



10  
201

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

## FALLA DE ORIGEN

CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS  
DEL EX- TIRADERO DE SANTA CRUZ MEYEHUALCO  
Y SU IMPACTO EN EL SUELO.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**B I O L O G O**

P R E S E N T A :

**MARIA DE LOS ANGELES GALVAN VILLANUEVA**



LO HUMANO  
EJE  
DE NUESTRA REFLEXION

DIRECTOR DE TESIS:  
BIOL. RAMIRO RIOS GOMEZ

JUNIO DE 1996



## **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 está 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 MIS PADRES**

**JUAN GALVAN MEDINA Y VICTORIA VILLANUEVA DIAS  
POR SU EJEMPLO Y CONSTANCIA**

**A MIS HERMANOS**

**JUAN MANUEL POR CEDERME PARTE DE SU VALIOSA VIDA,  
RICARDO, JOSEFINA, VICTORIA, ROSA Y LAURA.**

**A MIS HIJOS**

**RAYMUNDO OMAR Y ARACELI MONSERRAT  
CON TODO MI AMOR**

**PARA TI**

**POR COMPARTIR TU VIDA CONMIGO**

**ANG ELES**

## AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO DE MANERA MUY ESPECIAL AL LABORATORIO DE CENTRAL DE INSTRUMENTACION DEL I.P.N. A LA DRA. TZAHIRY GALLARDO VELAZQUEZ, A MI DIRECTOR DE TESIS BIÓL. RAMIRO RIOS GOMEZ, DRA. ROCIO LOPEZ DE JUAMBELZ, M en C ESTHER MATIANA GARCIA AMADOR, M en C ARMANDO CERVANTES SANDOVAL POR EL MANEJO ESTADISTICO DE LOS DATOS, POR SU GRAN APOYO PARA LA CULMINACION DE ESTE TRABAJO Y PRINCIPALMENTE PORQUE CADA UNO CONTRIBUYO EN MI FORMACION PROFESIONAL.

A MIS SINODALES

A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

GRACIAS INFINITAS

## INDICE

	PAGINA
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCION	2
III. JUSTIFICACION	6
IV. OBJETIVOS	7
V. HIPOTESIS	8
VI. REVISION DE LITERATURA	9
6.1 Características de los metales pesados usos, fuentes y propiedades toxicológicas	9
6.1.1 Cadmio	12
6.1.2 Cinc	13
6.1.3 Cobalto	14
6.1.4 Cromo	15
6.1.5 Cobre	15
6.1.6 Hierro.	16
6.1.7 Niquel	16
6.1.8 Plomo	17
6.2 Localización de la zona	19
6.2.1 Geología	19

6.2.2 Morfología	19
6.2.3 Edafología	20
6.2.4 Condiciones climatológicas	20
<b>VII. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>23</b>
<b>VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>26</b>
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	<b>50</b>
<b>X. RECOMENDACIONES</b>	<b>52</b>
<b>XI. LITERATURA CITADA</b>	<b>53</b>
<b>APENDICE A</b>	<b>61</b>

## I. RESUMEN

El suelo en el que fueron depositados los residuos durante un período de 35 años, fué afectado severamente modificándose las propiedades físicas y químicas, además de elevar las concentraciones de metales pesados, sales y microorganismos patógenos capaces de percolarse hacia aguas subterráneas aumentando así el potencial tóxico del lugar.

El sustrato del extradero de Santa Cruz Meyehualco presenta características de un suelo de reacción alcalina, con problemas de salinidad y donde el sodio rebasa el 15% de la capacidad de intercambio catiónico (CICT), es extremadamente rico en materia orgánica, presenta una cantidad de fósforo y calcio asimilable considerada como pobre, con una CICT de baja a media, elevada concentración de sales intercambiables presentando el siguiente orden decreciente de concentración:  $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ , en donde el sodio desplaza al calcio y magnesio de los sitios de intercambio catiónico.

Por otra parte al evaluar la concentración de metales pesados se determinaron extractables y totales, ésta fue heterogénea en la columna de basura y en los diferentes sitios de muestreo, en general el comportamiento de los metales en orden de importancia es el siguiente:  $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Cd}$ , comparando estos valores con tablas se tiene que superan los límites permisibles de los suelos irrigados con aguas negras en México.

## II. INTRODUCCION

La vida moderna, demanda una compleja red de satisfactores que exigen el uso de los recursos y con ello la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Su volumen generado está íntimamente relacionado con el tamaño de la población, el nivel de vida, hábitos de consumo y grado de industrialización alcanzado.

El problema radica si consideramos la relación analítica entre la tasa de biodegradación la cual es menor que la tasa de producción por lo que su acumulación tiene lugar. De las distintas fuentes generadoras de residuos, se ha observado que los agroindustriales son los de mayor volumen de producción (Inglett, 1976), la basura además de ser una mezcla compleja su diversa composición causa un desequilibrio inmediato (Labauve, et al., 1988). De acuerdo con Owen (1975), America Latina es el principal productor de residuos sólidos.

Los problemas que los desechos sólidos ocasionan en los sitios donde se acumulan continúan durante los siguientes veinte años después de concluir su vida útil (López, 1978). Lo anterior debido a que los materiales tienen diferente tiempo de degradación, ya sea química ó microbiológica, es decir que existen materiales que se degradan muy lentamente como el plástico que tarda miles de años y que si se industrializan e incineran liberan humos tóxicos (Restrepo, 1985).

La constitución típica de los residuos sólidos está dada por materiales domésticos, industriales, de construcción y hospitalarios, donde el mayor componente es la materia orgánica que al biodegradarse produce ácidos orgánicos y sustancias tóxicas que pueden alcanzar las aguas subterráneas (freáticas y acuíferos), López, 1978; Murray, et al., 1981.

Además son una fuente importante de metales pesados (2-800mg/Kg), por lo que el área donde se encuentran depositados estos materiales, son clasificadas como peligrosas para uso local (López, 1978).

que reduzcan al mínimo la emisión de partículas y gases tóxicos (CO<sub>2</sub>, CO, HCN, HCl).

Por otra parte los plásticos son los desechos que se encuentran presentes en los sitios de disposición, particularmente los poliuretanos y espumas (Paulson y Margón 1974:). La problemática ambiental que ellos generan se debe a la dificultad de tratarlos por métodos convencionales debido a ello representan uno de los principales residuos en los basureros (Guerrero, 1979).

Finalmente el método de composteo es utilizado ampliamente en Europa y consiste en mezclar los desechos orgánicos acompañados de una fermentación lenta entre 50 -80°C, siendo el más adecuado para el manejo de los desechos orgánicos, por el gran aporte de nutrientes al suelo.

Distintas fuentes vierten cantidades variables de residuos contaminantes que afectan el equilibrio ecológico de los ecosistemas, una de las de mayor repercusión en los socioecosistemas es la contaminación por desechos sólidos urbanos, de los cuales los agroindustriales tienen un mayor volumen con respecto a los demás y cuya tasa de biodegradación es mucho menor que su tasa de producción por lo que su acumulación es tiene lugar, sin embargo, una vez que la concentración aumenta como resultado de la producción excesiva se crea una cantidad apreciable de contaminación que invariablemente está asociada con efectos negativos, afectando directamente el nivel de vida de la población desde el punto de vista social, fisiológico y psicológico.

con el sellado total del área de disposición (Griffin y Shemp, 1976; Liptak, 1974; López, 1988; Salvato, 1982).

El Relleno sanitario, es un método más moderno que conduce a minimizar los problemas de contaminación de subsuelo y aguas subterráneas, en virtud de impermeabilizarse el área antes de ser utilizada como receptor de desechos sólidos, lo cual permite el control de los desechos, además de contar con un sistema recolector de lixiviados (dren de lixiviados) y un adecuado sistema de recuperación del biogas que se produce (Griffin y Shemp, 1976; Liptak, 1974; López, 1988; Salvato, 1982). Son los sitios de disposición más idóneos para contener desechos de alta toxicidad, es decir, contaminantes orgánicos e inorgánicos. En estas áreas se presenta una degradación biológica aeróbica y después una mas duradera de tipo anaeróbica. Por otra parte los métodos químicos para tratar los lixiviados son lagunas de aereación, digestores anaeróbicos, cloración, ozonación y ósmosis inversa (Navarro, et al 1985). Estos sitios pueden ser utilizados como parques recreativos, estacionamientos y deportivos (Hodges, et al., 1977).

Es importante mencionar que las diferentes formas de disposición final de los desechos sólidos continúan con la producción de lixiviados y biogas durante los siguientes 20 años de su clausura convirtiéndose en un potencial de toxicidad continua y un riesgo de explosividad latente (Liptak, 1974). En Estados Unidos el Relleno Sanitario se utiliza principalmente para desechos industriales, es importante llevar un estricto control de los lixiviados, debido a su compleja composición como son compuestos de elevada toxicidad, se ha comprobado que estos pueden desplazarse lejos de los sitios de disposición final (Griffin y Shemp, 1976). López, (1978), calculó el impacto que tienen los lixiviados sobre las aguas subterráneas encontrando que es de 1/200 ml.

La incineración con carbonización es un método que reduce la cantidad de metales pesados en el ambiente, además de reducir el volumen de residuos al mínimo y a través de una disposición en un Relleno sanitario se reduce aun más el impacto ambiental (Bridle, 1987), este método es utilizado en baja escala , debido a la falta de incineradores adecuados

Los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos son manejados con diferentes técnicas a saber: Cielo Abierto es la forma más antigua, más sencilla y más contaminante de depositarlos en donde los desechos son acumulados sin ningún control, ocasionando problemas de salud pública por la proliferación de organismos patógenos (hongos, bacterias, virus y protozoarios) que actúan como vectores de enfermedades hacia el ser humano (Restrepo, 1985; López, 1988; Larios, 1994).

Por otra parte el agua de lluvia se concentra con productos hidrosolubles (compuestos orgánicos y metales pesados) resultado de la descomposición química y biológica, parcial o total de la basura, generándose así los lixiviados; los cuales tienen movimientos verticales provocando infiltraciones hacia el suelo natural y al saturar sus espesores alcanzan mantos freáticos y acuíferos. Asimismo, debido a sus movimientos horizontales contaminan los suelos aledaños, además de producir cantidades apreciables de biogas.

Los lixiviados son de composición química compleja, pues en ella encontramos todo tipo de compuestos orgánicos, producto de la transformación de los materiales ahí acumulados, una gran diversidad de microorganismos, así como compuestos de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y en general elementos utilizados en la industria, para la obtención de satisfactores (Griffin y Shemp, 1976; Restrepo, 1985; Frank y Perry, 1980; Labauve et al., 1988).

Como se ha mencionado ya, la generación de residuos sólidos es un fenómeno natural en todo núcleo de población humana, este hecho, se transforma en un problema a medida que la población se incrementa y los volúmenes de residuos generados son mayores, algunas alternativas pueden sugerirse para solucionar el problema de su acumulación: 1.- Procesos industriales que permitan el reciclamiento de varios constituyentes, 2.- Seleccionar un área para su disposición final, en este último caso, necesariamente la transformación de los residuos ocasionará lo siguiente:

El enterramiento controlado, consiste en colocar capas alternas de basura y suelo compactándolas, continuando la operación hasta una altura aproximada de 3 metros, y finaliza

### III. JUSTIFICACION

Los tiraderos a cielo abierto causan entre otras situaciones problemas de contaminación química y biológica, en atmósfera, suelos y mantos acuíferos, afectando el nivel de vida de la población y poniendo en riesgo su salud. Lo cual hace necesario tener un conocimiento detallado que permita la rehabilitación de este tipo de socioecosistemas a fin de crear la infraestructura necesaria para garantizar la disposición de los contaminantes producidos al transformarse los materiales, dando lugar a focos de contaminación en donde se alcanzan niveles altos de contaminantes. Por esta razón el caracterizar al sustrato desde el punto de vista físico y químico nos da un panorama de su correlación con el suelo natural, de tal manera que indique las modificaciones que ha sufrido el suelo natural al estar expuesto a dicho sustrato, así como los niveles de contaminantes presentes y los que pueden adicionarse con el paso del tiempo, además de inferir qué gases son los que se están produciendo en determinadas condiciones, lo cual es sumamente importante para la implementación de medidas de seguridad en el lugar, así como decidir sobre la introducción de especies vegetales resistentes a esas condiciones adversas.

Toda la información que de ahí emane servirá de base en la interpretación de estudios microbiológicos y de salud pública, además de aportar información para la recuperación de zonas impactadas por la acumulación de éste tipo de desechos.

Es importante señalar que en relación a estos ambientes existen pocos estudios sobre la caracterización física y química que permitan, lado conocer los efectos que los productos tienen sobre los suelos naturales y menos aun sobre los niveles de contaminación de los metales pesados en donde se analice su comportamiento después de una vida útil de 35 años.

#### **IV. OBJETIVOS**

-Caracterizar desde el punto de vista físico y químico el sustrato y suelo natural en el extractor de Santa Cruz Meyehualco.

