



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"**

**EVALUACION DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION POR
METALES PESADOS - Pb, Cu, Cr, Cd, Zn, Fe - EN
AGUAS RESIDUALES Y SUELOS DE CULTIVO EN EL
DISTRITO DE RIEGO 063 EN EL VALLE DEL
MEZQUITAL, HGO**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

Presenta:

ARMANDO PEREZ VEGA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F. 1993



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

I N D I C E

RESUMEN	1
I. INTRODUCCION.....	2
II. FUNDAMENTACION DEL TEMA.....	4
II.1. CADMIO.....	5
II.2. CROMO.....	8
II.3. COBRE.....	12
II.4. FIERRO.....	16
II.5. PLOMO.....	19
II.6. ZINC.....	23
II.7. ANTECEDENTES FISICOS, HISTORICOS Y SOCIOECONOMICOS DEL D.D.R. 063 EN EL VALLE DEL MEZQUITAL EN EL EDO. DE HIDALGO.....	28
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	31
IV. OBJETIVOS.....	32
V. HIPOTESIS.....	33
VI. MATERIAL Y EQUIPO.....	34
VII. METODOLOGIA.....	35
VIII. RESULTADOS.....	40
IX. DISCUSION DE RESULTADOS.....	57
X. CONCLUSIONES.....	67
XI. BIBLIOGRAFIA.....	69

RESUMEN

Desde hace algunos años la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se ha visto afectada por contaminantes de muy diverso origen. Pero la mayoría de ellos no permanecen en el lugar donde se generan, sino que se dispersan por aire, suelo y agua.

Las aguas negras de la Ciudad de México y área Conurbada se destinan al riego agrícola en el Distrito de Riego 063 del Valle del Mezquital Hgo. desde principios de siglo. Estas aguas contienen una cantidad considerable de contaminantes, entre ellos metales pesados, que afectan a la cadena natural agua-suelo-planta.

Considerando lo anterior es importante evaluar los niveles de contaminación de los metales pesados (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn, Fe) en aguas negras y suelos de cultivo en este Distrito de Riego. La evaluación se realizó mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Se evaluaron algunos parámetros físicos y químicos que afectan la biodisponibilidad de estos metales pesados.

De los 17 sitios muestreados se encontró que los lugares más contaminados son San Antonio, Lindero, Rosario y Actopan. A pesar de que el agua es clasificada por SEDESOL como agua para riego agrícola por cumplir con las normas establecidas para este uso. En el estudio realizado cumple la normatividad establecida excepto para Cd, el cuál se encuentra excedido en el límite máximo establecido para todos los canales muestreados.

I INTRODUCCION

La industrialización de la cuenca de México durante la década de los 50'y 60' trajo como consecuencia una explosión demográfica de la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), que provocó una mayor demanda de servicios públicos; particularmente del agua potable,(1) cuyo volumen en la actualidad que se requiere para abastecer esta metrópoli, la más grande del mundo es de 58 m³/s. De ellos 42 m³/s. es decir, el 72% proviene del subsuelo del Valle de México (2), el resto, de fuentes externas principalmente de los ríos Lerma, Cutzamala y Chiconautla. Antes de la aparición de las industrias, el agua residual era exclusivamente doméstica, pero en la actualidad las aguas llevan desechos industriales.(1)

En México al igual que en otros países del mundo se utilizan las aguas residuales provenientes de las zonas urbanas para el riego. Estas aguas en ocasiones no son sometidas a tratamiento alguno, lo que provoca la dispersión de contaminantes tóxicos que causan degradación de los suelos, plantas y contaminación de los mantos freáticos.(3)

En la ZMCM se generan del orden de 40 m³/s de aguas residuales, de los cuales las 16 delegaciones del D.F. producen 29 m³/s y los 17 municipios de la zona conurbada del Edo. de México 11 m³/s.

Existen tres salidas para las aguas residuales del Valle de México: el Emisor del Poniente, El gran canal y el Emisor central. Estas tres salidas conducen las aguas residuales hasta el río Tula destinadas al Distrito de Riego 063 en el Valle del Mezquital Hgo.

El Emisor Poniente es la salida más antigua, tiene una longitud de 47.8 Km y conduce hasta 80 m³/s, descarga al río El Salto afluente del Tula.

El gran canal de desagüe con una longitud de 47.4 Km descarga a través de dos tuneles el río Salado también afluente de Tula y tiene capacidad para conducir mas de 115 m³/s.

