b>0.02875</b>	<b>0.207</b>	<b>1.151</b>	<b>0.24575</b>	<b>0.57225</b>	<b>2.23875</b>	<b>0.28725</b>
PASTO	<b>COMPLETA</b>	<b>0.51975</b>	<b>0.033</b>	<b>0.2905</b>	<b>1.08995</b>	<b>3.5375</b>	<b>0.498</b>	<b>1.49575</b>	<b>0.512</b>
MAÍZ	HOJA	0	0.0266	0.1798	1.5334	0.3872	0.8334	3.3494	0.572
	HOJA Y TALLO	0.922	0.0242	0.2362	0.974	0.2734	0.7012	2.9658	0.4034
	ESPIGA	0.8824	0.3184	1.1342	0.3628	0.727	3.1788	0.4518	0.8824
	MAZORCA	1.0106	0.0354	0.2826	0.9636	0.3504	0.6812	3.4914	0.5366
	RAÍZ	0.703	0.0354	0.2588	1.4492	0.294	0.6992	2.9942	0.36
	<b>COMPLETA</b>	<b>0.8795</b>	<b>0.03256</b>	<b>0.25516</b>	<b>1.21088</b>	<b>0.33356</b>	<b>0.7284</b>	<b>3.19592</b>	<b>0.46476</b>
HO		<b>0.05-0.5</b>	<b>0.1-1</b>	<b>4</b>		<b>15</b>	<b>1</b>	<b>0.1</b>	<b>8</b>

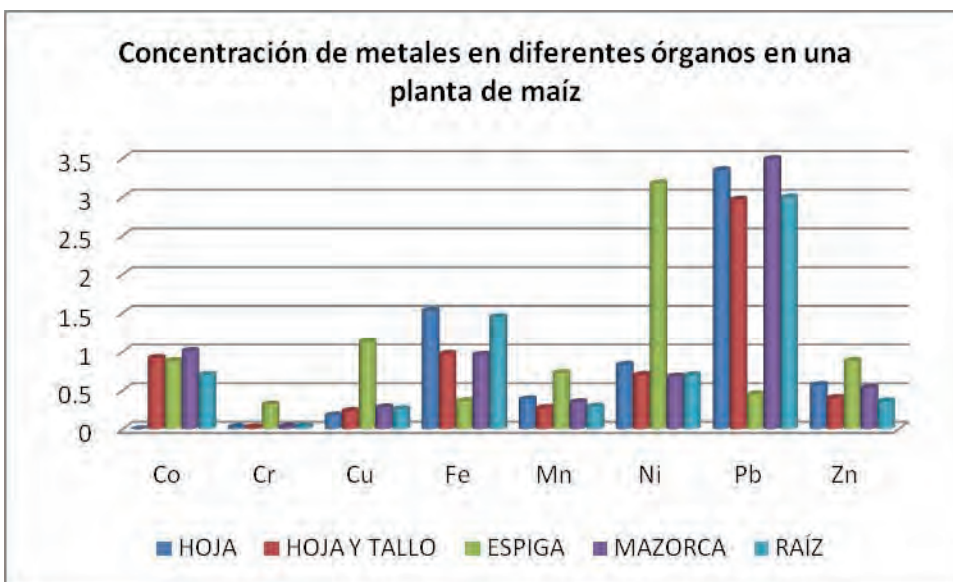
**Tabla 23. Concentraciones de metales pesados en PPM en tejidos vegetales.**

**Gráfica 24. Concentración de metales pesados en PPM en acelga, pasto y maíz.**



**Gráfica 25. Concentración de metales pesados en PPM en hoja y raíz de acelga.**





**Gráfica 26. Concentración de metales Pesados en PPM en diferentes órganos en planta de maíz.**

### **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES EN LOS TRES PRIMEROS PERFILES (para todos los elementos) PROFUNDIDAD 0-10**

#### **Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni,**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	5.7689	2.2311	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.721	0.279	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.721	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

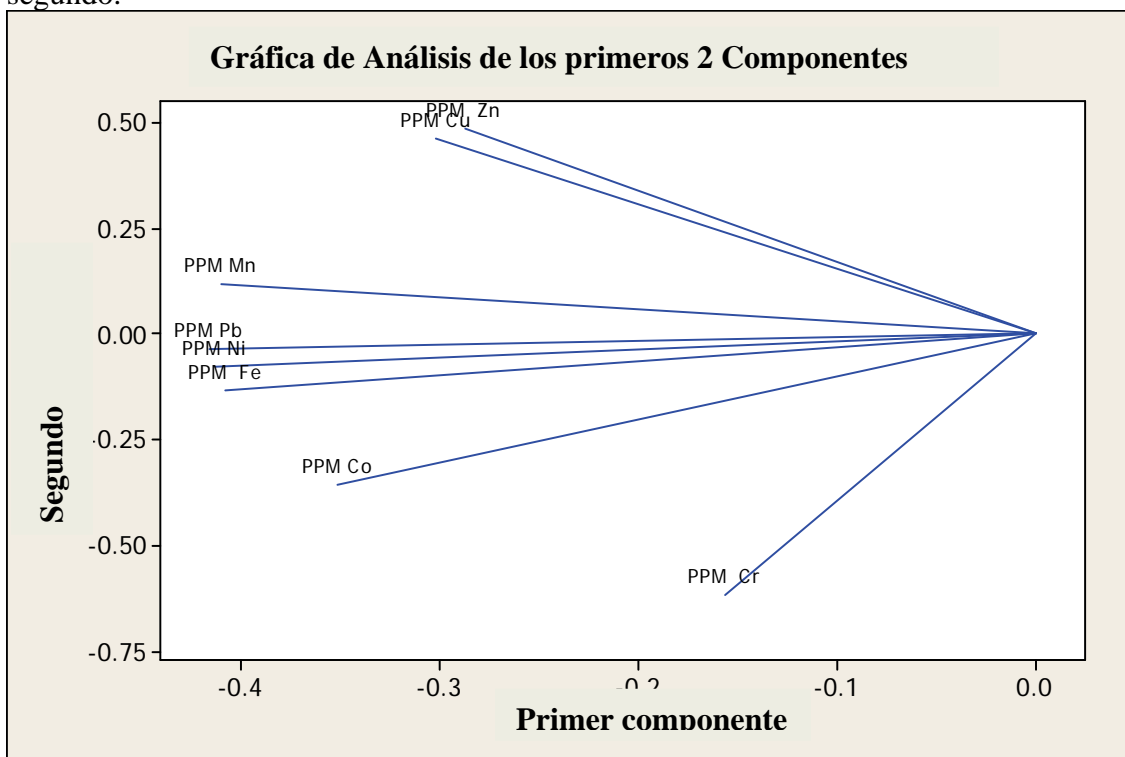
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Co	-0.351	-0.360	-0.363	0.281	-0.326	0.548	-0.016	0.360
PPM Cr	-0.157	-0.620	-0.251	-0.363	0.021	-0.509	0.363	0.069
PPM Cu	-0.302	0.461	0.033	-0.032	-0.540	-0.460	-0.047	0.434
PPM Fe	-0.408	-0.133	-0.168	0.450	0.133	-0.374	-0.528	-0.385
PPM Mn	-0.410	0.116	-0.022	-0.566	0.476	0.173	-0.399	0.285
PPM Ni	-0.413	-0.079	0.389	-0.347	-0.435	0.226	0.055	-0.555
PPM Pb	-0.416	-0.037	0.560	0.380	0.369	-0.024	0.430	0.215
PPM Zn	-0.288	0.484	-0.557	0.005	0.179	0.084	0.490	-0.306

El 100% de la varianza se explica con los primeros dos componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: la correlación entre los metales es negativa, el valor más alto se presenta para el cromo. (% de variabilidad = 72.1)

PC2: correlación positiva con cobre, manganeso y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=27.9)

El gráfico muestra que no existe correlación positiva entre el PC1 y el PC2; el análisis debe centrarse en cromo para el primer componente y en manganeso, cobre y zinc para el segundo.