-Conocer los niveles que han alcanzado los metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn), en el sustrato y suelo natural en el área de estudio.

## V. HIPOTESIS

En virtud de ser el ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco receptor de residuos sólidos de origen doméstico, industrial, construcción, oficinas y hospitales, depositados sin ningún control y expuestos a condiciones de intemperismo químico y biológico intenso, es de esperarse la producción y liberación de contaminantes entre los cuales figuran los metales pesados, cuyos niveles deben superar los niveles permisibles.

## VI. REVISION DE LITERATURA

### 6.1 Características de los Metales Pesados.

Los metales pesados han despertado una gran preocupación desde el punto de vista de protección ambiental, debido al uso indiscriminado de estos en la industria y al avanzado desarrollo tecnológico (Daves, 1980). De ahí que son considerados por sus propiedades toxicológicas como contaminantes ambientales al Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Sn, Bi, su importancia consiste en su acción sobre los procesos bioquímicos y toxicológicos, sin embargo el potencial tóxico dependerá del área geográfica donde se localice, de los factores ambientales, el rol fisiológico que cada metal desempeñe y de su concentración (Stewart, 1991). Así por ejemplo Diamant (1974), los ha clasificado en base a los daños producidos en el hombre.

Los metales pesados son adicionados en diversas formas químicas, como óxidos, sulfuros, sulfitos, fosfatos entre otros (Stewart, 1991). Los cationes metálicos son fácilmente adsorbidos en los coloides del suelo y del sustrato, en donde los óxidos son convertidos, en bicarbonatos, los sulfitos por acción microbiana en sulfatos (Leeper, 1979; Foy, et al., 1978; Stewart, 1991).

Los Hidróxidos de los iones metálicos divalentes son muy solubles, si consideramos que el grupo OH está presente en la materia orgánica y en las arcillas de los suelos, un incremento en el pH representa una elevación de los grupos OH, por lo tanto cuando la cantidad de humus es mayor los niveles de iones metálicos intercambiables y libres también (Dunemann, et al., 1991), aumentando el potencial tóxico de los suelos, para plantas y organismos (Stewart, 1991).

La adsorción de los cationes metálicos se favorece con el pH, desde luego está gobernada por: la densidad de carga, tamaño y concentración del ion metálico, de acuerdo con ello, tenemos el siguiente orden  $Cd > Ca, Pb \text{ y } Cu > Zn > Co$ , estos son adsorbidos en los sitios

de selectividad alta, en donde un incremento en la concentración de Ca, eleva significativamente su adsorción, ya que presentan mecanismos de adsorción similares, así el orden en el cual estos, son retenidos por el suelo es:  $Pb > Cu > Zn > Co$ . Los suelos con muchos sitios de intercambio catiónico, tendrán una mayor selectividad por Pb, Cu, Co, Cd (Dunemainn et al., 1991).

La interacción del humus con los cationes metálicos da como producto sales y complejos órgano-metálicos, provocando una extra adsorción de metales divalentes. Queda claro que los metales están ligados al humus, arcillas, óxidos e hidróxidos (Foy, 1978), estos compuestos químicos o agentes exógenos, causan desórdenes biológicos en los organismos vegetales y animales, además su presencia en el ambiente potencia la toxicidad de los mismos (Foy, 1978).

Pero cómo se dan los procesos? y qué factores edáficos tienen alguna influencia y favorecen la adsorción, desorción y precipitación y/o incremento de los niveles de los metales o de sus formas químicas en el suelo?

Se ha encontrado que los factores que más directamente se relacionan con estos procesos son:

- a) Potencial de hidrógeno (pH) del suelo o sustrato (condiciones ácido/alcalinas)
- b) Condiciones óxido-reductoras
- c) La forma química en la que el metal es adicionado al ambiente.
- d) la disolución del metal.

En virtud de los desórdenes biológicos y el efecto perjudicial en el ambiente que los metales tienen, abordaremos cada uno de ellos con mas detalle.

Así pues el pH constituye una propiedad importante, cuando el pH es alcalino favorece: la conversión de Oxidos, Hidróxidos y Silicatos, disminuyendo la actividad microbiana, se presenta una precipitación de los metales (Labauve, 1988), es decir los hidróxidos de los

metales pesados son demasiado solubles debido a las cargas negativas presentes en los coloides minerales y orgánicos, cargas que se incrementan con el pH y se pueden representar con la siguiente reacción

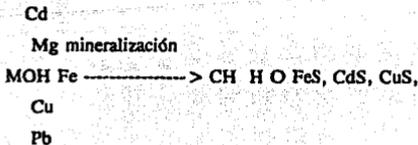


Cuando existe un incremento en el pH, se eleva significativamente la adsorción selectiva por hidróxidos de los metales  $\text{Cd} > \text{Ca}, \text{Pb}, \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Co}$  (Leeper, 1979; Labauve, 1988). Por el contrario en la adsorción específica que está dada por enlaces covalentes y además depende del pH, un cambio hacia condiciones alcalinas provoca una reducción de los sitios de adsorción (Stewart, 1991).

Las condiciones óxido-reductoras afectan del siguiente modo: En condiciones anaeróbicas favorecen el desarrollo de microorganismos que atacan el humus y residuos de plantas, bajo estas condiciones y a un pH entre 7 y 8, se precipitan los sulfitos de Fe y Mg, se presenta oxidación y liberación de otros metales .

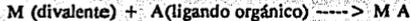
Es importante mencionar la importancia de la concentración de los metales pesados, ya que esto provoca una disminución en la cantidad y diversidad de los microorganismos, además de que algunos metales pesados son resistentes al metabolismo microbiológico (Stewart, 1991).

El humus por sus propiedades reductoras conducen al enriquecimiento de los metales por adsorción en las moléculas ácidas. Así el humus bajo condiciones anaeróbicas se descompone y permite la formación de sulfuros de los metales de acuerdo con la siguiente reacción a anaeróbica:



Por acción microbiana y en condiciones más oxidantes estos sulfuros producen sulfitos (Stewart, 1991).

En relación a la forma química en la que el metal es adicionado al ambiente, en general tienden a formar complejos insolubles organometálicos:



Es decir entre más electronegativo sea el ion metálico, más fuerte será la unión con los grupos carboxilos de la materia orgánica (Dunemann, 1991) Por otra parte la disolución del metal, implica que los contaminantes más solubles son los que tienen baja afinidad por las arcillas ó materia orgánica, además de su persistencia pueden cambiar de forma química y ser más tóxicos, cuando los iones metálicos están unidos al material orgánico ó a las arcillas, los procesos de lixiviación y vaporización disminuyen. Sin embargo cuando existen condiciones ácidas la solubilidad y toxicidad de los metales se incrementa. (Aubert, 1977; Stewart, 1991).

Finalmente se puede decir que la persistencia de las sustancias tóxicas en suelo y su lixiviación al subsuelo y aguas subterráneas depende: de la concentración, actividad microbiana, especiación química, contenido de material orgánico, material mineral, pH y factores ambientales (Frank, 1980; Daves, 1980; Stewart, 1991).

## USOS, FUENTES Y PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS DE LOS METALES

### 6.1.1 CADMIO

Metal pesado con elevado potencial tóxico, produce daños severos en las arterias renales, por sus propiedades tóxicas tiene acción en procesos bioquímicos, su entrada al hombre es por el agua, alimento y respiración. Se absorben fácilmente en forma de sales solubles, su toxicidad es acumulativa y debido a su amplia utilización en la industria como

anticorrosivo para acero, de fierro y cobre, en pinturas y pigmentos, baterías, plásticos y como estabilizador (Calabrese, 1972.) Es considerado como un contaminante ambiental (Andrew y Pieters, 1976; Tirado, 1985), su potencial tóxico se incrementa debido a que este metal no tiene vía de excreción, además si existe plomo y cadmio juntos su acción es sinérgica, aumentando su toxicidad igualmente cuando se encuentra cadmio y cobre (Wong y Chuah, 1986. ). Según Hodges, et al (1977), no es un elemento biológicamente esencial, además reemplaza al cinc en ciertas enzimas provocando la enfermedad Itai-Itai (Casarett, 1978; Goldstein, et al., 1979), Camp y Meserve (1974), mencionan que un incremento en el contenido de éste, por arriba de los niveles normales repercute negativamente en la salud humana.

Por otra parte en el suelo el cadmio metálico y el divalente se asocia con el fosfato o carbonato en la solución acuosa limitando su lixiviación (Taylor y Griffin 1981), es decir cuando el pH es alcalino las formas químicas son más estables (Sumners, 1978), mientras que a pH ácido, éste es lixiviado hacia el perfil del suelo (Taylor y Griffin, 1981). Es importante considerar que la movilidad de este también dependerá de la Temperatura, textura, cantidad de materia orgánica, y formas químicas (Leeper, 1979). Por otra parte la transformación microbiológica del cadmio ocurre por *Pseudomonas*, cuando es metilado su toxicidad se incrementa sustancialmente (Sumners, 1978.). El cadmio, presenta una afinidad de absorción igual al calcio bivalente (Dunemann, 1991). La relación geoquímica Zn - Cd está estrechamente relacionado con la presencia de Zn, un aumento en el pH precipita al cadmio como carbonatos, fosfatos y sulfatos (Mortvedt, 1983).

### 6.1.2 CINC

Los principales usos del cinc son la manufactura de hierro galvanizado, como cubierta de acero y bronce, de papel, pintura blanca, preservativo de la madera, además de ser de gran importancia en la industria automotriz y de aparatos domésticos. Metal pesado considerado dentro de los oligoelementos esenciales en el metabolismo de los seres vivos. Rápidamente

removible y es análogo al cobre 2+ (Leeper, 1979). La competencia de cationes bivalentes sobre la absorción de cinc es aproximadamente en el orden  $Hg > Cu > Fe > Mn$ , lo cual corresponde a la disminución en orden de electronegatividad (Blach, 1965). Se encuentra en el agua, suelo y aire, su excreción es por heces, se almacena en glándulas, estructuras epidérmicas y uñas. El cinc natural y el contaminante se presentan acompañados siempre de cadmio, el principal riesgo industrial resulta de la inhalación de vapores de óxido de cinc, entre los compuestos de mayor toxicidad está el cloruro de cinc (Casarett, 1978; Goldstein, et al 1979). Forma un mineral con la arcilla (sauconita), se encuentra asociado a los fosfatos y a la materia orgánica, en los sitios de intercambio catiónico como cation divalente (10 - 300 ug/g) de baja solubilidad, su forma química mas común a pH básico está representada con la siguiente reacción:



reduciendo aún más la solubilidad, con los fosfatos también forma compuestos insolubles (Mortvedt, 1983)

### 6.1.3 COBALTO

La mayor parte de sus exposiciones industriales es por polvos y humos, se usa ampliamente en aleación con otros metales (Ni, Al, Cu, Be, Mo), en la industria eléctrica, automotriz, aeronáutica, en la cerámica, se usa como secador de lacas, pinturas y barnices.

Es considerado como carcinogénico en animales, en humanos en concentraciones altas deprime la producción de eritrocitos, su inhalación produce cianosis, coma y muerte, en polvo es inflamable y ligeramente tóxico, está presente en desechos industriales (Goldstein, et al 1979; Lepper, 1979), la vía respiratoria y gastrointestinal es la de mayor absorción de cobalto. La concentración en suelos es muy baja de 0.02 ug/g a 1.0 ug/g. (Allen, et al., 1974).

#### 6.1.4 COBRE

Se utiliza ampliamente en la elaboración de alambre, en aleaciones como el latón, fungicidas, pesticidas, pinturas protectoras (como el sulfato de cobre), en procesos de purificación del agua para la remoción de las algas, sus sales se utilizan como aditivos en alimentos (Goldstein et al., 1979). Es un elemento que se encuentra ligado fuertemente al humus y a la materia orgánica, principalmente el más común es Cu divalente ó como CuOH, cuando el pH es menor a 7 favoreciendo la solubilidad, mientras que en la materia orgánica forma complejos organometálicos insolubles, el 80% del Cobre está ligado al Hierro hidratado, en las plantas su toxicidad es baja (Leeper, 1979), mientras que en animales la toxicidad depende de la concentración (Casarett, 1978), generalmente está reportada como baja toxicidad, aunque, produce daños temporales cuando su concentración es muy elevada (Diamant, 1974).

Los niveles de cobre asimilables son similares a los del Zn, su acción metabólica consiste en activar las enzimas de oxidación-reducción de plantas y es esencial para animales (Allen, et al., 1974).

#### 6.1.5 CROMO

Metal pesado cuya acción en el humano es causar daños severos en el sistema nervioso central debido a la alta solubilidad de las sales de cromo el peligro de percolación hacia aguas subterráneas es elevado, la movilidad de este elemento en el perfil del suelo depende de la solubilidad, del pH y de la permeabilidad del suelo, es decir, en aquellos lugares de baja permeabilidad el movimiento será lateral por dispersión o por capilaridad, por lo que la alta permanencia del metal en el agua es inevitable (Morris, 1989; Aubert y Pinta, 1977), la disolución de iones cromato en la solución del suelo puede ser un factor de contaminación peligrosa, es decir, el cromo trivalente es de menor toxicidad que el hexavalente, sus óxidos son insolubles y muy estables (Leeper, 1979, Alloway, 1990).