El Emisor central es la estructura más reciente. Forma parte del sistema de drenaje profundo con una longitud de 49.7 Km, tiene capacidad máxima de 220 m³/s, descarga al río El Salto y a través del canal Salto-Tlamaco.(4)

La escasez de agua de mejor calidad, ha motivado a la práctica extensiva de regar zonas agrícolas con aguas residuales. Esta tendencia puede ser muy peligrosa, ya que podrían perderse las perspectivas de la conservación adecuada del recurso suelo.(5)

El presente trabajo tiene la finalidad de evaluar los niveles de contaminación por metales pesados en agua de riego y en suelo agrícola empleando la técnica de absorción atómica en el Distrito de riego 063.

II FUNDAMENTACION DEL TEMA

Aunque desde la antigüedad se ha descrito contaminación por metales pesados, ha sido hasta fechas relativamente recientes que se ha discutido el problema de salud ambiental de las poblaciones que están expuestas de manera continua a estos metales cuando se encuentran como contaminantes ambientales. (6)

El término metal pesado incluye a todos aquellos metales cuya densidad es superior a 4.5 g/ml o su peso específico es superior a 6 g/ml. (7)

Algunos de los metales pesados están considerados dentro de los seis micronutrientes como son el Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno y Zinc el otro micronutriente es el Boro, pero éste no es un metal.

Hay otros metales pesados que están considerados como no esenciales y a ciertas concentraciones son tóxicos tales como: Plomo, Cromo, Cadmio, Níquel, Mercurio, etc. (8)

A continuación se describirán algunas de las características más importantes de los elementos comprendidos en el título del tema, así como una breve explicación de los fundamentos de las técnicas utilizadas.

II.1 CADMIO

Aunque el Pb, Cu y Hg se han utilizado por siglos, el Cd solo ha sido utilizado en este siglo, y más de la mitad del Cd usado en la industria fue producido en los últimos 20 años. Este se obtiene como un subproducto de la fundición de Zinc y otros metales.

La producción mundial de Cd se incrementó de 11 000 T en 1960 a 19 000 T en 1985. Sus principales usos son: electroplatinado de los metales ya que inhibe la corrosión, como pigmentos primarios para plásticos, estabilizador de plásticos, en baterías de Ni-Cd, fungicidas, celdas fotovoltaicas y como material estructural en reactores nucleares. (9)

El origen de la contaminación de los suelos por Cd son: la minería y la fundición de Zn; la contaminación atmosférica por industrias metalúrgicas; al incinerar basura de plásticos o baterías; por aplicación de aguas residuales y utilización de fertilizantes.

El origen de las aguas residuales tienen cuatro orígenes principales: drenaje doméstico; drenaje industrial; escurrimiento agrícola y escurrimiento urbano. (10) Este último en particular puede acarrear Cd como polvo resultante del uso continuo de las llantas de los carros. La razón de encontrar este metal se debe al uso de Zn en el proceso de vulcanización el cual lleva cantidades apreciables de Cd. (8)

Este elemento no tiene una función biológica esencial y es altamente tóxico para plantas y animales, sin embargo, las cantidades de Cd encontradas en el medio ambiente no causan toxicidad grave.

La contaminación del aire también afecta a las plantas al depositarse sobre el follaje ya que es absorbido directamente a la planta. (11)

El efecto tóxico de un metal es determinado más bien por su naturaleza que por su concentración. El Cd(II) es más fácilmente adsorbido sobre la superficie del suelo que otras de sus especies. Se ha encontrado que éste ión predomina a pH arriba de 6.5 como sulfato de cadmio o cloruro de cadmio.

El equilibrio dinámico entre Cd y suelo depende del pH, naturaleza química del metal, de estabilidad de complejos, la fuerza de enlace de los grupos funcionales y la competición con otros iones metálicos.

Como ocurre con otros metales pesados un incremento en el pH del suelo suprime en cierta forma la captación de Cd por la planta. La leche contiene Cd como resultado del pastaje del ganado en pastizales contaminados. (8)

Para un hombre de 70 kg como referencia el balance de Cd en $\mu\text{g}/\text{día}$ es: ingiere 150 en alimentos y fluidos y menos de 1 proviene del aire; pierde 100 en orina y 50 en heces. El contenido en el cuerpo se estima en 50 mg (38 mg en tejidos blandos). La carga es aproximadamente el doble en fumadores ya que el humo del tabaco contiene arriba de 0.1 μg por cigarrillo.