Gráfica 27. 0 – 10 cm. de los tres primeros perfiles; para todos los elementos.

## PROFUNDIDAD 10-20

**Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni,**

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	5.6530	2.3470	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.707	0.293	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.707	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Co	-0.352	-0.356	-0.541	0.461	0.320	0.116	0.134	-0.330
PPM Cr	0.095	-0.636	0.149	-0.029	0.175	-0.676	-0.238	0.138
PPM Cu	-0.406	0.170	-0.129	0.249	-0.689	-0.334	-0.356	-0.121

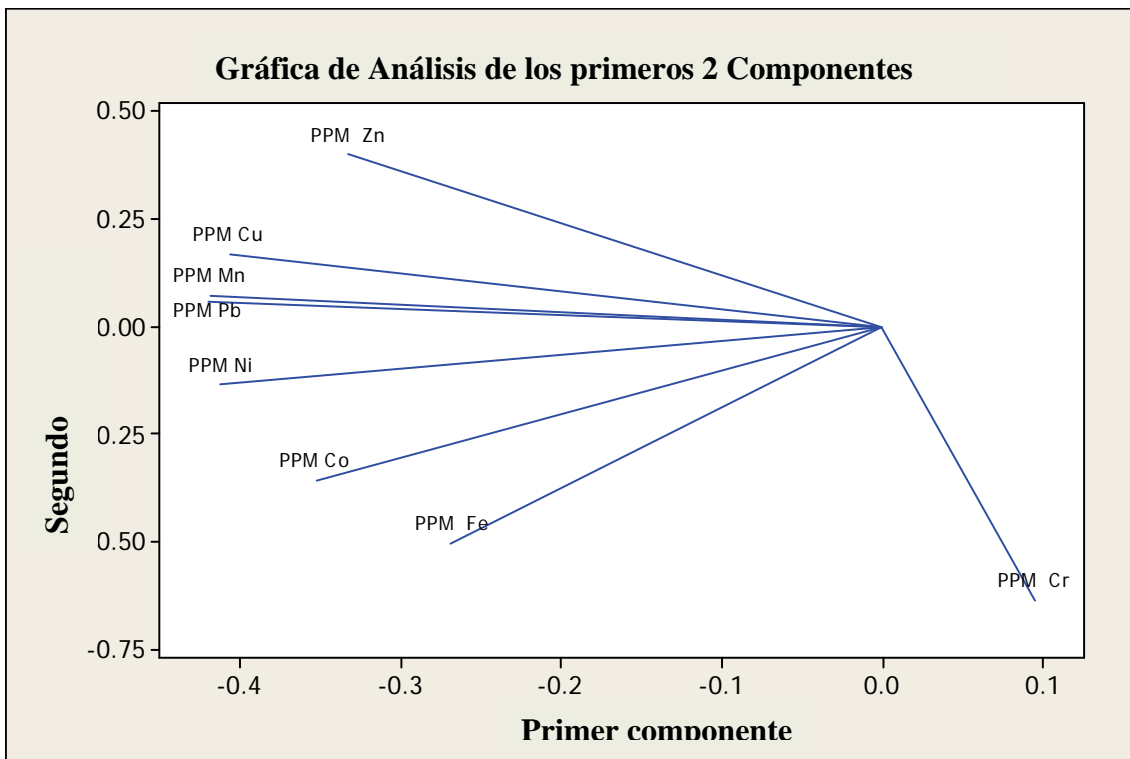
PPM Fe	-0.268	-0.503	0.470	0.084	-0.200	0.586	-0.237	0.091
PPM Mn	-0.418	0.072	-0.254	-0.665	0.284	0.080	-0.475	-0.035
PPM Ni	-0.411	-0.135	0.258	-0.388	-0.158	-0.195	0.645	-0.340
PPM Pb	-0.419	0.056	-0.123	0.083	0.047	-0.057	0.283	0.845
PPM Zn	-0.332	0.400	0.549	0.343	0.494	-0.166	-0.142	-0.136

El 100% de la varianza se explica con los primeros dos componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: el cromo presenta correlación positiva, mientras que los demás metales tienen correlación negativa. (% de variabilidad = 70.7)

PC2: correlación positiva con cobre, manganeso, plomo y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=29.3)

El gráfico muestra que no existe correlación positiva entre el PC1 y el PC2; el análisis debe centrarse en cromo para el primer componente y plomo, manganeso, cobre y zinc para el segundo.



Gráfica 28. 10 – 20 cm. de los primeros perfiles; para todos los elementos.

### PROFUNDIDAD 20-30

Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni,



#### Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	5.6335	2.3665	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.704	0.296	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.704	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

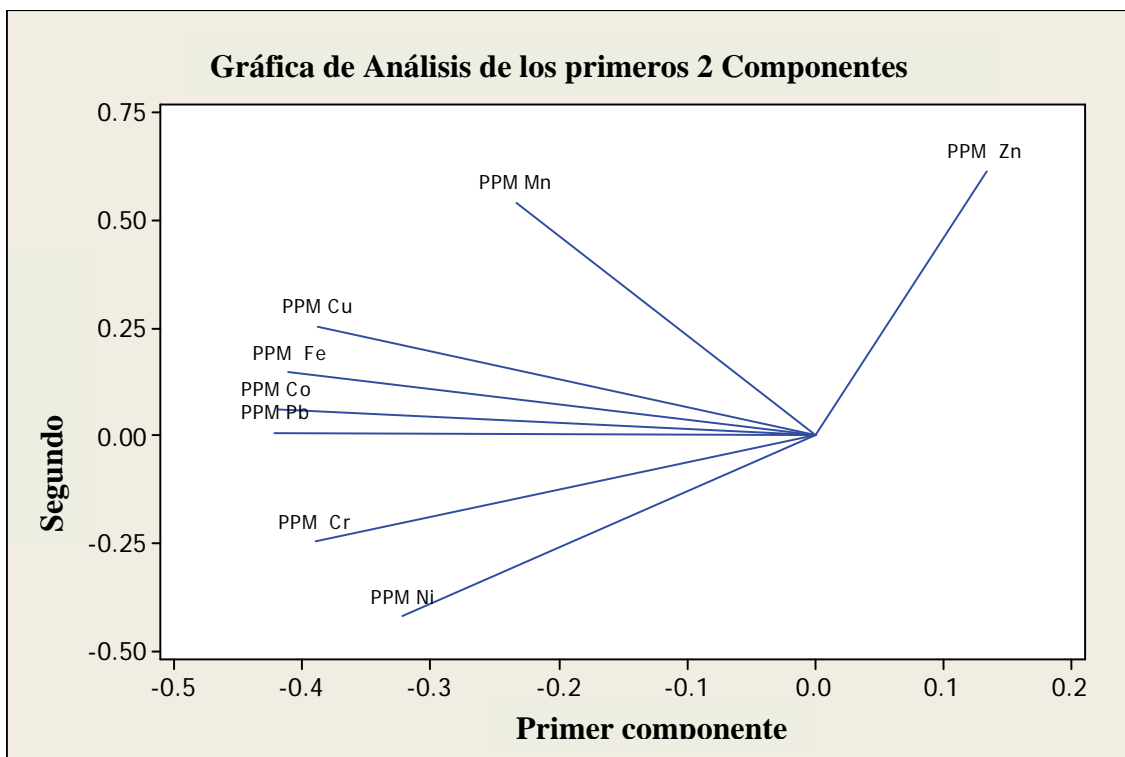
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Co	-0.419	0.062	0.088	0.285	-0.541	-0.332	0.358	-0.448
PPM Cr	-0.390	-0.246	0.097	0.647	0.487	-0.146	0.042	0.315
PPM Cu	-0.388	0.254	-0.597	-0.350	0.362	-0.042	0.416	-0.014
PPM Fe	-0.411	0.146	0.011	0.152	-0.056	0.835	-0.204	-0.211
PPM Mn	-0.233	0.542	-0.060	0.016	0.048	-0.390	-0.702	-0.040
PPM Ni	-0.322	-0.420	0.422	-0.482	0.327	-0.120	-0.152	-0.407
PPM Pb	-0.421	0.007	0.267	-0.350	-0.372	0.014	0.041	0.699
PPM Zn	0.134	0.616	0.611	-0.001	0.297	0.054	0.370	-0.024

El 100% de la varianza se explica con los primeros dos componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: el zinc presenta correlación positiva, mientras que los demás metales tienen correlación negativa. (% de variabilidad = 70.4)

PC2: correlación positiva con cobalto, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=29.6)

El gráfico muestra que existe correlación positiva entre el PC1 y el PC2 para zinc; el análisis debe centrarse en dicho metal.