Se utiliza principalmente en aleaciones, en materiales refractarios, preservación de la madera

(cromatos y dicromatos), curtido de pieles, pinturas anticorrosivas, fotografía, colorantes y pigmentos (Calabrese, 1972; Leeper 1979).

#### 6.1.6 HIERRO

Metal pesado tóxico en plantas cuando el pH es entre 5.0 y 5.5, a pH's alcalinos forma óxidos e hidróxidos y silicatos (Foy et al., 1978; Aubert y Pinta, 1977). El ion ferroso es el compuesto reductor más importante en condiciones anaeróbicas y el óxido férrico es insoluble (Sauer y Carty, 1971). Por otra parte el hierro divalente es convertido a óxido de hierro insoluble, reduciendo su lixiviación, en condiciones anaeróbicas el hierro trivalente es convertido a sulfuro de hierro por bacterias anaeróbicas, los hidróxidos de hierro presentan una alta movilidad en el suelo (Leeper, 1979; Sauer y Carty 1971). La toxicidad en humanos por exceso de hierro no está reportada (Calabrese, 1972; Goldstein, et al., 1979).

#### 6.1.7 NIQUEL

Se encuentra combinado con hierro y cobre, se usa principalmente en electrónica, aleaciones de acero, monedas y baterías. La combustión de aceite en los incineradores incrementa sustancialmente el contenido de níquel en la atmósfera, la presencia de este elemento en el agua es un indicador de contaminación, si se inhala continuamente puede producir cáncer pulmonar y dermatitis de contacto (Goldstein, et al., 1979).

Por otra parte está fuertemente unido al material humificado, debido a su alta movilidad su concentración depende de la cantidad de níquel en la solución acuosa del suelo, con lo que su concentración aumenta conforme a la profundidad (Taylor y Griffin, 1981; Alloway, 1990; Dunemainn, 1991).

### 6.1.8 PLOMO

Metal pesado de elevada toxicidad, utilizado en una gran cantidad de industrias, como la automotriz, en colorantes (PbO) pintura protectora de metales, en la manufactura del vidrio (PbO), baterías (PbO<sub>2</sub>), cerámicas glaze del barro (PbCrO<sub>4</sub>), insecticidas (Arseniato de plomo), cosméticos, acuñamiento de monedas, antidetonante en la gasolina (Andrew y Pieters, 1976; Diamant, 1974; Golstein, et al., 1979; Tirado, 1985).

México produce el 2% de la producción mundial de plomo, no existe sólo en la naturaleza sino con otros elementos, su principal fuente natural es la galena, mientras que en las ciudades y zonas rurales son: las fundidoras, refineras y combustión de gasolina (Garzon, 1986) y a nivel local, las termoeléctricas y plantas incineradoras de residuos sólidos (Sturges y Harrison, 1986).

Se le ha considerado como un componente de la biosfera debido al uso indiscriminado, aunque no es un metabolito esencial presenta gran importancia toxicológica en el humano (Dart y Stretton, 1980), su principal efecto se debe a que actúa como un inhibidor enzimático, incorporándose rápidamente a sus estructuras, específicamente a los grupos sulfhidrílos, hidróxidos y nitrógeno (Carlson, 1975; Sunkies, 1979), además de inhibir la síntesis del grupo hemo, así como interviene en la síntesis de la ATP-ASA, en la que el plomo sustituye al manganeso, mientras que a nivel celular altera la membrana mitocondrial al ocupar el sitio de los cationes divalentes esenciales como el Mn, Mg, Fe, Zn (Parmeley et al, 1979; Fernández, 1973; Carey y Galvao, 1989).

Por otra parte el plomo se transfiere al suelo, plantas y animales por precipitación, sedimentación o inhalación, se encuentra combinado con otros elementos, sus principales formas químicas son: los haluros de plomo (solubles) (Smith, 1976) PbCO<sub>2</sub>, Pb(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, PbSO<sub>4</sub> de mayor toxicidad, aunque su solubilidad es baja (Taylor y Griffin, 1981; Chilsom, 1971). Miller, et al., (1971), encontraron que el plomo puede quedar retenido en las arcillas o en la materia orgánica, así pues su absorción está determinada por el tamaño de partícula y del

tipo de compuesto (Morton, 1981), por su parte Foy, et al., (1978), mencionan que en presencia del Fósforo disminuye significativamente la absorción de plomo por las raíces de las plantas, al precipitar al fósforo como  $PbPO_4$ , haciéndolo poco asimilable. Además presenta un mecanismo tóxico en el cual compite por los metales esenciales Ca y Zn y altera el transporte de los iones esenciales presentándose en las plantas deficiencias de Fe y Ca (Carey y Galvao, 1989).

El plomo puede ser metilado por *Pseudomonas* a trimetil-acetato de plomo compuesto de elevada toxicidad (Sumners, 1978). En base a lo anterior todos los compuestos de plomo tienen una importancia toxicológica (Dart y Stretton, 1980).

Los niveles de plomo en suelos superficiales en zonas urbanas es de 200-300 mg/g y en animales de 300-400 mg/g (Linson, et al., 1976)

## 6.2 LOCALIZACION DE LA ZONA.

El ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco se encuentra ubicado en el Sureste del área metropolitana del Distrito Federal, dentro del perímetro de la Delegación Iztapalapa. El área colinda en su lado Norte con terreno de propiedad Federal, en su lado sur la avenida Santa Cruz Meyehualco de la Unidad Habitacional del mismo nombre, por el oriente colinda con la calle Cuitláhuac de la colonia Santa María Astahuacán y por el poniente con la calle Carlos L. Gracidas de la Unidad Habitacional Vicente Guerrero y con la colonia Renovación. Su extensión territorial, de acuerdo con el levantamiento topográfico, es de 1,481,188.72 metros cuadrados.

### 6.2.1 GEOLOGIA

Litológicamente, el área donde se encuentra ubicado está constituido por aluviones y formaciones lacustres, ambas pertenecientes a la edad cuaternaria.

El material de relleno de la zona consiste en abanicos aluviales que se depositaron sobre el valle formado por la lava incandescente de la formación Tarango y de las Sierras.

En la parte superior del relleno hay predominio de depósitos lacustres. Los cortes estratigráficos, muestran grandes concentraciones de arcilla con arena o con limo, teniendo una permeabilidad media en los primeros 25 metros de profundidad. La zona representa por sus características geológicas, un potencial importante como fuente de abastecimiento de agua subterránea, ya que el D.F. explota ahí 29 pozos para agua potable.

### 6.2.2 MORFOLOGIA

El ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco está ubicado en una zona plana al pie de las cordilleras y lomeríos que circundan a Iztapalapa. Está comprendido entre las cotas de 2240 a 2245 msnm y se caracteriza por presentar pendientes poco pronunciadas, regularmente menores al 5%.

### 6.2.3 EDAFOLOGIA

Según el sistema de clasificación FAO/UNESCO 1970 (modificada por DETENAL) citada en D.D.F.(1983), el tipo de suelo predominante es Regosol Eútrico y como suelos secundarios se presentan Solonchak Molicos y Feozem Háplicos.

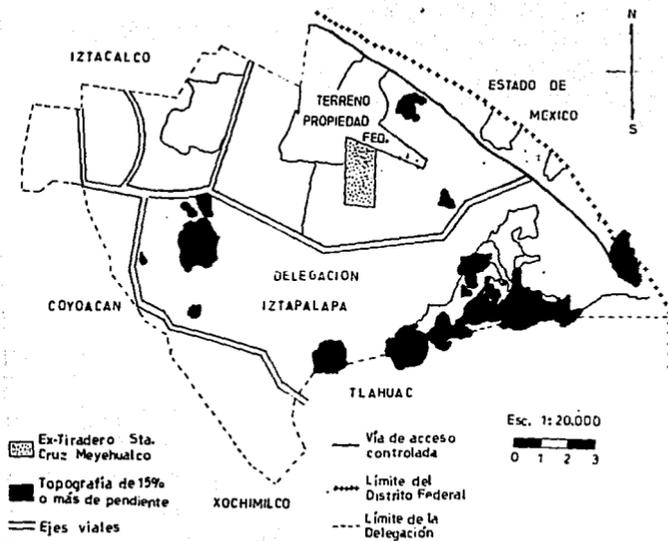
Los suelos de la zona son parecidos a los del ex-lago de Texcoco, con características salino sódicas, alto contenido de arcilla y nivel freático muy superficial.

### 6.2.4 CONDICIONES CLIMATOLOGICAS

El área está bajo la zona climática correspondiente al grupo de climas templados subhúmedos. La temperatura media anual varía entre 15 y 17 °C, la del mes más frío entre -3 y 18 °C. Por su régimen de lluvia y grado de humedad es la más seca de las templadas subhúmedas, con lluvias invernales superiores en un 10.2% al promedio anual. La estación pluviométrica de la SARH más cercana al área del ex-tiradero es la ubicada en el municipio de Los Reyes La Paz en el Estado de México. El período de lluvias se inicia con escasas precipitaciones en el mes de Abril, continuando con mayor intensidad en mayo, junio y julio, siendo los más lluviosos agosto, septiembre, octubre y declinan considerablemente en el mes de noviembre. La precipitación media anual resultante de 27 años (1955-1981) es de 598.4mm.

Por otra parte las precipitaciones máximas en 24 horas se han presentado en Octubre de 1959 con 55.0 mm, en Junio de 1975 con 51.0 mm, en Septiembre de 1968 y Julio de 1975 con 51.0 mm. Los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo constituyen la temporada de secas, algunos autores agregan también los meses de Abril y Noviembre ya que las precipitaciones de estos meses representan menos del 10% del total anual. Las variaciones en temperaturas medias anuales son insignificantes ya que en los 27 años analizados la más baja es de 15.7 °C. La temperatura media anual es de 16.35 °C.

De acuerdo a la rosa de los vientos se puede observar que la mayoría circulan del Norte, siguiendo en orden de importancia los del Este y Noreste. Por estar prácticamente desprovista de vegetación el área de Santa Cruz Meyehualco no presenta fenómeno de transpiración, sin embargo la evaporación es superior en más de 300% a las precipitaciones, la evaporación media anual es de 19 a 54.5 mm (D.D.F. 1983).



LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

## VII. MATERIALES Y METODOS

Se realizaron 6 perforaciones con barrena tipo broca de 1.00 m de diámetro, la perforadora se utilizó en los meses de noviembre de 1983 a enero de 1984.

Las muestras de sustrato fueron tomadas a profundidades variables a lo largo de los espesores de los residuos sólidos, hasta alcanzar el suelo.

Las muestras fueron transportadas al laboratorio de análisis en bolsas de polipropileno.

El manejo de las muestras en el laboratorio antes de su análisis consistió en:

- a).-Secado.
- b).-Molido
- c).-Tamizado en malla de 2mm.
- d).-Agrupación de muestras.

Análisis físico y químico de las muestras del sustrato y suelo, se realizaron las siguientes determinaciones:

- a).-Color en seco y en húmedo por comparación con tablas Munsell (1975).
- b).-Potencial hidrógeno (pH), relación 1:2.5, 1:5, 1:10 con un potenciómetro COORNING modelo 7, de acuerdo a lo descrito por López, 1978.
- c).-Densidad Aparente: por el método de la probeta (Rios,1985).
- d).-Conductividad eléctrica: Medido por extracto de una pasta saturada y utilizando un conductímetro COORNING 210. (Jackson, 1970).

e).-Textura: Método de hidrómetro de Bouyoucos, de acuerdo a lo descrito por (Jackson, 1970).

f).-Materia orgánica Vía seca: Por incineración a 550°C en mufla Furnace Electric Speed Heavy Duty (Allen, et al., 1974).

g).-Materia orgánica Vía húmeda: Por el método de Walkley y Blak (Jackson, 1970)

h).-Potasio extraíble: Con acetato de amonio 1N, pH 7, utilizando un flamómetro COORNING 400 (Allen, et al., 1974).

i).-Sodio extraíble: Con acetato de amonio 1N, pH 7, utilizando un flamómetro COORNING 400 (Allen, et al., 1974).

j).-Fósforo asimilable: Método de Bray II, de acuerdo a lo descrito por Jackson 1970.

#### Análisis Cuantitativo de Metales Pesados

Para seleccionar el método más apropiado, varios procedimientos de extracción fueron probados a fin de elegir el que mejor se adapte a las condiciones de nuestras muestras (Apéndice A).

Análisis de Metales Pesados Totales: Para esta determinación la extracción fue hecha utilizando 1.0 gramo de muestra, digerida con ácido nítrico 4N (Heyden 1979), a 150°C durante 24 horas en bomba de alta presión. La muestra así digerida fue filtrada y analizada por Espectroscopía de Absorción Atómica, esta técnica fue validada obteniendo un 98% de Recuperación.