El Cd induce cambios en varias enzimas que actúan en la gluconeogénesis, también altera la ruta de la fosforilación oxidativa.

Los efectos en riñón con una acumulación de más de 200 µg/kg de peso son, disfunciones a nivel del tubo proximal, detectándose proteinuria, aminoaciduria, glucosuria y pérdidas anormales de calcio y fósforo.

En pulmón llega a producir enfisema pulmonar, obstrucción de vías respiratorias, bronquitis, etc.

En el sistema esquelético los efectos incluyen dolor en extremidades, dificultad para caminar, pseudofracturas y osteomalacia (ablandamiento de los huesos) debido a la pérdida de Ca y P. (12)

II.2 CROMO

El Cr ha sido utilizado en la aleación con el acero desde 1877 y para el cromado desde 1926. La corteza terrestre lo contiene en un promedio de 125 ppm pudiendose encontrar en los estados de oxidación Cr(III) y Cr(VI), pero la primera es más estable. El Cr es muy resistente al ataque por oxidación y por ello se utiliza en las aleaciones con otros metales para que resistan a la corrosión. La presencia de Cr en las aleaciones también incrementa la dureza y la resistencia al desgaste mecánico. La cromita es el mineral de Cr más importante. La reducción directa del mineral da ferrocromo y su posterior tratamiento químico seguido de electrolisis da Cr metálico.

Otro de los usos que se le ha dado al Cr ha sido en el curtido de pieles, pigmentos, conservador de la madera, material refractario, baterías, fungicidas y como ingrediente esencial del acero inoxidable (10-26%). (9,11,12)

Se ha estimado que entre 1400 y 11 000 T de Cr son adicionados al suelo en el mundo cada año como resultado del depósito de lodos de aguas residuales procedentes de áreas urbanizadas e industriales. El caso más conocido de contaminación de Cr en México es el de la explanta Cromatos de México que se clausuró al hallarse depositados 75 000 T de materiales de desecho mezclados con los suelos por lo que el Cr se está lixiviando y contaminando el subsuelo y acuíferos de la zona dañando la salud de los habitantes, construcciones,

desagües, raíces de árboles, etc. (13)

El origen de Cr en el suelo también se debe al uso de fertilizantes.

El Cr(VI) es más fácilmente extraíble del suelo y es considerado la forma más tóxica. El equilibrio entre cromato y otras formas de Cr(VI) como cromato ácido y dicromato dependen del pH predominando el ion cromato a pH menor a 6.

El Cr(III) es mucho menos móvil porque es fuertemente adsorbido y su solubilidad disminuye a pH de 4 y precipita completamente a pH de 5.5.

El Cr(VI) es la forma más estable en equilibrio con el oxígeno atmosférico, sin embargo, tiene un alto potencial positivo de reducción lo que lo hace una especie fuertemente oxidante y en presencia con la materia orgánica del suelo es reducido a Cr(III). La reducción es más rápida en suelos ácidos que en suelos alcalinos. Así, en la mayoría de los suelos, la relativa insolubilidad y menor movilidad del Cr(III) predomina.

Las concentraciones de Cr disponible en la planta son extremadamente pequeñas en la mayoría de los suelos debido a su poca solubilidad. Por otro lado, experimentalmente se ha comprobado que al adicionar Cr(III) a suelo húmedos estos se oxidan a Cr(VI) observándose menos perjuicio en los cultivos de suelos bien aireados.

Sin embargo, las concentraciones de Cr en las plantas de los suelos tratadas con aguas residuales son apenas perceptibles debido a la formación de complejos orgánicos muy

estables (10).

El Cr se considera como un oligoelemento esencial que juega un papel importante en los procesos metabólicos de los organismos, por lo que siempre está presente en ellos.

Las valoraciones de los niveles de Cr que normalmente se presentan el hombre son causadas por factores como tipo de alimentación, metabolismo y patrones de absorción y excreción (14).

Para un hombre de 70 kg como referencia se tiene el siguiente balance:

Ingesta	$\mu\text{g}/\text{día}$	Pérdida	$\mu\text{g}/\text{día}$
Alimentos y Fluidos.	150.0	Orina	70.0
Aire	0.1	Heces	80.0
		Sudor	1.0
		Cabello	0.6
		Otros	trazas

Se ha demostrado que el Cr(III) y el Cr(VI) presentan dos mecanismos de acción. Al presentarse en altas concentraciones (2%) en un medio con un pH menor a 5.4 puede producir desnaturalización de proteínas o bien puede precipitar ácidos

nucléicos.