Gráfica 29. 20 – 30 cm. de los tres primeros perfiles; para todos los elementos.

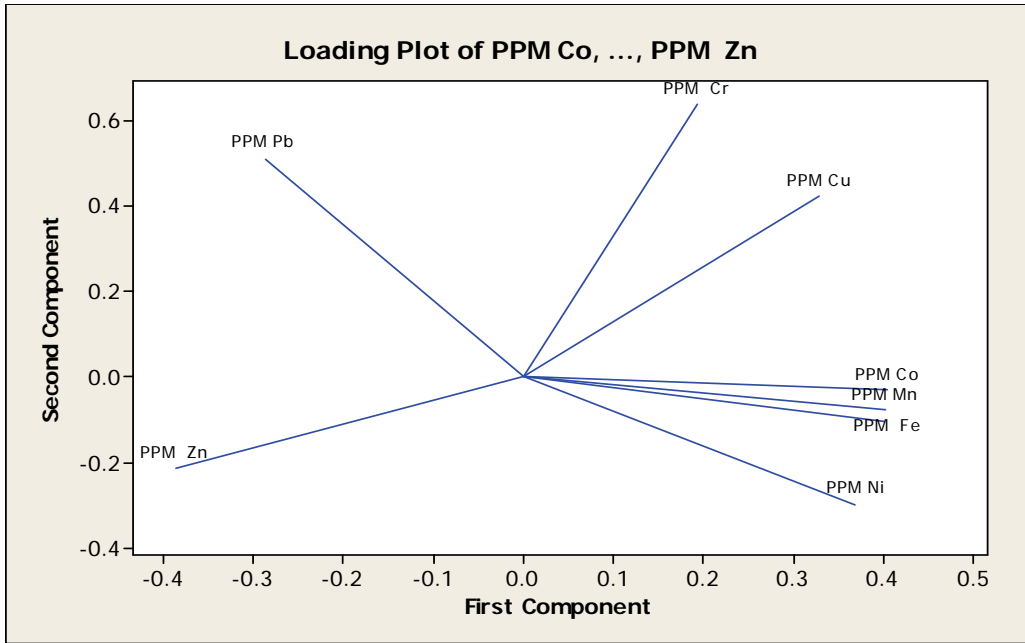
## PROFUNDIDAD 30-40

### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	6.0997	1.9003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.762	0.238	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.762	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Co	0.404	-0.033	-0.048	-0.333	0.564	0.127	0.393	0.483
PPM Cr	0.193	0.638	0.080	-0.428	-0.051	-0.369	0.216	-0.425
PPM Cu	0.329	0.423	-0.443	0.146	0.058	0.600	-0.334	-0.145
PPM Fe	0.400	-0.107	-0.399	-0.089	-0.695	-0.216	0.088	0.352
PPM Mn	0.402	-0.079	0.052	0.115	0.311	-0.536	-0.655	0.054
PPM Ni	0.369	-0.299	0.565	-0.403	-0.254	0.386	-0.215	-0.182
PPM Pb	-0.288	0.510	0.329	-0.136	-0.156	0.068	-0.314	0.634
PPM Zn	-0.387	-0.214	-0.453	-0.694	0.092	-0.006	-0.326	-0.055



Gráfica 30. Profundidad 30-40. De los tres Primeros Perfiles para todos los elementos.

El 100% de la varianza se explica con los primeros dos componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: cobalto, cromo, cobre, fierro, zinc y níquel presentan correlación positiva, mientras que los demás metales tienen correlación negativa. (% de variabilidad = 76.2)

PC2: correlación positiva con cobalto, cobre, fierro, manganeso, plomo y zinc; correlación negativa con el resto de los metales. (% de variabilidad=23.8)

El gráfico muestra que existe correlación positiva entre el PC1 y el PC2 para cromo y cobre; el análisis debe centrarse en dichos elementos.

## PROFUNDIDAD 40-50

### Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni,

Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	7.1383	0.8617	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
Proporción	0.892	0.108	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	0.892	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Co	0.367	-0.209	0.315	0.297	0.538	0.396	-0.409	-0.143
PPM Cr	-0.329	-0.512	0.228	-0.156	-0.253	0.229	-0.290	0.594
PPM Cu	0.374	-0.007	0.263	0.250	-0.390	0.447	0.601	0.122
PPM Fe	-0.374	-0.009	0.004	0.854	-0.261	-0.152	-0.155	-0.121

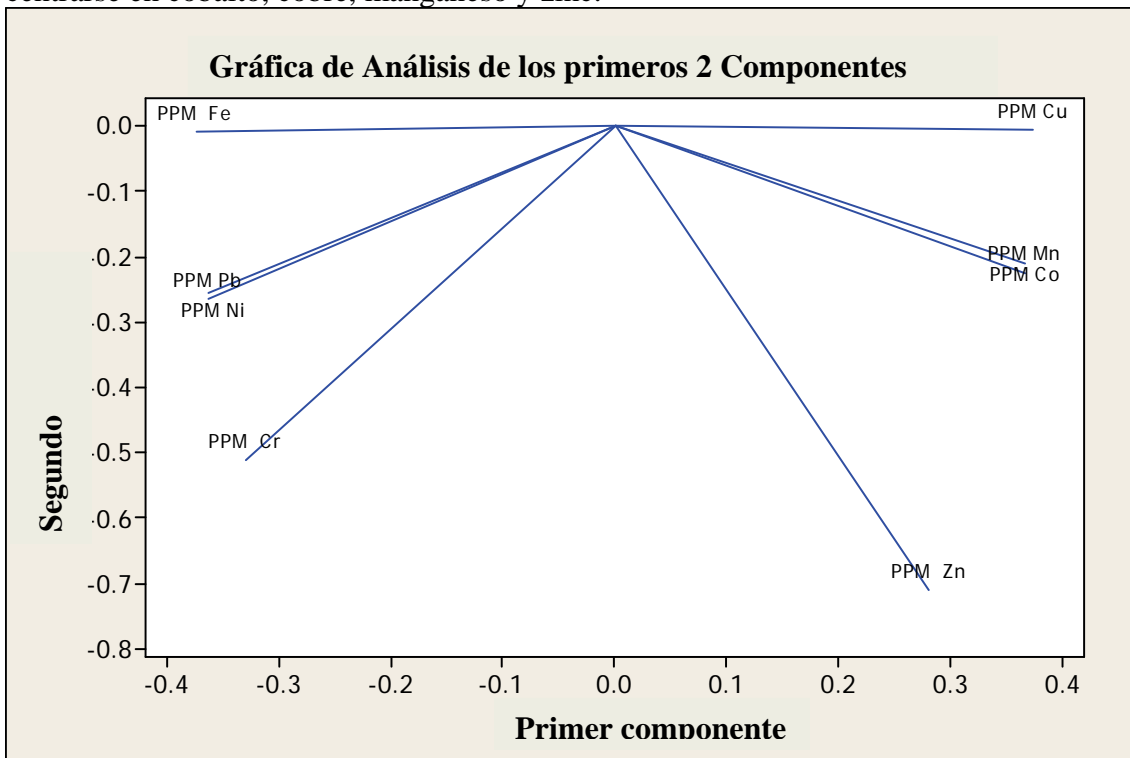
PPM Mn	0.366	-0.224	0.404	0.099	0.071	-0.751	0.106	0.251
PPM Ni	-0.364	-0.256	-0.175	0.166	0.617	0.036	0.562	0.213
PPM Pb	-0.363	-0.266	0.552	-0.240	-0.055	-0.021	0.188	-0.630
PPM Zn	0.281	-0.712	-0.530	0.010	-0.193	-0.051	0.020	-0.305

El 100% de la varianza se explica con los primeros dos componentes principales. Las correlaciones de cada componente principal con cada variable se pueden interpretar como sigue:

PC1: cobalto, cobre, manganeso y zinc presentan correlación positiva, mientras que los demás metales tienen correlación negativa. (% de variabilidad = 89.2)

PC2: correlación negativa con todos los metales; el valor más positivo se presenta en cobre. (% de variabilidad=10.8)

El gráfico muestra que no existe correlación positiva entre el PC1 y el PC2, el análisis debe centrarse en cobalto, cobre, manganeso y zinc.