Análisis de Metales Pesados Extraíbles: Esta determinación se realizó según lo descrito por Clayton y Tiller (1979).

La cuantificación de Metales Pesados Totales y Extraíbles se realizó utilizando la prueba de paralelismo que consiste en : Para cada muestra y para cada elemento hacer una curva patrón externa y el método de las adiciones (curva patrón interna) de ella se seleccionó este último para la cuantificación debido a lo complejo de la matriz de la muestra, así como la precisión y exactitud de la determinación, utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian automático 1475.

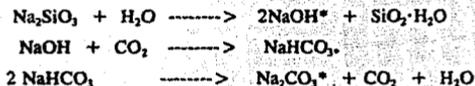
Los metales pesados totales y extraíbles que fueron determinados son: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn.

Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente por el método SAS (Statistical Analysis System, 1987 y 1992; Pimienta, 1989).

## VIII.RESULTADOS Y DISCUSION

El sustrato del Ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco tiene las siguientes características: Extremadamente rico en materia orgánica, alto contenido de arcillas, ambiente reductor termofílico, elevada concentración de sales, pH fuertemente alcalino (8.5 - 10.3) y alto contenido de sodio intercambiable.

Las condiciones alcalinas generalizadas en todo el sustrato y suelo en el extiradero, son debidas a la presencia en el medio de sales de sodio altamente alcalinas, como  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , que incrementan más el pH del medio de acuerdo con las siguientes reacciones:



\* Producto responsable del incremento del pH en el sustrato y solución.

Un análisis detallado de estas reacciones nos permite visualizar que se trata de reacciones en cadena que forman un ciclo, en donde los reactivos de una, son producto de otras, observándose los procesos de alcalinización del medio siempre y cuando exista una cantidad de sodio libre y una fuente de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , requisitos que se reúnen en el sustrato aquí acumulado.

Como se ha mencionado anteriormente el sustrato es rico en materia orgánica y por procesos de biodegradación se ha sintetizado una mezcla de material orgánico amorfo químicamente activo (Humus) y ante la presencia de sodio estos complejos orgánicos han enlazado al ion formando humatos de sodio altamente tóxicos que contribuyen a elevar el pH del medio de



De acuerdo con Dunemainn, 1991; Stewart, 1991; Alhaji y Bal 1993, los cationes metálicos pueden quedar asociados con las arcillas, humus, óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, carbonatos y sulfatos, el grado de asociación con estos componentes del suelo depende en mucho del pH, condiciones redox y grado de humificación de la materia orgánica.

El sustrato del ex-tiradero posee alto contenido de humus y arcillas que favorecen la retención de cationes metálicos en sus sitios de intercambio esto ocurre en los primeros 7 metros de espesor, sin embargo, bajo condiciones reductoras que prevalecen apartir de los 7 m, el azufre forma  $H_2S$  el cual reacciona con los metales formando sulfuros, estos compuestos permanecen solubles en micro sitios y coexisten en las condiciones alcalinas generalizadas del medio.

Es de particular importancia estos micrositios en la movilidad y disponibilidad de los metales, cuando el pH es superior a 8, las asociaciones entre el metal y el complejo de cambio se precipita ó coprecipita y los metales quedan insolubles y por ende su movilidad se reduce, esta es la condición más generalizada en el extiradero de Santa Cruz Meyehualco bajo las condiciones actuales.

Sin embargo los sulfuros de los metales son relativamente solubles de modo que ,pese a las condiciones alcalinas del medio, alguna cantidad permanecen en el suelo en micrositios, constituyendose en la fuente de contaminación para la biota y mantos acuíferos.

En resumen de los factores que participan en las asociaciones complejo de cambio-metal en el sustrato y suelo del extiradero, los siguientes son los de mayor importancia: Arcillas, Humus, Oxidos e Hidróxidos, Carbonatos y pH.

En la zona de estudio en la cual fueron depositados los residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México se presenta como suelo dominante el Regosol Eutrúico DETENAL 1972. en la tabla I se presentan los resultados de los parámetros físico y químicos del sustrato del extiradero de Santa Cruz Meyehualco. En cuanto al color se presento un cambio constante en las tonalidades debidas principalmente al contenido de material orgánico y grado de

humificación (D.D.F, 1982).

La conductividad eléctrica a 25 °C fue de 10470 a 61030 mmhos/cm con valores frecuentes de 20000 a 35000 mmhos/cm. Richards (1989), clasifica este sustrato como salino sódico, con concentraciones de sodio de 1050 - 80000 ppm como valores extremos, debido principalmente al gran aporte de sales de los residuos sólidos y al origen de los suelos que ocupa el extiradero.

El análisis granulométrico reporta suelos con alto contenido de arcilla de 26.7 - 49.8% según la clasificación textural, se trata de suelos migajones y migajones-arcillosos. Es importante mencionar el papel que tiene el % de arcilla en la capacidad de retención de los metales pesados (Foy, 1978; Alhaji y Bal, 1993), así como propiciar en la zona de estudio condiciones de anaerobiosis disminuyendo con esto la actividad microbiana (Miller, et al., 1977; Bridle, 1987).

Con respecto al contenido de materia orgánica se obtuvieron cambios en el sustrato y en el suelo natural, se determinó vía seca y vía húmeda, los resultados señalan una mayor cantidad por el método vía seca, los intervalos determinados fueron de 1.2 a 44.9% vía húmeda y de 2.1 - 52.9 % vía seca, al clasificar los niveles obtenidos de acuerdo con Miramontes (1978) se tiene un sustrato extremadamente rico en materia orgánica.

Bohn en 1993, menciona la relevancia que tiene el complejo arcillo - húmico en los procesos de incorporación y desincorporación de los metales pesados, la movilidad de estos hacia el suelo y aguas subterráneas. Nuestros resultados (Tabla 1) indican que entre 3 - 6 m caen bruscamente los niveles de materia orgánica, sin embargo los residuos orgánicos que dominan en esta profundidad están completamente transformados como lo menciona Stewart (1991), estos materiales exponen un mayor número de sitios de intercambio que favorece su reactividad. Las interacciones químicas y la solubilidad de las sustancias tóxicas se ven favorecidas con el incremento de la temperatura, analizando los datos de temperatura se observa que existe una alta actividad termofílica a partir de los 7 m, que coadyuva estos

procesos (Dunemainn, et al., 1991).

En la figura 1 se muestra el comportamiento que tiene la materia orgánica en el sustrato y suelo natural disminuye conforme nos acercamos a suelo natural, se encontró un mayor contenido en la parte más alta de la columna del sustrato que en la profundidad y suelo natural desde luego los altos contenidos en la superficie se explican por contener los depósitos de residuos frescos, a diferencia de los estratos de mayor profundidad, donde la biodegradación ha reducido la cantidad de compuestos orgánicos.

Los valores de pH oscilaron de 7 - 10.1 en la gráfica 1 se puede visualizar las variaciones tan drásticas, aunque de manera general se localizan los neutros en la superficie y los más alcalinos en las partes bajas y en el suelo natural, esto se puede explicar por la lixiviación que sufren los espesores superficiales y la reconcentración de los lixiviados en profundidad (Daves, 1980; Stewart, 1991).

Uno de los cationes que incrementa su concentración es el  $\text{Na}^+$ , este al reaccionar con el humus generado por biodegradación de los residuos, ha formando los humatos de sodio, estos complejos son extremadamente alcalinos y elevan el pH por arriba de 9 como se observa en la figura 1, aun cuando su concentración no es muy alta.

Dado que los elementos potencialmente tóxicos son controlados por mecanismo del suelo, la efectividad que este tiene para remover los del complejo arcillo-húmico, depende principalmente de los mecanismos biológicos que alteren su forma química, de sus características propias de cada metal y de las condiciones del lugar (Frank, 1980).

En la zona de estudio el sustrato es alcalino, esto condiciona formas química insolubles de los metales, esto disminuye en gran medida su migración hacia el suelo natural. Por otro lado se dio una relación directa con la materia orgánica es decir cuanto mayor es el contenido de materia orgánica en el medio, los niveles de contaminación por metales es también mayor luego entonces creemos que se están formando complejos organo-metálicos, (Dunemainn, et

al., 1991; Stewart, 1991).

El fósforo asimilable fue bajo, de acuerdo con Foy (1980), en condiciones alcalinas la forma química más común es el fosfato de calcio el cual precipita y lo hace insoluble para las plantas.

Respecto a las concentraciones de metales pesados extractables y totales en los diferentes pozos monitoreados del sustrato y de suelo natural, se obtuvo que existe una gran variación en todos los metales en relación con la materia orgánica, además del poder que tiene para retener estos cationes metálicos, aumentando cuando el contenido de material orgánico es mayor (Dunemainn, et al., 1991; Stewart, 1991).

Pensamos que esto se debe a la heterogeneidad de los residuos depositados sin ningún control, mismos que tienen distinto origen (Tabla II), en la figura 2 se ven las diferencias entre sitios para el Cd en donde el pozo 1 registra la concentración más baja, en cambio el pozo 2, 6 posee los más altos para este metal, se encontró que los valores de concentración no superan las 6 ppm, en el resto existen cantidades intermedias, por el contrario el cobalto tiene sus más altas concentraciones en los pozos 3 y 4 de mayor edad de depositación alcanzando valores menores de 40 ppm, para todos los sitios el promedio fué de 25 ppm de este microelemento, es importante notar que este elemento se encuentra en concentraciones que indican su lixiviación al suelo natural pozos 2,3,4 siendo menos evidente en los demás sitios monitoreados .

En la

Figura 3 se muestra el comportamiento del níquel y de plomo, para el níquel el pozo 1, 2 y 6 son los más altos para este agente químico, por su parte el plomo encuentra sus máximos valores en el pozo 1 y 2 (8-15 ppm), ambos metales muestran una alta correlación con los niveles de materia orgánica, en donde a mayor contenido orgánico mayor concentración del metal (Stewart, 1991). Es importante señalar que los pozos 3 y 4 el suelo natural tiene concentraciones similares ó superiores a los encontrados en la columna de basura, esto se explica en función del tiempo de depositación de los residuos, correspondiendo a los sitios de

mayor edad (Dunemainn, et al., 1991; Morton, 1981; Taylor y Griffin, 1993; Parmeley, et al., 1979)

La figura 4 nos indica los niveles de Zn que fluctúan de 1000 a 3000 ppm, los pozos 1 y 2 son los que reportan concentraciones más elevadas de este elemento lo que se correlaciona con los altos contenidos de material orgánico, cabe destacar que en el pozo 2 se encontraron concentraciones de hasta 2408 ppm, lo que indica una elevada retención de este metal por las arcillas en el suelo (Tabla 11, 111), el Cu por ejemplo está más concentrado en el pozo 4, además en varios sitios alcanza 5000 ppm (Leeper, 1979; Labauve, 1988).

En la figura 5 nos muestra al el hierro, este el elemento presentó las concentraciones más altas de las aquí cuantificadas, los valores determinados oscilan entre los 20000 hasta 79000 ppm, en el pozo 5 se encuentra su máxima concentración y en el pozo 1 el menor valor cuantitativo, además tiene tendencias de movilidad hacia aguas subterráneas Sawyer y Carty, 1971).

El cromo determinado es uno de los cationes metálicos de mayor importancia toxicológica, es decir de los metales más activos en la zona este elemento alcanza concentraciones entre 600 a 2800 ppm, los niveles bajos registrados en los pozos 4 y 5 es debido a la heterogeneidad en la composición de los residuos depositados, pensamos que este elemento es altamente retenido por el humus formando el complejo (arcillo-Cr), además de encontrarse en forma intercambiable y por el pH sustrato, forma hidroxidos, todas estas formas químicas son disponibles para la biota y contaminan el complejo de cambio y la solución del suelo (Alloway, 1990; Leeper, 1979) (figura 6).

En la figura 7 podemos observar la gran movilidad que presenta el plomo y el cinc hacia el suelo natural, constituyendo una gran fuente de contaminación de estos elementos hacia el subsuelo (Chilson, 1971; Dart y Streton, 1980; Morton, 1981; Summers, 1978) . Se debe señalar que es difícil detectar alguna tendencia entre profundidad y concentración, con base a la profundidad para todos los metales se observo gran heterogeneidad y cambios de

concentración de un sitio a otro.

Al analizar los resultados de manera global se obtuvo que los metales totales y extraíbles tuvieron un comportamiento similar y la proporción fué de 3:1. Asimismo al comparar las concentraciones de los metales totales y extraíbles con los niveles permisibles se ve que los superan ampliamente en el sustrato como en suelo natural, a excepción del Ni, y Cd, y los pozos en donde existe mayor concentración de cationes metálicos son los pozos 3, 4, 5.

En la figura 8, se muestra el comportamiento de los metales con respecto al pH, se observa que la tendencia es muy parecido, para todos los metales aquí presentados (Cd y Zn vs pH), se encontró una alta concentración de estos debido a que las condiciones alcalinas provocan su precipitación, limitando en algunos metales la lixiviación hacia el subsuelo, este factor amortiguador que presentan los suelos alcalinos para contener los contaminantes ambientales que provienen de los residuos sólidos urbanos, cuando se rebasa la capacidad de saturación del suelo para retener las sustancias tóxicas se presentará la movilidad directa hacia el subsuelo y aguas subterráneas (Dunemainn, et al., 1991; Liptak, 1974; Labauve, et al., 1988).