Se considera que el Cr es uno de los metales que intervienen en el metabolismo de los ácidos grasos, asimismo, se ha probado que el Cr(III) juega un papel importante en la acción de la insulina.

La ingestión o la inhalación de compuestos de Cr(III) por largos períodos no revelan efectos adversos a la salud pero la inhalación de compuestos insolubles de Cr(VI) se asocian con lesiones a la mucosa y submucosa del tracto respiratorio.

Algunos de los signos y síntomas en grupos ocupacionalmente expuestos a compuestos de Cr(VI) incluye dermatitis alérgica de contacto, ulceraciones de la piel, inflamación de membrana nasal, perforación del septo nasal, rinitis, daño hepático, congestión y edema pulmonar, dolor epigástrico, además una alta insidencia de trabajadores de plantas productoras de cromato o industrias de pigmentos presenta cáncer pulmonar (12).

II.3 COBRE

El Cu es considerado como uno de los elementos más importantes y esenciales para plantas y animales. Fue uno de los primeros metales usados por el hombre desde la edad de piedra. El bronce (aleación de cobre y estaño) fue el primer metal industrializado. Se estima que el promedio de abundancia en la litósfera es de 70 mg/kg y en la corteza terrestre va de 24 a 55 mg/kg. El Cu esta asociado con la materia orgánica del suelo, óxidos de fierro y manganeso, silicatos y otros minerales, de los más comunes se incluye a la calcopirita, cuprita, malachita, azurita y bornita. Sus minerales estables son los sulfatos más que los silicatos u óxidos.

El Cu metálico se prepara por fundición y refinado electrolítico. El principal uso del Cu es la producción de cable para conducir la electricidad, utilizado en muchas aleaciones, algunos compuestos de Cu son usados en pesticidas, algicidas, fungicidas, insecticidas y también como espermaticida (uso de dispositivos intrauterinos). Otros compuestos son usados como pigmentos en pinturas y cerámica. (11)

El Cu muestra dos valencias en los compuestos en que se presenta en forma natural. En general el Cu(I) es más común en los minerales que se forman a una profundidad considerable y el Cu(II) en los compuestos que se forman cerca de la superficie terrestre. Cualquiera que sea la forma del Cu en

las rocas, éste se disuelve mediante el desgaste natural principalmente como Cu(II) . Siempre y cuando la solución permanezca en estado de oxidación y por lo menos ligeramente ácida, el Cu no puede precipitar, pero a medida que el pH se eleva cerca de 6.5 el complejo CuOH^+ se vuelve dominante y arriba de 7.0 puede aparecer cualquiera de las formas precipitables. (8)

Para la mayoría de los suelos el Cu(II) es la especie medida como Cobre en suelos. Las sustancias orgánicas enlazan Cu . Los grupos COO^- forman ligaduras estables con Cu , disminuyendo la concentración de Cu disponible y toxicidad en plantas. El Cu extractable algunas veces llamado disponible se refiere a la cantidad de este elemento que se relaciona estadísticamente con concentraciones absorbidas y asimilada por las plantas.

La disponibilidad de Cu en las plantas se refiere a la facilidad en la cual el ión Cu(II) hexahidratado es absorbido por las plantas en suelos ácidos y como hidróxido de Cu(II) en suelos alcalinos o neutros.

El Cu fue confirmado como un elemento esencial para las plantas desde 1930. Como las diferentes especies de plantas y cultivos acumulan de manera diferente el Cu no es posible dar valores únicos asociados a deficiencia o toxicidad del elemento. El Cu en las plantas funciona como parte del grupo prostético y activador facultativo del sistema enzimático.

El origen del Cu en los suelos se debe principalmente a los compuestos minerales, al uso de fungicidas, insecticidas

y fertilizantes, al depósito atmosférico con partículas cargadas de éste metal por medio de la lluvia así como del riego con aguas residuales.

Pero no siempre ocurre que halla un exceso de Cu en el suelo por los orígenes antes mencionados, ya que estudios recientes indican que en varios países del mundo, en sus suelos de cultivo hay deficiencias de este metal afectando las cosechas en la disminución del tamaño de las frutas y vegetales, bajo valor nutricional, decoloración, etc.