Gráfica 31. 40 – 50 cm. de los tres primeros perfiles; para todos los elementos.

### PROFUNDIDAD 50-60

**Análisis de Componentes Principales: PPM Co, PPM Cr, PPM Cu, PPM Fe, PPM Mn, PPM Ni,**

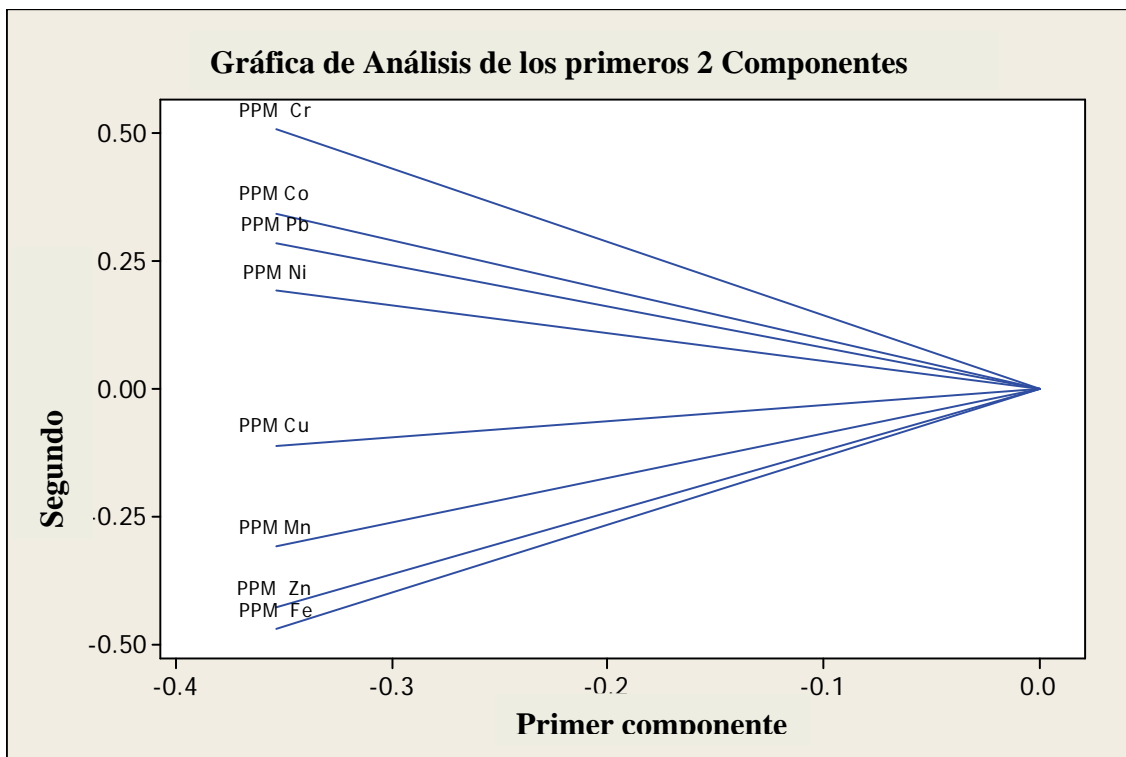
Eigenanálisis de la Matriz de Correlación

Eigenvalor	8.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
------------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------

Proporción	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Acumulado	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PPM Co	-0.354	0.341	0.230	0.450	0.018	0.689	0.076	0.148
PPM Cr	-0.354	0.505	0.481	-0.271	-0.223	-0.381	-0.344	0.043
PPM Cu	-0.354	-0.112	-0.412	-0.377	-0.628	0.327	-0.061	-0.214
PPM Fe	-0.354	-0.470	0.412	-0.490	0.282	0.146	0.316	0.208
PPM Mn	-0.354	-0.309	0.069	0.521	-0.405	-0.443	0.363	0.103
PPM Ni	-0.354	0.191	-0.583	-0.066	0.290	-0.174	-0.038	0.615
PPM Pb	-0.354	0.281	-0.178	-0.023	0.385	-0.157	0.387	-0.664
PPM Zn	-0.354	-0.429	-0.020	0.256	0.281	-0.008	-0.699	-0.240

El 100% de la varianza se explica con el primer componente principal, no se muestra correlación positiva para algunos de los metales, en el gráfico se presentan los vectores que describen el comportamiento de las variables (metales) en el PC1.



Gráfica 32. 50 – 60 cm. de los tres primeros perfiles; para todos los elementos.

## NOTA

EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DONDE SE INCLUYE FIERRO Y NÍQUEL SOLO SE PUDO REALIZAR HASTA LA PROFUNDIDAD 50-60, EN EL RESTO DE LAS PROFUNDIDADES NO SE PUDO EFECTUAR CON EL MÉTODO DE COMPONENTES PRINCIPALES YA QUE LOS DATOS SON INSUFICIENTES O PRESENTAN VALORES IGUALES Y CERCANOS A CERO. EL CADMIO NO SE PUEDE INCLUIR EN EL ANÁLISIS DEBIDO A QUE PRESENTA VALORES MUY BAJOS.

PARA ANALIZAR LOS CASOS ANTES MENCIONADOS SE RECOMIENDA UTILIZAR LA TABLA DONDE SE PRESENTAN MÁXIMOS, MÍNIMOS, PROMEDIOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA TODOS LOS METALES Y PROFUNDIDADES.

EN EL CASO DE ACELGA Y PASTO SE PRESENTA EL PROBLEMA ANTES MENCIONADO (DATOS INSUFICIENTES Y VALORES SIMILARES EN CADA MEDICIÓN), PARA EL ANÁLISIS SE RECOMIENDA UTILIZAR LAS TABLAS Y LOS GRÁFICOS. (SE INCLUYERON LOS RESULTADOS PARA HOJA Y RAÍZ EN ACELGA PARA COMPROBAR POR QUÉ NO ES EFECTIVO EL ANÁLISIS CON ESTE MÉTODO).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- En relación a las 18 muestras de agua se encontró que los sitios con mayores concentraciones de metales pesados se obtuvieron en las plantas de tratamiento o de rebombeo así como en los sitios más cercanos a las descargas de agua de las plantas de tratamiento. En la tabla 1, se observa que el cromo (Cr) rebasa en todos los sitios los límites permisibles. El cobre (Cu) salvo la muestra de E. Mújica, descarga de planta S.L. Tlax., las demás si rebasan el límite permisible. En el caso de Fierro las muestra de la Planta Cerro de la estrella, Canal de Cuemanco y Planta el Hueso rebasan las concentraciones permitidas el resto no. El níquel (Ni) rebasa en todas las muestras los límites permisibles. El Plomo (Pb) presenta concentraciones por arriba de lo permitido en las muestras Cerro de la Estrella, Planta El Hueso, Canal Belem Xoch., Laguna Caltongo, Xoch., Lago Xaltocan, Xoch., el resto de las muestras se encuentra por debajo de los límites permisibles. El zinc (Zn) presentó concentraciones más altas a las permitidas en las muestras de Canal de Cuemanco, Planta El Hueso y Canal de descarga de Sn Luis Tlaxialtemalco, los demás sitios presentaron concentraciones por debajo de los permitidos (17) (25) (36)
- En la tabla 2 se puede apreciar que el cadmio (Cd), y el cromo (Cr) rebasan los límites permisibles. El cobre (Cu) salvo en el sitio de descarga S. L. Tlax. presenta concentración más baja que la permitida el resto de los sitios presentan concentraciones más altas que las permisibles. En relación al fierro (Fe) los sitios Planta Cerro de la Estrella, Planta San Luis Tlax. y Planta Aculco rebasan los límites permisibles, el resto de las muestras no lo rebasan. El manganeso (Mn) y el níquel rebasan los límites permitidos. El Zinc (Zn) en las muestras de Canal Belem, Xoch., y en la descarga de la Planta de S. L. Tlax. se encuentran por abajo del límite permisible, en el resto de los sitios lo rebasan) (17) (36)
- Las concentraciones de metales pesados se comportaron de la siguiente manera (Tabla 3) en la raíz de las plantas de maíz (*Zea mays* L.) el cobalto rebasa los límites permisibles. El cromo, el cobre (Cu), el fierro (Fe), el manganeso (Mn), el níquel (Ni) presentaron niveles inferiores a los permisibles; el plomo (Pb) es el metal que rebasó los límites permisibles, finalmente el zinc (zn) no rebasó los límites permisibles. (7) (25)
- En el caso de las concentraciones de metales pesados en hojas de maíz (Tabla 4) el cobalto (Co) presentó niveles más altos a los permisibles. El