En relación al suelo natural cabe señalar que se trata de un suelo Regosol Eútrico, asociados con Solonchak Mólicos y Feozem Háplicos, haremos referencia al Regosol por ser el suelo predominante. Este se caracteriza por ser arcilloso con alto contenido de sales en las que dominan las de sodio, pH alcalino entre 9.2 y 10.35, rico en materia orgánica humificada aportada por los residuos orgánicos aquí acumulados, además este sustrato ha proporcionado una gran cantidad de metales pesados, alcanzandose una concentración promedio para el Cadmio de 2.0 ppm, Cinc 105 ppm, Cobalto 13.3 ppm, Cromo 490 ppm, Hierro 18016.6 ppm, Niquel 6.9 ppm, Plomo 226.7 ppm.

Cabe señalar que este enriquecimiento de metales se debe a los procesos de eluviación acumulandose en el complejo de cambio (arcilla-humus) provocando su contaminación.

Esta acumulación de contaminantes se ve favorecida por las deficiencias de drenaje que presentan los suelos dado su caracter arcilloso, se observó este problema por la presencia de un moteado en los primeros 60 cm de suelo natural. Pese a esta situación del drenaje y en virtud de que la biodegradación de los materiales acumulados es un proceso continuo durante por lo menos 20 años de clausurado (Liptak, 1974), resalta a la vista el efecto de los contaminantes a nivel de mantos freáticos (localizado a 9 m de profundidad) con todos los productos aportados por estos materiales, destacan los metales pesados, hidrocarburos y otros compuestos resultado de la biodegradación (Gandy y Gandy, 1980).

Por otro lado dado el espesor de la columna de residuos y los altos valores de lixiviados que saturan el sustrato, hacen que las condiciones que prevalecen en la superficie del suelo natural sean reductoras, lo cual genera procesos anaeróbicos de descomposición y como productos metano, etano, propano, ácido sulfúrico y amoníaco, mismos que se difunden en el suelo contribuyendo a su degradación (Labauve, et al., 1988).

El análisis estadístico utilizado debido a la complejidad y a lo heterogeneo de los mismos fue el Análisis Muultivariado utilizando el sistema de análisis estadístico S.A.S., el cual aportó la siguiente información, con desviaciones estandar muy altas, representadas por intervalos máximos y mínimos muy diferentes.

El análisis de correlación de Pearson encontró una correlación inversa entre los parámetros materia orgánica - pH y potasio - pH. Por otro lado considerando que los metales pesados no siempre los encontramos solos sino interactuando con otros, se observo que los que presentaron coeficiente de Pearson positivo son: Cadmio, Cobre, Cobalto, Plomo y Cobalto con todos los metales, mientras que hierro solo con Cadmio y Cobre, para metales totales y para los extraíbles los elementos de mayor correlación fueron Cadmio, Cinc y Cromo (Pimienta, 1989). Es decir no existe una correlación significativa en el aporte de contaminantes físicos y químicos hacia el suelo natural está limitada y la capacidad de saturación aún no se ha alcanzado.

TABLA I. PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS DE SUSTRATO DEL EX TIRADERO DE STA. CRUZ MEYERHUALCO

Muestra	PROP. METROS	H 1:2.	pH 1:5	pH 1:10	D.A O/CM	C.E MHOS/CM	ARCILLA %	M.O.H. %	H.O.S. %	Na P.P.M.	K P.P.M.	P P.P.M.	Ca MG/100G	Mg MG/100G
A1	0.3	6.09	7.05	7.15	0.213	38660	*	40	48.2	7800	6760	11.46	1267	861.1
A2	0.6	8	7.85	7.8	0.578	58610	*	21.4	26.1	3800	2380	2.47	7394.8	3130
A3	0.9	7.05	7.15	7.1	0.398	61030	*	38	43.7	4900	2290	7.12	1190	6019.2
A4	1.6	7	6.8	6.8	0.498	49880	*	44.9	52.4	7600	3990	16.94	13094	4336.3
A5	2	7	6.7	6.7	0.448	53620	*	32.4	37.6	80000	4030	7.04	5555.1	8186
A6	2.4	8.2	8.2	8.2	0.745	36160	*	11.5	17.5	7000	4340	2.3	3967.9	4575
A7	2.8	8	8.1	8.1	0.764	36160	49.8	12.1	15.3	7000	4250	2.2	4364.7	3250.4
A8	3.7	8.4	8.5	8.5	0.92	27430	25.8	5.5	6.9	5400	4160	2.54	1587.2	5417.3
A9	4.1	8.4	8.6	8.6	0.83	36160	31.4	4.9	5.3	10600	4790	6.83	3571	3370.1
A10	8	9.15	9.4	8.7	0.92	17420	35.4	1.9	4.2	8200	5330	4.86	1984	5778.4
A11	9	9.05	9.25	9.65	0.2	13670	*	4.6	5.1	8800	13550	8.76	984.6	11829
A12	11	9.15	9.4	9.4	0.955	17460	27.6	3.9	4.9	13800	5770	5.06	4364.7	2407.7
A13	12.5	9.2	9.4	9.65	0.8	22450	31	2.4	2.9	25098	10120	4.17	2380.8	2407.7
A14	15.5	9.95	9.95	9.65	0.969	14960	37.6	4.5	5.3	10200	8740	8.76	1771.5	4659.7
A15	20.3	9.95	10.05	10.2	0.96	22450	37.8	5.3	6.1	11220	10900	3.63	1969.1	7765.4
A16	21.5	10.15	10.2	10.35	0.935	27430	37.8	4.9	5.7	14760	13000	3.83	2164.3	2508.6
B1	1	7.24	7.4	7.56	0.621	19770	*	15.5	17.4	1552	3730	2.2	5130	2867.3
B2	7	7.54	7.65	7.84	45.456	32560	*	16.1	16.8	10340	6350	2.4	1572.5	3823.1
B3	10.5	7.46	7.65	7.91	0.298	24420	*	31.1	34.3	6330	4835	2.09	2757.5	2629
B4	14	7.75	7.87	8.06	0.3	30240	*	17.3	19.4	13600	6675	7.39	1182.4	4302.2
B5	15	7.45	7.66	7.92	0.239	33730	*	20.7	22.3	12200	6080	4.94	2166.3	3345.2
B6	16	7.92	7.94	7.94	0.534	34890	*	12.7	13.7	7550	4605	1.99	1967.9	3226.1
B7	18	8.32	8.53	8.66	0.471	16280	*	23	25.7	10500	4420	1.79	1567.1	3701.9
B8	19	8.33	8.55	8.76	0.494	12790	*	16.1	18.1	4160	2600	2.6	1374.7	4241.4
B9	20	8.46	8.7	8.84	0.48	15120	*	18.4	20.9	7560	6225	1.96	1382.8	3584.8
B10	21	8.61	8.81	8.92	0.532	20930	*	18.8	21.4	7560	5895	1.79	1182.4	3703.9
B11	21.5	8.6	8.74	8.86	0.515	24420	27.8	28.8	30.3	6330	7180	1.48	1182.4	4300.9
B12	22	8.1	8.34	8.62	0.545	10470	27.5	10.6	11.6	5700	4050	2.88	1374.7	3106.9
B13	22.5	9.06	9.22	9.35	0.812	16050	*	2.6	3.3	30910	18220	4.58	983.9	3106.9
B14	23	10.07	10.16	10.26	1	34890	*	3.2	3.8	19630	12125	2.13	2166.3	3465.6
C1	11.5	7.86	8.26	8.55	0.44	40900	*	25.3	28.9	20100	7734	1.72	1771.5	5855
C2	12	8.06	8.46	8.74	0.7	27260	*	6.6	7.1	11340	5985	2.33	1378.8	3464.4
C3	12.5	7.5	8.46	8.62	0.705	15900	24.2	1.6	2.1	17820	1153	2.64	981.9	2867.3
C4	14.5	8.6	8.95	9.22	0.58	28400	*	20.7	22.7	15740	7593	1.99	2565.1	4421.4
C5	15.5	9.1	9.2	9.35	0.85	22500	*	36.2	39.3	12860	7227	2.13	2164.3	3823.1
C6	22	9.25	9.61	9.75	0.407	20450	28.2	3.2	3.5	27060	6780	2.47	2565.1	3823.1
D1	3	7.3	7.4	7.56	0.45	11210	*	42.5	45.6	10200	4927	3.32	2164.3	4190.3
D2	3.5	8.36	8.74	8.96	0.765	17040	*	7.9	8.7	5416	5571	3.93	981.9	2926.9
D3	5	8.41	8.67	8.77	0.615	18180	*	12.5	13.2	7290	6813	1.24	981.9	278.2
D4	11	8.77	9.25	9.45	0.365	28400	*	18.9	20.4	15270	4927	1.51	981.9	2808.9
D5	15	9.05	9.45	9.64	0.745	26130	*	7.7	8.9	20840	7826	1.85	2164.3	4190.3
D6	16	9.75	9.91	10.03	0.965	28400	*	31.6	33.4	33000	24320	2.88	3150.3	2748.9
D7	17	9.9	10.2	10.11	0.84	34080	26.1	4.5	5.1	26400	26250	3.32	1969.9	2151.1

TABLA I. PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS DE SUSTRATO DEL EX TIRADERO DE STA. CRUZ MEYEHUALCO

Muestra	PROF.	H 1:2.	pH 1:5	pH 1:10	D.A	C.E	ARCILLA	M.OH.	M.O.S.	Na	K	P	Ca	Hg
E1	4	8	8.2	8.3	0.48	24420	*	23	25.2	16790	5387	2	2953.9	3943.5
E2	6	8.3	8.4	8.6	0.5	15120	*	27.6	29.4	10710	3500	1.58	2953.9	4003.1
E3	15	8	8.2	8.4	0.38	27910	*	25.3	26.1	15520	6768	1.75	3150.3	4183
E4	15.5	7.2	7.4	7.6	0.31	18220	*	20.1	22.3	28440	3455	2.43	1772.5	4190
E5	16.5	10.2	10.3	10.3	0.7	32560	*	2.3	2.9	20340	24320	4.17	1376.8	2926.9
E6	22	9.6	9.75	9.9	0.84	41220	34.8	3.1	3.7	24900	22100	2.54	2605	4298.6
F1	4.5	7	7.7	7.8	0.515	29070	*	20.1	22.7	13750	5158	1.4	3150.3	2030.7
F2	5.5	7.3	7.6	7.8	0.65	19770	*	43.1	44.9	10200	3500	1.8	2364.7	8363.7
F3	7.5	8.8	9.1	9.3	0.29	35560	*	21.6	22.4	25900	7903	1.8	2561.1	2149.8
F4	8	7	7.5	7.7	0.487	34890	*	32.5	36.1	15700	5617	1.5	4332.6	2389.4
F5	8.5	6.9	7.3	7.4	0.525	45360	*	33.6	35.3	11720	4559	1.7	3150.3	2508.6
F6	9	6.8	7.2	7.4	0.56	40700	*	21.7	22.6	14020	5433	1.9	3150.3	1792.4
F7	10.5	6.7	7.2	7.4	0.19	45360	*	24.3	27.5	17300	7412	1.8	5120.2	1673.2
F8	23	9.9	10	10.1	0.975	16280	32.4	2.2	3.4	32500	18810	2.5	2005	3943.5
G1		7.6	7.9	8.2	0.38	34890	*	23.1	25.1	24140	7734	2.1	2367.2	4062.7
G2		7.7	7.9	8.2	0.41	32560	*	22.4	24.9	24140	7641	2.1	2367.2	4062.7

G1 G2 SON MUESTRAS COMPUESTAS  
\* NO SE PRESENTO

TABLE II. CUANTIFICACION DE METALES EXTRACTABLES. (P.P.M., PESO SECO).  
DE SUSTRATO DEL EX TIRADERO DE STA. CRUZ MEYEHUALCO.

MUESTRA	Z	Cadmio	Cinc	Cromo	Cobre	Hierro	Plomo
A1	0.3	2.5	735	825	83	2239	225
A2	0.6	1.9	285	378	75	6450	188
A3	0.9	2.4	1200	623	84	7155	745
A4	1.6	1.3	1493	733	148	1526	1123
A5	2	1.8	785	871	132	13525	385
A6	2.4	0.9	245	421	73	7133	162
A7	2.8	0.7	375	432	65	3814	382
A8	3.7	0.4	112	389	25	2719	82
A9	4.1	0.6	296	525	21	9325	197
A10	8	0.6	121	78	13	6527	82
A11	9	0.7	89	67	32	3233	84
A12	11	0.6	99	95	38	3125	19
A13	12.5	0.8	672	297	63	1822	679
A14	15.5	0.5	187	52	17	2875	29
A15	20.3	0.7	69	87	26	2125	136
A16	21.5	0.7	274	46	19	1917	10
B1	1	0.8	832	187	47	18100	112
B2	7	1.5	732	635	86	16500	333
B3	10.5	0.7	841	469	197	44200	453
B4	14	2.6	913	422	247	18700	442
B5	15	1.9	876	477	586	37411	785
B6	16	3.8	1821	370	599	36820	561
B7	18	1.9	2131	746	271	22135	659
B8	19	1.9	2034	539	637	16289	445
B9	20	2.8	916	615	586	21987	668
B10	21	7.7	2637	801	493	24837	551
B11	21.5	0.2	235	634	511	16150	626
B12	22	0.3	94.2	78.3	18	24653	42
B13	22.5	3.6	79.3	55.7	12	22115	28
B14	23	4.1	2379	285	288	13145	675
C1	11.5	2.8	735	788	229	52827	129
C2	12	3.3	899	647	194	35820	43
C3	12.5	1.7	1125	993	169	67352	18
C4	14.5	2.5	736	883	49	42689	22
C5	15.5	2.7	347	611	44	56431	19
C6	22	0.9	16	37	265	13125	75
D1	3	2.4	1237	1889	16	37563	632
D2	3.5	2.8	1113	1677	679	55837	644
D3	5	1.9	998	1265	461	71151	585
D4	11	3.1	1236	1486	726	59376	736
D5	15	2.7	622	1210	595	18489	476
D6	16	2.9	1214	1116	669	65843	653
D7	17	3.6	478	1356	381	18634	281

E1	4	4.3	1435	1326	464	68473	657
E2	6	1.6	1013	2439	472	8569	665
E3	15	4.3	1315	66	467	13241	810
E4	15.5	0.7	19	59	45	15372	81
E5	16.5	0.4	16	37	3	14987	11
E6	22	0.9	37	26	23	6512	36
F1	4.5	1.9	469	385	94	64897	24
F2	5.5	2.1	1533	328	481	79643	987
F3	7.5	2.8	1637	275	413	65479	661
F4	8	1.6	1428	419	153	62525	432
F5	8.5	2.9	1635	936	118	58625	897
F6	9	2.7	1177	418	109	61121	576
F7	10.5	5.3	981	403	121	64322	582
F8	23	1	49	24	22	9115	29
G1	*	1.8	971	837	321	36115	453
G2	*	1.7	986	423	308	34121	467

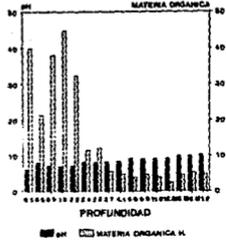
\* MUESTRA COMPUESTA

TABLA III. CUANTIFICACION DE METALES PESADOS TOTALES. (P.P.M., PESO SECO)  
DE SUSTRATO DEL EX TIRADERO DE STA. CRUZ MEYENHUALCO.

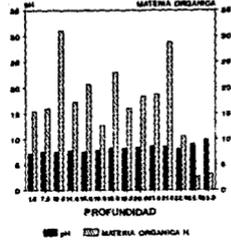
MUESTRA	ELEMENTOS								
	Z	CADMIO	CINCO	COBALTO	CROMO	COBRE	FIERRO	NIQUEL	PLOMO
A1	0.3	3.8	1540	9.2	1097	246	4435	30.6	556
A2	0.6	1.6	460	17	485	123.4	8624.6	25	250
A3	0.9	3.6	1740	24	722	187	9025	39.4	944
A4	1.6	4.6	2380	14.2	918	221.6	3590	59.4	1436
A5	2	3.5	1540	27	1022	234	17400	45.2	772
A6	2.4	2.8	380	14.2	508	143.2	11000	51.2	104
A7	2.8	3.8	820	8.4	802	183.6	5855	39.4	566
A8	3.7	1.4	340	4.4	510	143.4	4639.4	8.6	103
A9	4.3	1.2	420	6.6	843	183.6	16243	3.6	774
A10	8	0.8	160	12	128	57.2	17900	9	114
A11	9	1.4	140	13.2	103	43.8	7430	10.4	126.6
A12	11	1.4	160	2.6	137	63.5	5627	5.4	23.6
A13	12.5	1.8	940	24.2	425	117	3826.2	9.8	874
A14	15.5	1.6	320	3.8	82	39	5629	7	46.6
A15	20.3	1.8	100	3	112	57	5823	3.8	195
A16	21.5	1	460	3.8	71	35	3427.6	4.4	15
B1	1	1.4	1060	9.2	234	61.8	25500	35.2	137.4
B2	7	2.2	920	19.8	828	133	32200	62	490
B3	10.5	1.8	1226	20.6	629	265	57600	35	520
B4	14	3.8	1300	22.8	604	350	31200	72	608
B5	15	3	1350	14.8	610	700	53300	31.4	952
B6	16	5	3080	19.8	539	738	52400	21.8	958
B7	18	3.8	2880	26.2	975	464	65700	60.6	1066.6
B8	19	4.6	2640	15.6	864	692	37400	27.4	798
B9	20	4.4	1380	19.2	786	700	44400	45.4	1468
B10	21	11.6	3080	28.4	956	694	33000	23.2	1004
B11	21.5	0.4	470	17	788	652	36900	65	1308
B12	22	0.6	160	6.6	134	27.6	20600	13.4	69
B13	22	4.4	120	8.2	88	18	28000	18.4	49.2
B14	23	5	2420	17	455	322	28300	1.2	804
C1	11.5	1.6	940	29	1218	366	64800	5.6	169
C2	12	4.2	1660	34.6	975	314	43000	3.2	64.6
C3	12.5	2.6	1520	25	1428	224	77000	6.7	33
C4	14.5	3.4	960	33.4	119	94	55400	4.9	25
C5	15.5	1.6	425	39.6	1207	302	62000	5.9	35
C6	22	1.2	20	14.4	71	24.1	16500	9	96
D1	3	3.8	1560	33.4	2557	860	43600	12.4	778
D2	3.5	3.4	1380	31.6	2125	1066	65660	11.4	714
D3	5	3	1460	33	1728	540	76600	12.6	650
D4	11	4.2	1660	37.4	2027	820	67000	14.4	824
D5	15	2.6	760	26.6	1839	640	24600	9	594
D6	16	3.8	1360	35.4	1983	780	71443	13.4	736
D7	17	4.4	620	24.2	2185	420	23400	7.4	370
E1	4	5.2	1640	26.2	1765	518	74300	46.2	840
E2	6	2.8	1240	19.2	2924	586	11860	17.2	752
E3	15	5.8	1740	25.6	145	587	16650	27	944
E4	15.5	1.2	25	14.4	125	78	19300	26.6	103.4
E5	16.5	0.8	20	7.6	83	5.8	17700	17.6	16.4
E6	22	1.4	60	8	78	4.9	16500	10.4	45.7

F1	4.5	3	660	27.6	767	129	77920	69.2	782
F2	5.5	3.8	1800	22	470	593	83000	4.9	1276
F3	6	4.8	1750	18	475	622	75430	36.2	479
F4	7.5	5.8	1760	23.4	530	168	76400	42	586
F5	8.5	3.4	2000	31.2	1407	126.7	64800	46.2	1226
F6	9	4.6	1280	22.2	685	118	67000	60.6	644
F7	10.5	6.4	1300	14.8	667	140	69000	9.5	664
F8	23	1	50	6	71	24.4	15970	9	37.6
G1		2.4	1200	14.8	1016	358	43300	16.2	630
G2		2	1265	12.6	976	363	44630	16.6	643

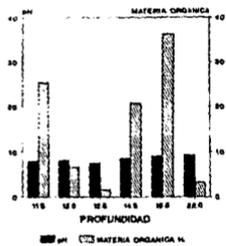
FIGURA 1 RELACION pH vs M.O.



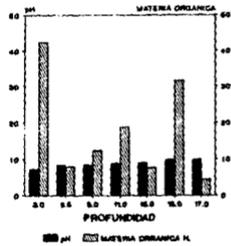
PAGO 1



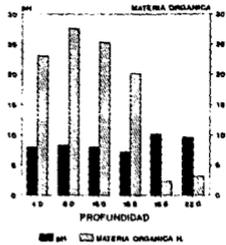
PAGO 2



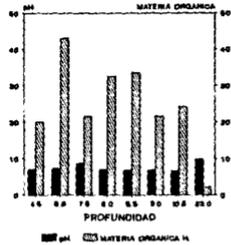
PAGO 3



PAGO 4

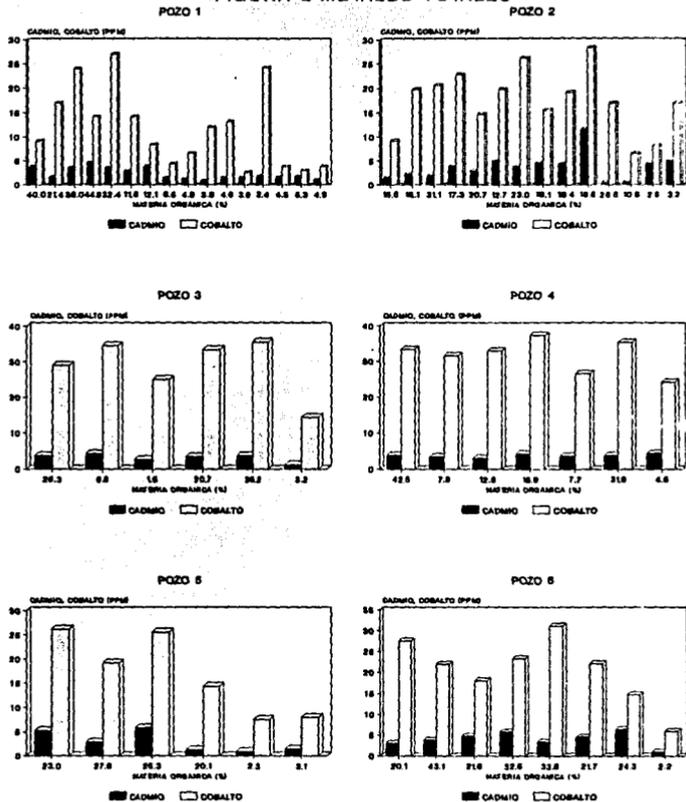


PAGO 5



PAGO 6

## FIGURA 2 METALES TOTALES



### FIGURA 3 METALES TOTALES

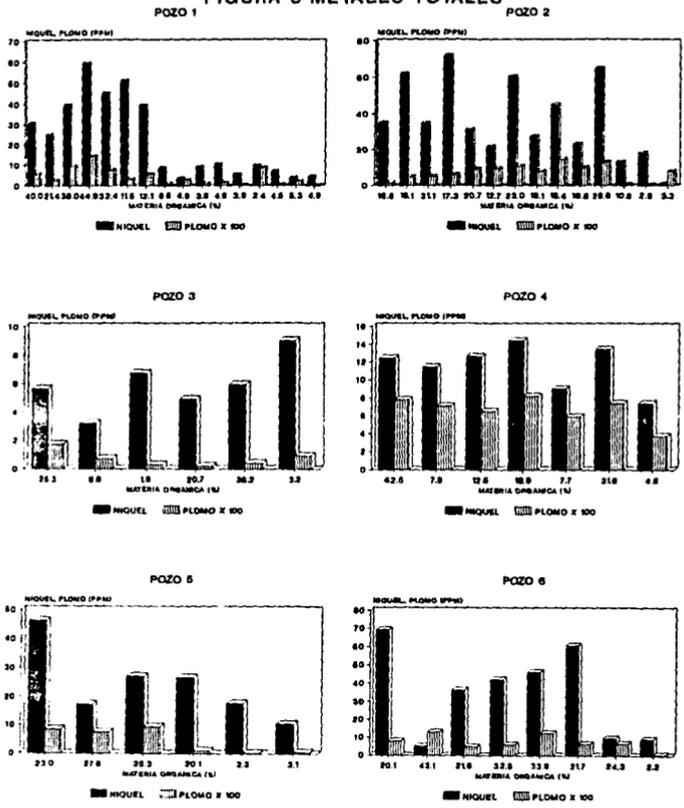
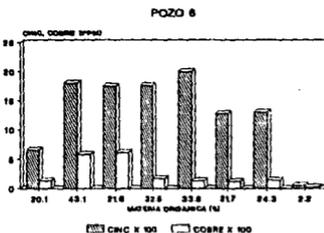
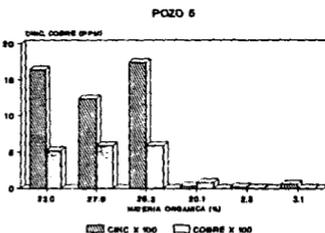
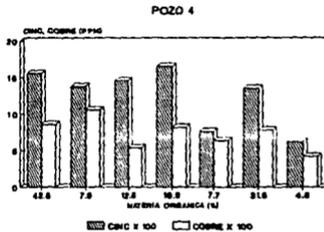
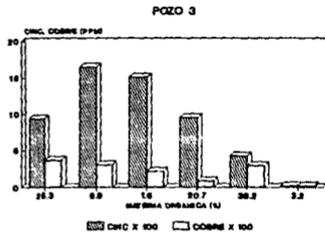
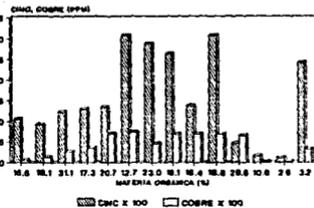
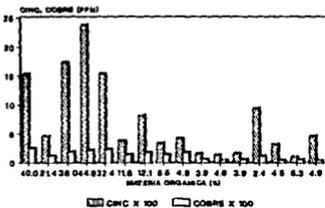