cromo (Cr), cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) están por debajo de los límites permisibles; el plomo (Pb) presenta concentraciones por arriba de lo permisible. El zinc (Zn) mostró concentraciones más bajas a las permisibles. (2) (21) (25) (42)

- En los análisis de hojas y tallos de maíz (Tabla 5) se obtuvo para cobalto (Co) niveles más altos a los permisibles. Para cromo (Cr), cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) se encontraron niveles menores a los permisibles. El plomo (Pb) presentó concentraciones mayores a las permitidas. El zinc mostró niveles menores a los permitidos. (21) (25)
- En la Tabla 6 se muestran las concentraciones para mazorca de maíz (*Zea mays* L.) teniendo para cobalto (Co) niveles mayores a los permitidos. El cromo (Cr), cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) presentaron niveles inferiores a los permitidos. El plomo (Pb) presentó concentraciones por arriba de los permitidos. El zinc (Zn) presentó niveles inferiores a los permisibles. (2) (21) (25)
- Las concentraciones de los metales pesados de nuestro interés, en espiga de maíz (Tabla 7) son: en cromo (Cr) rebasa los niveles inferiores permisibles. El cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) se encuentran por debajo de lo permisible. El níquel (Ni) salvo en Bordo S. Miguel, Mix., presenta concentración ligeramente por arriba de lo permisible, el resto de los sitios presentan concentraciones inferiores. El plomo (Pb) presenta concentraciones por arriba de lo permitido. El zinc (Zn) muestra concentraciones inferiores a lo permisible. (21) (25)
- Las concentraciones de los metales pesados en hojas de acelga (*Beta vulgaris* L.) (Tabla 8) para cobalto (Co) rebasan ligeramente lo permisible. El cromo (Cr), cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) presentaron concentraciones menores a las permitidas. El plomo en todas las muestras presentó concentraciones mayores a las permisibles. El zinc (Zn) se mantuvo por abajo de los límites permisibles. (21) (22)
- Las muestras de raíz de acelga (Tabla 9) presentaron para cobalto (Co) concentraciones que rebasan el nivel inferior de lo permitido. El cromo sólo en S. Miguel, Mix., rebasó el nivel inferior de concentración. El cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) presentaron niveles de concentración por debajo de lo permitido. El plomo (Pb) presentó concentraciones superiores a las permitidas. El zinc (Zn) se mantuvo por debajo de los límites permisibles. (21) (25)



- Las concentraciones de metales pesados (Tabla 15) en planta completa de pasto (*Pennisetum clandestinum*) para cobalto (Co) fue mayor a la permitida. Para cromo (Cr), cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) las concentraciones fueron menores a las permisibles. (7) (21) (25)
- Las concentraciones de metales pesados en general no variaron con la profundidad, lo que coincidió con lo que reportan González P. A. y B. Esquivel H., 1981, en su trabajo de cuantificación de metales pesados en suelos y plantas del Distrito Federal, en este caso las concentraciones de acuerdo a la profundidad se repetían cíclicamente hasta la profundidad en que fue posible tomar las muestras debido principalmente a que afloraba agua y ya no se pudo seguir obteniendo más muestras de suelo a mayor profundidad, la consideración que se hace es que los metales pesados depositados con el cieno se depositan periódicamente en la superficie de los “suelos” tanto de la zona de Xochimilco como de Mixquic; el aporte hace algunos años lo realizaban cada tres o cinco años; también se han realizado dragados en los canales tanto de Xochimilco como de Mixquic aportando a los terrenos cieno y agua de los canales con contenidos de diversos metales pesados.
- Para Fuad (1991) hace años el uso de aguas negras en esta zona lacustre se consideraba positiva ya que a los suelos de las chinampas le aportaban elementos esenciales para las plantas y las cosechas se incrementaban con los lodos usados, sin embargo, en los últimos años la productividad ha disminuido y se atribuye a que las aguas residuales contienen cada vez mayor cantidad de desechos industriales. Entre éstos se encuentran metales pesados, micronutrientes en concentraciones elevadas, así como gran cantidad de bacterias, virus y sales. Dando por resultado acumulación de metales en agua, suelo y plantas,
- Respecto a las bacterias se ha incrementado mucho ya que el tratamiento de aguas no es completo encontrando una gran población de bacterias.
- Lo investigado por Flores y Cajuste (1990) indican que el cadmio se adsorbe a los coloides de nuestro “suelo” a semejanza del calcio y cabe hacer mención que en estas zonas de acuerdo al manejo que se le ha dado al suelo con abundantes restos de cosechas y aportes periódicos de cieno del fondo de los canales más adiciones de estiércol, además de que aplican fertilizantes, el contenido de materia orgánica es muy alto por lo que se considera que el cadmio se adsorbe en gran cantidad en estos suelos. Lo

anterior también concuerda de alguna manera con los estudios en el que afirman que al fraccionar las formas químicas de Pb y Cd en el suelo, estos son fijados por el mismo.

- Ahora bien los metales pesados que en determinado momento se encuentran en el suelo siguen varios caminos que pueden ser tomados por los cultivos; lixiviados hasta llegar a los mantos acuíferos; o bien pueden quedar fijados fuertemente a la matriz del suelo. El camino que sigan dependerá del tipo de metal y de su estado químico, del pH, del contenido de materia orgánica y de su capacidad de intercambio catiónico. También depende de su asociación con otros compuestos y su estado químico, así tenemos por ejemplo que el cobre, níquel, zinc, cadmio, plomo y cobalto, se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácido pueden estar como cationes divalentes y en los suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales.
- El pH del suelo se debe considerar desde dos puntos de vista, uno que en la zona de estudio es muy alto (8,2 a más) y esto no es benéfico para muchos cultivos, Alfaro y Orozco (1980) y segundo por lo que toca a la solubilidad de los metales pesados disminuye y además se incrementa la adsorción de los metales pesados en el suelo.
- En relación a las muestras de tejidos vegetales se coincide con los resultados de Hoenig y Vandersteppen (1978) en el sentido de que pueden ocurrir errores que nos lleven a ciertas pérdidas en elementos debido a la insolubilización y la volatilización durante el secado a cenizas, a pesar de que en nuestro caso seguimos el procedimiento de oxidación húmeda.
- El área de trabajo recibe dos tipos de agua de desecho: la de tipo doméstico y la de tipo industrial. En el segundo tipo los principales aportadores son la industria azucarera, química, papel celulosa, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica, eléctrica y alimentos y del total del agua que desechan sólo el 25% es tratada en 361 plantas tratadoras, pero resulta sólo un tratamiento secundario lo que nos lleva a que este tipo de agua sólo puede ser utilizada para riego de parques y jardines, debido a que se encontró que inclusive después de todo el tratamiento presenta gran número de organismos patógenos, además de una gran cantidad de elementos químicos altamente tóxicos para los seres vivos, faltando mucho que investigar en este campo debido a que no se conocen muchos elementos ni su forma de combinación ni como se podrían eliminar dichos

materiales del agua, ya que si se habla de “calidad” de agua es necesario definir el uso que se le va a dar, ya que la “calidad” tendrá un significado y características diferentes según sea para abastecimiento humano, agrícola e industrial.