FIGURA 4 METALES TOTALES POZO 2



## FIGURA 5 METALES TOTALES

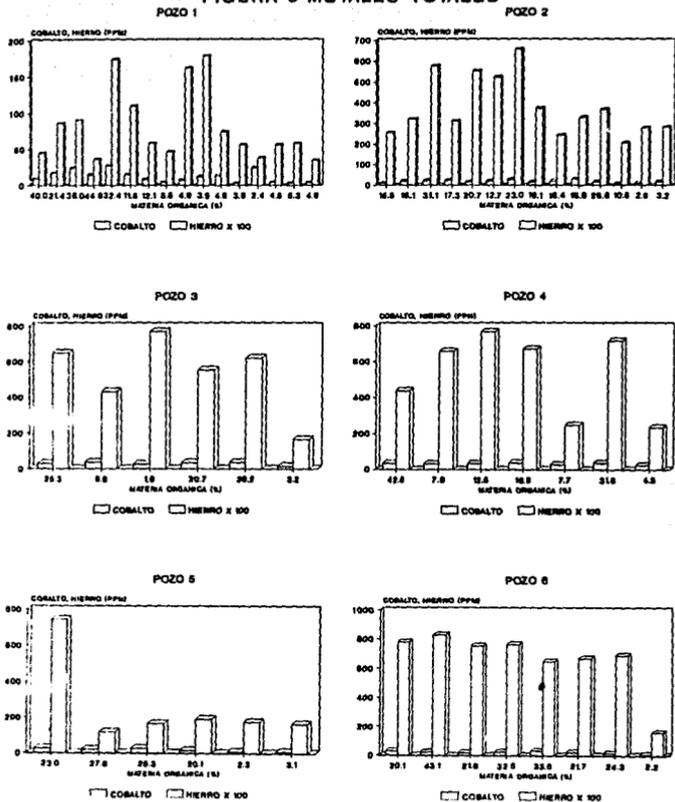
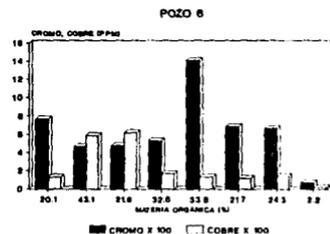
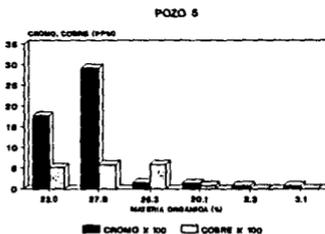
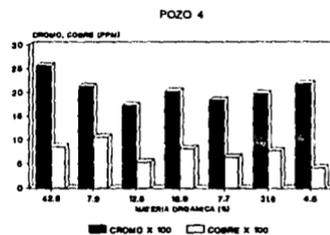
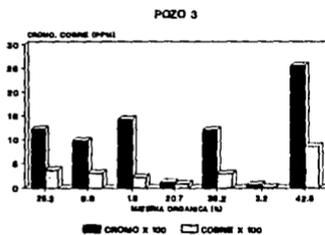
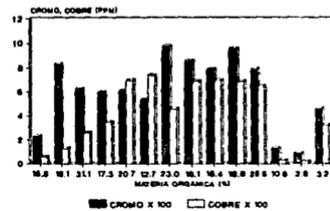
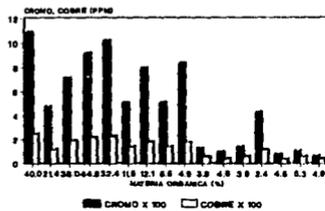
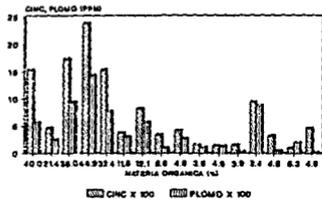


FIGURA 6 METALES TOTALES

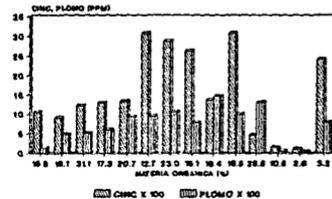


# FIGURA 7 METALES TOTALES

POZO 1



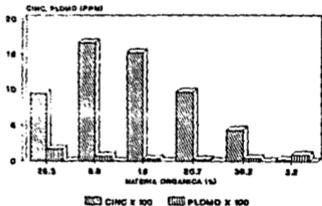
POZO 2



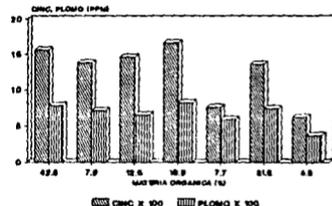
METALES TOTALES

METALES TOTALES

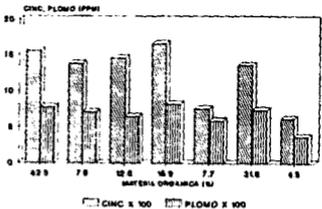
POZO 3



POZO 4



POZO 5



POZO 6

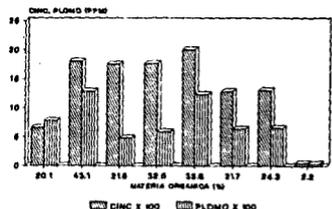
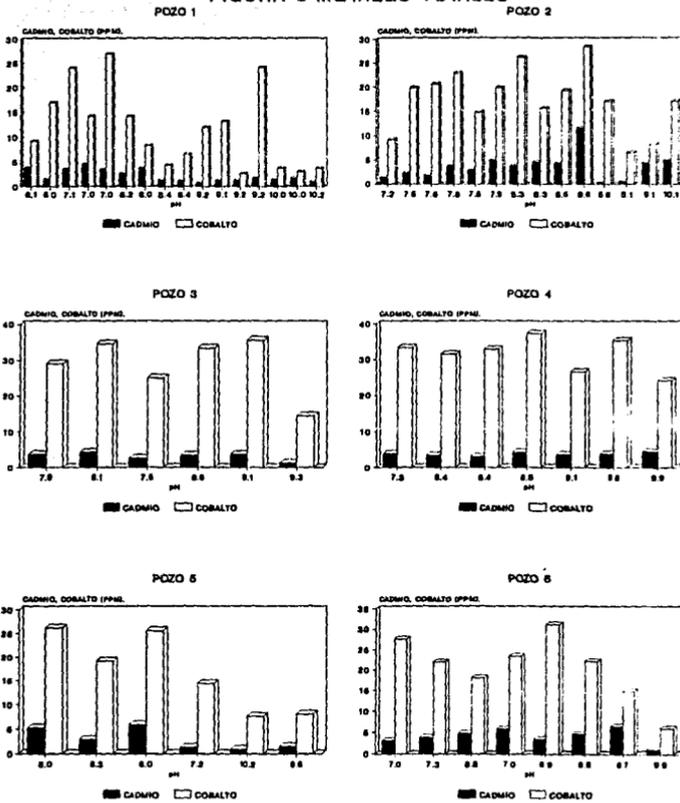
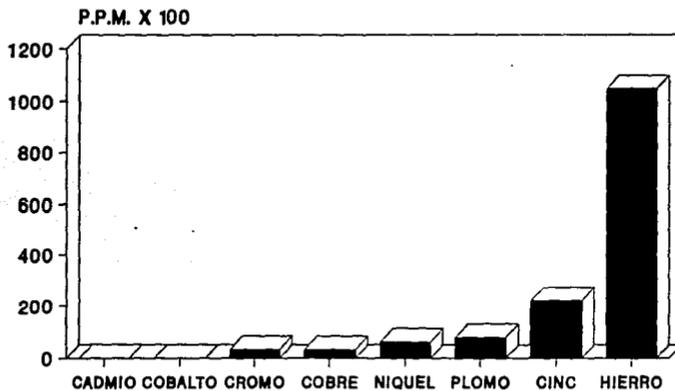


FIGURA 8 METALES TOTALES



CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES EN  
EL SUSTRATO DEL EX-TIRADERO DE S.C.M.



■ METALES PESADOS

FE > ZN > CR > PB > CU > CO > NI > CD

## IX. CONCLUSIONES

El sustrato del extriradero de Santa Cruz Meyehualco se caracteriza por: ser extremadamente rico en materia orgánica, alcalino, con elevado contenido de sodio, conductividad eléctrica alta y pobre en fósforo.

La alcalinidad del sustrato se debe al efecto hidrolítico que causan las diferentes sales de sodio ahí presentes, carbonatos, bicarbonatos, aluminatos y cloruro de sodio.

Los metales pesados se comportan de manera heterogénea en el sustrato en espacio y profundidad.

Los metales pesados Fe, Zn, Cr, Pb, Cu, Co, rebasan los niveles permisibles para suelos, por lo cual es considerado como un ambiente tóxico.

Los altos contenidos de materia orgánica favorecen la retención de los cationes metálicos monovalentes y divalentes, sin embargo cuando su biodegradación tenga lugar, su movilidad será lenta pero inevitable y alcanzará al subsuelo y aguas subterráneas.

En el extriradero de Santa Cruz Meyehualco los factores de mayor importancia que participan en complejo de cambio metal - arcilla, humus son: pH, óxidos, hidróxidos y carbonatos.

Bajo condiciones reductoras los metales pesados se encuentran en el sustrato suelo como sulfuros, compuestos solubles que se constituyen como la fuente de contaminación para la biota y mantos acuíferos.

Aproximadamente la cantidad de residuos depositados durante los 35 años de vida útil que tuvo el extriradero de Santa Cruz Meyehualco fue de 192600 tn y la concentración promedio de metales pesados asciende a 80 Kg Fe/tn, 11 Zn/tn, 8 Kg Cr/tn, 5 Kg Pb/tn, 3 Kg Cu/tn, 0.2 Kg Co/tn, 0.2 Kg Ni/tn y 0.3 Kg Cd/tn, estos representan una fuente potencial de contaminación de aguas subterráneas del área y zonas aledañas.

**Los residuos sólidos del lugar se siguen degradando dando lugar a afloramientos de lixiviados y una gran producción de biogas, incrementando el riesgo latente de explosividad del lugar.**

## X. RECOMENDACIONES

- Implementar pozos de extracción de biogas, para evitar que los gases que se están generando se difundan a la atmósfera, suelos y acuíferos.
- Elaborar un sistema de captación de lixiviados, para posteriormente darles un tratamiento adecuado.
- Realizar un mantenimiento permanente, rellenar las grietas cuando aparezcan, con materiales porosos como el tezontle, además de un monitoreo ambiental de manera permanente a fin de evitar las fugas de gas hacia la atmósfera, que pongan en riesgo la salud de los visitantes.
- Introducción de vegetación fácilmente propagable y adaptable a condiciones de estrés por temperatura, sequía y contaminación.
- No usar este sitio como parque recreativo hasta haber estabilizado la zona y así reducir los riesgos a la población que acude al lugar.
- Evitar al máximo el disponer los residuos, a cielo abierto, ya que el costo ecológico y económico es muy elevado.
- Concientizar a la población en la cultura del reciclaje para reducir la generación de basura y optimizar los sitios de disposición final y rellenos sanitarios.

## XI. LITERATURA CITADA

Alhaji, S. J. and Bal, R. S. 1993. Partitioning and distribution of cadmium and zinc in selected cultivated soils in Norway. *Soil Science* 156 num. 4 USA.

Allen, H. S.; M. Grimshasaw, J.A.; Parkinson and C. Quarmby. 1974. *Ecological materials*. John Wiley & Sons. New York.

Alloway, B. J. 1990. *Heavy metals in soils*. John Wiley and Sons Inc. New York 117-125.

Amos, M. D. 1975. *Basic Atomic absorption Spectroscopy*. Isted Varian Tectron Pty Ltd Springvale Australia.

Andrew, S. C. and Pieters, W.J. 1976. Foliar sintoms of minerals disorders in Glyciene wightii. CSIRO: Australia Div. Trop Agron. Tech 18 1-12.

Aubert, H. M. and Pinta, A. 1977. *Trace elements and soils*. Elsevier Cientific Company New York 395 pgs.

Balochi, D.D.; Hick, B.B. and Cumara, P. 1991. *Atmospheric Environmental*. 21 1 91-107.

Blach, C.A. 1965. *Methods of soils analisys*. American Society of Agronomy Madison Wis, USA. 2.