- El agua que envían a la zona de estudio las plantas de tratamiento contiene grandes cantidades de metales pesados y muchas sustancias tóxicas, estas aguas son mezcla de agua industrial y doméstica.
- El tratamiento de esta agua debe ser completo es decir “terciario”, para el cual hay metodologías adecuadas (op. citada).
- En la zona de estudio el recurso suelo es el que se ve más afectado debido a que en él se concentra cada vez mayor cantidad de contaminantes.

## LITERATURA CITADA.

Aguilar, J. 1978. Descripción del Sistema Agrícola de Chinampas. Grupo de Estudios Ambientales. Memoria, 1978. Año I, Núm.1:27-65.

Alfaro Sánchez G. y Orozco Chávez F. 1980. Estudio Edafológico del Ejido de Xochimilco (Cienega Grande). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. 1980.

Alzate y Ramírez, J. A. 1831. Gacetas de Literatura de México. 4 tomos. Puebla. Reimpresas en la Oficina del Hospital de San Pedro.

Arcos Ramos, Raúl. et al. 2002. Macrofitas Acuáticas: ¿Contaminantes o Soluciones de la Contaminación por Metales Pesados? XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México. Octubre, 2002. 8 págs.

Baez Pedrajo, A. et al. 1982. Cuantificación de Cromo en Suelos y Vegetales de una Zona Contaminada por Cromo Residual de Origen Industrial. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Méx. 48(1977) Ser. Biol. Exp. (1): 95-112. 30-VIII-1982.

Baez, P. A.; R. Belmont; G. O. González. 1975. Modificaciones de la Calidad de las Aguas del Lago de Xochimilco con el Empleo de Aguas Negras en su Recarga. Memorias del I Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente. España.

Balanzario, Z. J. R. 1976. Contaminación de las Aguas en los Canales de Xochimilco. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. Méx. D.F.

Ballinas, V. 1990. Los Campesinos Capitalinos. La Jornada. 20 de Septiembre, 1990 pp IV-VII. México.

Canabal, B. et al. 1989. Viabilidad de las Actividades Agropecuarias como Generadoras de Empleo e Ingresos en Xochimilco, D.F. MS. Revista Argumentos. Abril 1989. UAM. Xoch. México.

Campos, Hernando. 1987. Los Metales Pesados, su Contaminación y sus Efectos Tóxicos. Rev. Contaminación Ambiental. Medellín, Colombia. 9(17), jul-dic. p. 63-70, 1987.

Cervantes, C. A. 1982. Tratamiento en Suelos con Aguas Residuales. Rev. Ciencias Ambientales, México, 3-4, Jun, 29-37, 1982.

Coe, D. M. 1970. The Chinamps of Mexico. Scientific American. Vol 211 No. 1 July 1970.P:D. 90-98.

Chanlett, E. T. 1976. La Protección del Medio Ambiente. Inst. de Estudios de Adm. Local. Madrid, España.

Duffus, J. H. 1983. Toxicología Ambiental. Ed. Omega, Barcelona, España. 173 pp

Equiarte, L. E. 1985. Las Aves. Imagen de la Gran Ciudad. Enciclopedia México. DDF. pp 29.32. México

Exequiel, Ezcurra. 1990. De las chinampas a la Megalopolis: el Medio Ambiente en la Cuenca de México. La Ciencia desde México. Núm. 91. SEP. México.

Fair, G. M. et al. 2008. Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales. Tomo I y II. Ingeniería Sanitaria y Aguas Residuales. Ed. Limusa. México. 547 págs. y 764 págs.

Faud, A.; Gidi, D. 1991. Control de la Contaminación del Agua en México. Información Científica y Tecnológica, Vol. 13. No. 173. CONACYT.

Flores, G.; Cajuste, L.; 1990. XVIII Congreso de la Ciencia del Suelo. México

Galván García, M. 1983. Fuentes y Tipos de Contaminación y Efectos sobre los Cuerpos de Agua. México; SIE; 1990. 7 p.

Garay, Francisco de. 1988. El Valle de México. Apuntes históricos sobre su Hidrografía. Pp 10-11 México, 1988.

García. A. E., 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. U.N.A.M.

García Zúñiga, A. M. et al. 1984. Contaminación por Pb, Cd y Cr en Suelos y Tejidos Vegetales de Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Atitalaquia, Hidalgo. Tesis Ing. Agrícola. FESC-UNAM.

Gómez-Álvarez, A. et al. 2004. Metales Pesados en el Agua Superficial del Río San Pedro Durante 1977 y 1999. Rev. Int. Contam. Ambient. 20 (1) 5-12, 2004.

González Flores, E. et al. 2009. Concentración Total y Especiación de Metales Pesados en Biosólidos de Origen Urbano. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (1) 15-22, 2009.

González, H. 1985. Contaminación de los Sedimentos por Metales Pesados. En Investigación y Control de la Contaminación de la Bahía de la Habana. Vol. I y II. Cap. 13 pp 201-206.

González, M. A. 1990. La Salvación de las Aguas. Crisis Ecológicas-Crisis Social. Encuentro Internacional sobre Pasado, Presente y Futuro de la Región Chinampera. CIESAS, México, D.F. abril, 1990

González, P.A. y B. Esquivel Hernández. 1981. Cuantificación de Metales Pesados en Suelos y Plantas del D. F. Rev. Sociedad Química de México; 25, 4, Jul-Ago, 483-487, 1981

Guillermo, A. 1982. Aguas Residuales y sus Tratamientos. CubaAzúcar. Enero/Marzo. Pags. 47-52. 1982.

Helal, H. M. et al. 1996. Salinity-heavy metal interactions as evaluated by soil extraction and plant analysis. Communications-in-soil-science-and-plant-analysis (USA) (1996). V. (5/8) p. 1355-1361.

Hernández, J. A.; O. A. Flores. 1985. Los Anfibios y los Reptiles. Imagen de la Gran Ciudad. Enciclopedia de México. DDF. Pp 33-36.

Hernández Rossié, Armando. 1979. Protección contra la Contaminación y Riesgos a la Salud por Riego con Aguas Residuales Tratadas. Departamento de Abastecimiento del Agua. CIH. Facultad de Construcciones. Habana, Cuba.

Hoening, M.; Vandestappen, R. 1978. Determination of Cadmium, Copper, Lead, Zinc and Manganese. In Grasses by Flame Atomic Absorption Spectrometry Mineralization Affects. Analisis 6(7) 1978 312-316 YR 78.

Horwart, R.; Prohazka, K. 1980. Some Factors that Influence the Nutrient Content of Grazing Grasses. Bot Kozl 66 (2-4) 1979 (1980) 103-107.

Hurtado Carrillo, G.; Joel Sánchez, R. 1989. Estudio Técnico para el Aprovechamiento de las Aguas Residuales Municipales de Zumpango Edo. De Méx. con Fines de Riego Agrícola. Tesis Ing. Agrícola. FESC. UNAM. Págs. 222.

Ibekwe, A. M. et al. 1997. Enumeration and N<sub>2</sub> Fijation Potencial of *Rhizobium leguminosarum* biovar trifolli grown in Soil Varying pH Values and Heavy Metal Concentrations. *Agriculture-Ecosystems-and-Environment*. 1997, 61:2-3, 103-111.

Jauregui, E. 1987. Climas. Atlas de la Ciudad de México. COLMEX. Plaza y Valdés Editores (PVE) México.