Benmett, P.A. and Rothery, E. 1983. *Introducing Atomic Absorption Analysis*. Varian Tectron Linieted Mulgrave Australia.

Bohn, A. 1993. *Química del suelo*. Limusa México.

Bridle, R.T. 1987. Evaluation of heavy metal leachability from solid wastes. Environmental Canada, Environmental Protection Service, Waster Tecnology Centre, Burlington, Ontario Canada 1029-1036.

Calabrese, A. and Astolfi, E. 1972. Toxicología. Editorial Kapelusz, Argentina.

Camacho, C. O.; Del Valle, P. D. and Ruela, A. G. 1992. SAS (Statistical Analysis Sistem), para Microcomputadoras. Universidad de Guadalajara, 172.

Camp, R.T. and Meserve, R. L. 1974. Farmacología. Segunda ediccion .Stroudsburg Pennsylvania.

Carabias, L.D. 1988. Deterioro Ambiental. Ciencias UNAM # 13.

Carey, G.O. and Galvao, A.C. 1989. Plomo. Centro Panamericano de Ecología Urbana y Organización Mundial de la Salud. Num. 8 Metepec Edo de México.

Carlson, W; et al. 1975. Effects of heavy metals on plant. Rev. 10, 113/120.

Casarett, D. J. 1978. Toxicología. Ed. Mc. Millan Publishing Co. USA, 454-503.

Chapman, D. H. and Pratt, F. P. 1979. Métodos de análisis para suelos y plantas. Ed. Trillas, México.

Chilsom, J.J. 1971. Lead Poisoning. Cientific American 224: 12 17-19.

Clayton, P.M. and Tiller, K.G. 1979. Chemical method for the determination of the heavy metals content of soils in environmental studies. Comm. Onwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia 41: 1-17.

Dart, R.K and Stretton, R.J. 1980. Microbiological aspects of pollution control. Elsevier Scientific Publishing Company , New York, segunda edicion

Daves, E. B. 1980. Applied soil and trace element. Geography University College Aberystwgh, Walles New York 480 pgs.

Davison, L.R. 1974. Trace elements in fly ash. Enviromental Science and Tecnology. 8 13: 1107-1112.

D. D. F. 1983. Estudio para la regeneración del Extiradero de Santa Cruz Meyehualco. Delegación Iztapalapa, Dirección General de Obras Públicas.

Diamant, R. M. 1974. The prevention of pollution. Ed. Pitman Publishing, U.S.A.

Dunemann, L.N. Wiren, V. Schulzan and R.H. Morschmer 1991. Speciation Analysis of Ni in soils solution and available in plants. Plant and Soils 133: 2.

Fernández, F. S. 1973. Some observations on the determination of lead in blood. Atomic Absortion 12: 70.

Flowers, F. L.; Gilman, F. E. and Cook, C. J. 1978. A Study of Vegetation problems associated with refuse Landfills. EPA. USA. 1-43.

Foy, C. D.; Chaley, R. L. and White, M.C. 1978. The physiology of metals toxicity in plants. Aun. Rev. Plant Physiology 29: 511-566.

Frank, E. G. and Perry, J. J. 1980. Introducción to Environmental toxicological. Elsevier, New York, 34-42, 154 - 157.

Gandy, A. and Gandy, E. 1980. Microbiological for environmental and engineers. Mc Graw Hill USA: 551-555.

Garzon, L.; Pérez, M.; Fernández, B. y Arganza, B. 1986. Lead concentration and source strength in the atmosphere of urban site. Atmos. Environ. 20: 1441-1446.

Goldstein, A; Aronow, L and Kalman, S. 1979. Farmacología. Ed. Limusa México.

Griffin, A. R. and Shemp, F. N.; 1976. Attenuation of Pollutans in Municipal Landfill Leacheate by passage through clay. Environmental Science and Tecnology 10:3 1262-1268.

Gruthrie, F. E. and Perry, J. J. 1980. Introduction to environmental toxicological. Elsevier New York, 34-47, 154-157.

Guerrero, I. 1979. Plomo en Alimentos. Naturaleza #6.

Hassett, A. 1980. Lead in soil. The international fundation USA.

Heyden, V. J. 1979. Spectrochemical Analisis by Absorption Atomic. Australia.

Hodges, L. S.; Renehart, H. and Winston. 1977. Metal pollution. Environmental Pollution USA 420-431.

Inglett, G. E. 1976. Processing Agricultural and Municipal Wastes. AVI. Publishing 172-182.

Jackson, M. L. 1970. Análisis químico de suelos. Ed. Revolucionaria Instituto del Libro de Cuba.

Larios, H.L.P. 1994. Microbiología de lixiviados un estudio previo. Tesis FES Zaragoza UNAM.

Labauve, J. M.; Koluby, A. J. and Grambrell, R.P. 1988. The Effect of Soil and properties a Synthetic Municipal Landfill Leachate on the Retention of Cd, Ni, Pb and Zn in Soil and Sediments Materials. Journal WPCF 60: 379-385.

Leeper, G. W. 1979. Managing the heavy metals on the land. Ed. Marcel Bekker Inc New York and Basel USA.

Liptak, B. G. 1974. Environmental Engineering. Hank Book 3 Land Pollution Chilton, Book Pensilvania Co.USA. 1130 pag.

López, de J. R. 1988. El efecto de los basureros sobre los suelos. Coordinación de Estudios de Posgrado de la UNAM. OMNIA, México.

López, V. F. 1978. Incidencia de los Vertidos de Residuos Sólidos Urbanos en la contaminación de las aguas subterráneas del Area Metropolitana de Madrid. Boletín Informativo del Medio Ambiente CIMA 8: 71-79.

Linson, S.; Chai, B.; Temple, P.; Pearson, R. y Smith, M. 1976. Lead concentration of urban soils and vegetation by emissions from secondary lead industries. J. APCA 26: 250-654.

Macedo, A. F. 1980. Contaminación por Basura en el Río Magdalena. ICATE. S.A. México.

Miller, J. E.; Hassett, J. J. y Koeppel, D. E. 1977. Interactions of lead and Cadmium on uptake and growth of corn plants. Journal Environmental, 6: 18-20.

Miramontes, R. 1978. Interpretación agronómica de datos de análisis físicos-químicos de suelos y plantas. SARH Sudirección de agrología México.

Morris, D. 1989. Incidents of Chromium Contamination of ground water in Michigan.

Morton, E. S. y Lane, S. D. 1981. Lead on Horticultural crops. Scientific Horticultural, 32 :68-77.

Mortvedt, J.J; Giordano, P.M; Lindsay, W.L. 1983. Micronutrientes en la agricultura. AGT editor México D.F.

Munsell. 1992. Soil color charts. Macbeth Newburgh, New York.

Murray, P. J; Rouse, V. J and Carpenter, B. A. 1981. Groundwater contamination by sanitary landfill leachate and domestic wastewater in carbonate terrain: principal source diagnostics, chemical transport characteristics and design implications. Water Research, 15, 745-757.

Navarro, A. V. ; Pillay, G.; Roussy, J.; Roulph, Ch. and Collin, F. 1985. Comition stude bibliographique sur les lixivats produits para la mise in descarge de dechets industriels. Direction Generale Science Recherche et developpements Minestreve del l Environnement. France. 3/4.

Owen, S. O. 1975. Natural Resorce Conservation and Ecological Approach. Second Edition, New York. USA.

Parmeley, R. T.; Barton, J. C.; Conrad, M. E. and Austin, R. L. 1979. Ultrastructural Radioautography and Citochemistry of Lead of absorption. University de Alabama 85-93.

Paulson, D. R. and Morgan, G. F. 1974. Analisis of some toxic combustion products of Low-Density Flexible Poliuretano-etherfoams. Environmental Sciences and Tecology 8: Dic. 1116- 1118.

Philip, H. 1985. Receptor modeling in environmental chemistry. Chemical Analysis vol. 76 Intercience Publications New York.

Pimentia, L. R. 1989. Monografía y Manuales en estadística y cómputo. Colegio de Posgraduados de Chapingo. 8:#1 46.

Restrepo, I. P. 1985. La Basura: Consumo y Desperdicio. Centro de Ecodesarrollo, México D. F.

Ríos, G. R. 1985. Manual de prácticas de edafología del séptimo semestre. ENEP Zaragoza UNAM.

SAS Institute. I. 1987. SAS/STAT Guide for personal computers; Version 6. Edition Cary NC 1027 U.S.A.

SAS Institute. I. 1992. SAS STAT guide personal computers, versión Graph. U.S.A.

Salvato, J. A. 1982. Environmental Engineering and Sanitation. Jhon Wiley & Sons, New York.

Sawyer, C. N. and Carty. Mc. P.L. 1971 Chemistry for Sanitary Engineers. 2a Edicion USA.

Stewart, B. A. 1991. Advances in Soil Science. Soil Science New York, 16 204-206.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Sturges, W. y Harrison, R. 1986. The use of Br/Pb ratios in atmospheric particles to discriminant between vehicular and industrial lead sources in the vicinity of a lead works-I.

Thope, West york shire. Atmos. Environ. 20: 833-843.

Sunkies, K. 1979. Metals ions in cells Endecvour . New Ser 3, 2-3. Centro de Investigaciones Humanisticas de la UNAM, México.

Swaines, D. J. 1955. Trace element contened of Fertilizans Common Wealth Beurean. Soil Science # 52.

Sumners, O. A. 1978. Microbiological transformations of metals. Depto. de Microbiology University de Georgia, An. Rev. Microbiology, 32: 637-672.

Taylor, R. W. and Griffin, G. F. 1981. The Distribucion of tipical applied heavy metal in soil. Plant an Soil 62:1 147-152.

Tirado de Nava, D. 1985. Contaminación de aguas superficiales por metales pesados y sus efectos en suelos cultivados. Universidad Autonoma de Queretaro. Año IV, #12.

Wong, M. K. and Chuah, G. K. 1986. Interactive Effects of lead, Cadmium and Copper Combustión in the uptake of Metals and Growth of *Brassica chinensis*. Environmental and Experimental Botanic, 26:4 331-339.

Wogges, B. G. 1980. Lead in environmental. Environmental W. R. Wasntong USA, 93-98.

## APENDICE A

### ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA

La técnica de absorción atómica se ha desarrollado con rapidez y éxito gracias a que A. Walsh, en 1953, dirigió su atención al hecho de que tanto la emisión como la absorción de la radiación de los átomos es específica y que hay ventajas teóricas inherentes en el uso de la absorción atómica para análisis químicos. En la actualidad es considerada una de las técnicas más exactas en todo el mundo para el análisis elemental de contaminantes ambientales (Davinson, 1974), además ha logrado definir cuantitativamente, cantidades muy pequeñas de metales pesados, los cuales son de gran interés en el estudio de su toxicología (Davinson, 1974). La técnica ya es rutinaria debido a que es altamente específica para determinar sensible y convenientemente 67 elementos, incluyendo virtualmente todos los metales y algunos no-metales. Un elemento puede ser determinado aún en matrices extremadamente complejas, empleando los diferentes métodos desarrollados en absorción atómica: ionización por flama, horno de grafito ó generación de hidruros. Una de las ventajas es que no necesita utilizar fuentes muy energéticas (calientes); las temperaturas producidas normalmente por la flama son suficientes, aunque como se mencionó hay otros métodos, denominados " fríos ", que ni siquiera requieren temperaturas de la flama.

Todos los métodos de absorción atómica están basados en la absorción de la luz por átomos libres, producidos por la flama o por disociación térmica (en técnicas " sin flama ": horno de grafito y generación de hidruros).

Desde el punto de vista teórico , el método se basa en que todos los átomos pueden absorber luz, pero sólo a ciertas longitudes de onda correspondientes a los requerimientos de energía del átomo en particular, de tal forma que, si la longitud de onda tiene exactamente la energía adecuada, ésta provoca la transformación del átomo en "estado estacionario" al mismo átomo, pero ahora en " estado excitado " que contiene más energía. Existen varios estados de excitación posibles para cada átomo y cada uno tiene su energía particular. Cada transición entre diferentes estados electrónicos de energía se caracteriza por una energía diferentes por lo tanto, la transición es provocada por una diferente longitud de onda .

Las longitudes de onda específicas son las de mayor interés en la espectroscopía de absorción atómica (líneas de resonancia), existentes en el espectro atómico característico para cada elemento.

Para poder determinar el elemento por absorción atómica, la absorción debe cumplir con la ley de Lambert-Beer. El procedimiento de determinación consiste en preparar una curva de calibración de concentración de la solución contra absorbancia e interpolar la absorbancia de la muestra problema (curva patrón externa), o adicionar los estándares a la muestra (método de las adiciones), así pues, el proceso de atomización por flama consiste en dispersar la muestra líquida a gotas muy finas e introducirlas dentro de la flama, la temperatura destruye la materia orgánica de la muestra y provoca la disociación de los compuestos orgánicos hasta átomos, estos absorben la luz de la longitud de onda característica y midiendo la absorbancia se determina la concentración de cada elemento existente en la muestra (Amos, 1975; Benmett y Rothery, 1983; Philip, 1985).