Kabata-Pendias, A. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. C.R.C. Press. Inc. Boca Ratón, Florida, EUA. 315 p.

López de Juambelz R. 1982. Las Zonas de Acumulación de Desechos Sólidos y la Vegetación. Laboratorio de Contaminación. ENEP Zaragoza, UNAM. p.81-83.

López, G. J. et al. 1992. Técnicas de Biorremediación In Situ en Acuíferos Contaminados por Metales Pesados. Instituto Geológico y Minero de España, Oficina de Proyectos de Valencia, 1992. pp 223-243

Lugo de la Fuente, J. A.1984. Suelos Sódicos-Salinos del Ejido Xochimilco. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. U.N.A.M. (1984).

Manual of Instruction for Sewage Treatment Plant Operators. New York State Department of Health, Albany, N. Y. 303 p.

Mascareño, C. F. 1975. Estudio Preliminar sobre Contaminación de Suelos y la Producción Agrícola en el D. R. 03, por el Uso de Aguas Negras de la Ciudad de México. Tesis de M. en C. Colegio de postgraduados E. N. A. Chapingo, México. (1975). Págs. 114.

Mejía Barrón, M. et al. 1990. Metales Pesados en Maíz (*Zea mays* L.) y Alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su Correlación con los Extractables en Suelos del DDR 063 Hgo. Departamento de Edafología, Instituto de Geología, UNAM. p.42-43.

Melo Sánchez, F. M. et al. 2005. Análisis de Metales Pesados en las Aguas Residuales del Río San Javier y Repercusión en la Salud e Impacto Ambiental. Dpto. de Química, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, I.P.N. Julio, 2005. 4 págs.

Méndez García, Teodoro. 1982. Estudio sobre Contaminación de Suelos Agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. por ABS, Boro y Metales Pesados, por el Uso de Aguas Negras de la Ciudad de México. Tesis Biología, Fac.de Ciencias, UNAM. Méx.

Mendoza, C. A. et al. 1996. Heavy metal pollution in soil and sediments of rural developing district 063, Mexico. *Environmental-toxicology- and- water-quality (USA)* (Nov. 1996). V. 11 (4) p. 327-333.

Mendoza, H. 1981. An Evaluation of the Use of Mexico City, Wastewater, on the Irrigation of Crops. *Water Reuse Symposium II*. Washington, D. C. August 23-28 (1981)

Mense, H. A. et Al. 1979. The Utilization of Forage Grasses for de Contamination of Spray Irrigated Leachate from a Municipal Sanitary Landfill Environment *Pollution* 19(4) 1979 249 - 260.

Molina, F. A. de. 1970. *Vocabulario en Lengua Castellana y Mexicana y Castellana y Mexicana* (1971). México. D.F. Editorial Porrúa, S. A.

Mooser, F. 1987. *Geología. Atlas de la Ciudad de México*. COLMEX, D.D.F. y PVE. México.

Niederberger Cristine. 1987. *Paleopaysages et Archeologie du Bassin de Mexique*. Centre d'études Mexicaines et Mesoamericains. CEMCA, México.

Núñez, Adriana. et al. 2006. Determinación de Metales Pesados (aluminio, plomo, cadmio y níquel) en Rábano (*Raphanus sativus* L.), Brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica) y Calabacín (*Cucúrbita pepo* L. var. Italica). Laboratorio de Química Analítica, FCB, UNANL. Marzo, 2006. 8 págs.

Ojea, H. de. 1987. Libro Tercero de la Historia Religiosa de la Provincia de México de la Orden de Santo Domingo. México, 1987 p 3.

Parsons, J. 1982. Prehispanic Settlement Patterns in Southern Valley of Mexico. The Chalco-Xochimilco Region. *Memoir of the Museum of Anthropology*, 14 u of Michigan, USA.

Plan para la Regeneración Ecológica y el Desarrollo Regional de la Cuenca Hidrológica de Xochimilco. 1990. Grupo de Estudios Ambientales, A. C. México, D. F. 127 pp

Prieto Méndez, Judith. et al. Contaminación y Fitotoxicidad en Plantas por Metales Pesados Provenientes de Suelos y Agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10 (2009): 29-44.



Puga, Soraya. et al. 2006. Contaminación por Metales Pesados en Suelo Provocada por la Industria Minera. Departamento Académico de Biología, Universidad Nal. Agraria la Molina, Lima-Perú. *Ecología Aplicada*, 5(1,2) 2006.

Quiroz, A. 1980. Papel de Algunas Hidrófilas en la Fertilidad del Sistema Chinampero. *Biota*, Vol. 5. Núm. Págs. 169-179. 1980.

Ramos Bello Rosalía; Lenom J. Cajuste; David Flores Román; Norma E. García Calderón. 2001. Metales Pesados, Sales y Sodio en Suelos de Chinampa en México. *Agrociencia* 35: 385-395. 2001.

Rojas, R. T. 1993. La Agricultura Chinampera. Compilación Histórica. Universidad Autónoma Chapingo. 2<sup>a</sup>. Edición: 11-12. México.

Ruszkowska, M. et al. 1996. Change of trace elements content in soil in lysimetric experiment. Institute of soil science and cultivation of plants, Pulawy (Poland). *Soil Science annual*. (1996) v.47 (1-2) p.23-32.

Rzedowski, Jerzy. 1975. Flora y Vegetación en la Cuenca del Valle de México. *Memorias de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*; tomo I, pp 79-134. DDF. México.

Santamaría, M. 1912. Las Chinampas del Distrito Federal. Dirección General de Agricultura. 40 pp. 1912.

Seoanez, M. C. 1978. Aprovechamiento y Tratamientos Agrarios de las Aguas Residuales Urbanas. INIA. Ministerio de Agricultura. Madrid, España. Págs. 14-54.

Serra, M. C., 1988. Los Recursos Lacustres de la Cuenca de México Durante el Formativo. IIA/UNAM. Colección Postgrado Núm. 3. México.

Schilling Elizabeth. 1939. Die Schwimmenden Gärten Von Xochimilco. *Schriften des Geographischen Institüts der Universität Kiel*, Band IX, Heft 3, Kiel, 1939

Soldevilla, M. et al. 1987. Influencia de la Contaminación por Metales Pesados en Algunas Especies Vegetales de las Márgenes de un Río Minero. *Limnética* 3:121-124 (1987). Asociación Española de Limnología, Madrid, España.

S. R. H. 1973-1975. Rehuso del Agua en la Agricultura, la Industria, los Municipios y en la Recarga de Acuíferos 1<sup>a</sup> y 2<sup>a</sup> Etapas. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación 1973-1975.

Tejeda, González Carlos 1986. El Riego con Aguas Residuales en México. Efectos en la Salud y Propuestas Técnicas. Revista de Ingeniería Ambiental. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. A. C. Págs. 48-73

Tejeda, G. C. 2001. Perspectivas del Aprovechamiento de las Aguas Residuales en la Agricultura. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2001. Págs. 87-93.

Torres Morales, J. C. 1992. Evaluación del Impacto de los Metales Pesados del Agua Residual Provenientes de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) en el Recurso Suelo y en Cultivos en los Municipios Jiutepec, Emiliano Zapata y Xuchitepec, Estado de Morelos. Ing. Agrícola. FESC. UNAM. Págs. 132.

Valdés Perezgasga, F. 1999. La Contaminación por Metales Pesados en Torreón, Coahuila, México. CILADHAC. En Defensa del Ambiente, A.C. Torreón, Coahuila. Septiembre, 1999. Primera Edición. 11 págs.

West, C. R. y Pedro Armillas. 1950. Las Chinampas de México. Poesia y Realidad de los Jardines Flotantes. Cuadernos Americanos, Núm. 50:165-182

ANEXOS I



Fig. 1. La Cuenca de México.



Fig. 2. Áreas Lacustres y Pueblos Principales de la Cuenca de México.

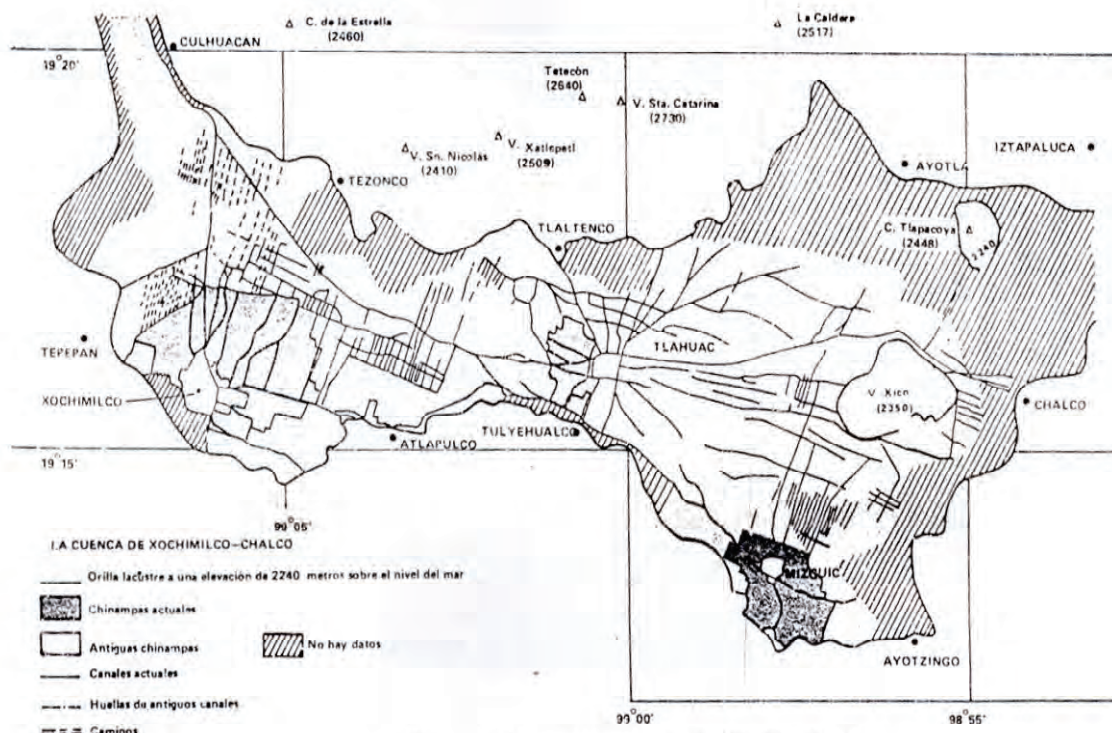
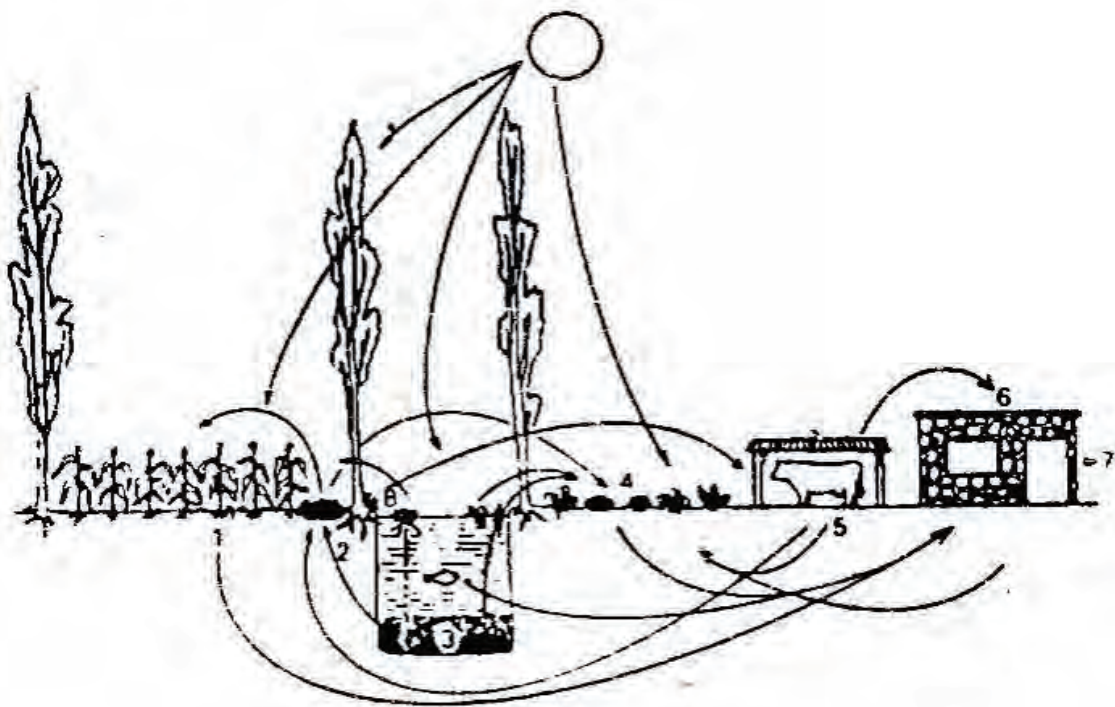


Fig 3. "Cuenca Lacustre Xochimilco-Chalco".

Este mapa muestra la extensión del antiguo rescate de pantanos y los restos de chinampas cultivadas en época reciente. Algunas de las zonas vacías coinciden con la localización de antiguas lagunas; en otras secciones la falta de datos puede atribuirse a la desaparición de evidencia. Las secciones de canales existentes parecen haberse redelineado en el siglo XIX. (Abreviaturas: C=cerro, V=volcan).



- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| 1. Suelos orgánicos | 5. Animales domésticos. |
| 2. Almacigo.        | 6. Hombre.              |
| 3. Agua-lodo.       | 7. Ingresos.            |
| 4. Legumbres.       | 8. Hierbas.             |

Fig. 4. Reciclaje continuo de materiales y principales elementos en una chinampa.



Fig. 5. Planta de bombeo “El Hueso”.



Fig. 6. Tubería de la Planta “El Hueso” que aporta agua a los canales de Xochimilco.





Fig. 7. Inicio del tratamiento primario en la Planta “Cerro de la Estrella”.



Fig. 8. Etapa de aireación del agua para proceder a la sedimentación de lodos residuales.



Fig. 9. Agua en etapa secundaria para la obtención de lodos residuales.



Fig. 10. Terminación del tratamiento secundario de las aguas residuales.



Fig. 11. Tanques con lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) para realizar los análisis correspondientes de metales pesados.



Fig. 12. Decantación del agua después de la sedimentación.



Fig. 13. Lodos residuales en patio de secado, planta de San Luis Tlaxialtemalco.



Fig. 14. Canal Nacional, fundamental en el aporte de agua para las chinampas, de Xochimilco.





Fig. 15. Aporte de agua lodo a la chinampa para el establecimiento del cultivo correspondiente. En la parte media se observa un cultivo de col y al fondo el cultivo de maíz. El manejo típico de Xochimilco , del manejo escalonado.



Fig. 16. Preparación de Chapines que son utilizados para el trasplante.



Fig. 17. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a doble hilera con el fin de optimizar el terreno en Xochimilco.



Fig. 18. Canal cerrado en Xochimilco que muestra plantas acuáticas como lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) chichicastle (*Lemna valdiviana* Phill.) y pasto típico rastrero.



Fig. 19. Realización del perfil en la parcela de la Sra. Inés Peña, en Mixquic.



Fig. 20. Perfil realizado en la parcela del Sr. Santos en Caltongo. Xoch.



Fig. 21. Cultivo de acelga en parcela de Puente Urrutia, Xoch. En donde se observa el bajo rendimiento debido a la poca agua disponible.



Fig. 22. Señora dueña de una parcela de Mixquic ofreciendo sus productos que obtuvo al mismo tiempo como podemos ver rabanitos, apio y elotes.





Fig. 23. Trajinera típica para realizar un paseo sobre los canales de Xochimilco, lugar que estamos obligados a conservar ya que es Patrimonio de la Humanidad.