Cuando el contenido total de Cu esta en rango de 25-40 mg/kg los niveles de Cu(II) puede ser tóxico para las plantas superiores cuando el pH del suelo es inferior a 5.5. por lo tanto, para tener Cu disponible el pH óptimo estara entre 6 y 7 para muchos cultivos. (11)

Para un hombre de 70 kg como referencia el balance de Cu en mg/día es: ingiere 3.5 de alimentos y fluidos y 0.02 proviene del aire; pierde 0.05 por orina, 3.4 por heces y menos de 0.5 por otras vías. Se estima que la carga en el cuerpo es de 72 mg (65 mg en tejidos blandos). Un consumo excesivo de Cu causa inmediatamente un sabor metálico, náusea, vómito y en casos severos diarrea. En casos fatales incluye otros efectos como hipertensión, shock y coma. El envenenamiento con Cu causa anemia hemolítica. (12)

El Cu es un elemento esencial, forma parte de varias enzimas importantes, incluyendo la tirosina, aminoxidasa y citocromoxidasa. Esta es esencial en la incorporación de hierro dentro de la hemoglobina. (15)

El Cu se combina con la albúmina y con alfa-globulinceruloplasmina, las cuales sirven como transporte y reguladores de Cu en el cuerpo. El metabolismo del Cu incluye la reutilización de enzimas que lo contienen, y dos enfermedades reflejan los desordenes de su metabolismo. La enfermedad de Menkes como una absorción deficiente y la enfermedad de Wilson que es lo opuesto, es decir, una acumulación excesiva de Cu.

Por otro lado no hay evidencias que el Cu sea un mutágeno ni un carcinógeno. (12)

II.4 FIERRO

Es el elemento más abundante del planeta y el cuarto más abundante en las rocas de la corteza, es único geoquímicamente por su capacidad de formar compuestos estables con S, O y Si.

El Fe está presente en la naturaleza como elemento nativo y con dos estados de oxidación Fe(II) y Fe(III). (8)

Al Fe como elemento se le conoce y se le utiliza desde que aparecieron las primeras civilizaciones. En aleación con carbón se forma el acero que lo hace más tenaz por lo que es uno de los compuestos más utilizados de las civilizaciones modernas con una producción que excede a la de cualquier otro metal combinado.

Entre otros de los principales usos está la formación de compuestos para pigmentos, cintas magnéticas, desinfectantes, curtido, aditivo de combustibles y materiales estructurales (12) en medicina se administra sulfato ferroso generalmente para corregir problemas de anemia microcítica hipocrómica. (16)

El desgaste de los silicatos u óxidos de Fe proporciona principalmente Fe(II) en solución, pero es difícil que permanezca en este estado captándolo el Oxígeno atmosférico y precipitándolo como óxido férrico hidratado.

Un incremento del pH sin oxidación puede proporcionar la precipitación de uno o más compuestos insolubles de Fe(II), siendo las más comunes carbonato, sulfuro o silicatos.

En suelos ricos en materia orgánica, los sólidos y las soluciones del Fe pueden ser reducidos y estar presentes en soluciones del suelo o adsorbido en superficies como Fe(II) o complejos de este ion. A medida que el pH de las soluciones del suelo se eleva, la adsorción se incrementa y la formación de minerales específicos de Fe(II) se hace posible.

Las observaciones experimentales demuestran que el hidróxido ferrico es insoluble y por lo tanto no muy móvil en rangos de pH 4.8 a 6.0.

El Fe se encuentra en suelo en las siguientes formas:

- estructural o relacionado con minerales primarios y secundarios
- precipitado en forma de óxidos e hidróxidos de Fe
- incorporado a la materia orgánica formando quelatos
- adsorbido a los coloides del suelo
- en forma soluble.

La importancia del Fe en las plantas se relaciona con dos hechos relevantes: el Fe es parte del sitio activo de muchas enzimas oxido-reductoras importantes y es esencial para la formación de la clorofila. Además, puede estar involucrado en lípidos lamelares del núcleo, cloroplastos y mitocondrias. (17)

El Fe es un constituyente esencial del cuerpo, ya que es necesario para la formación de la hemoglobina y para procesos oxidativos de los tejidos. El cuerpo contiene cerca de 4.2 a 4.5 g del cual dos terceras partes están presentes en la hemoglobina y el resto almacenado como ferritina y

hemosiderina en el sistema reticuloendotelial (16,18)

El balance de Fe para un hombre de 70 kg como referencia en mg/día es: ingiere 16 de alimentos y fluidos y por aire 0.03; pierde en orina 0.25, en heces 15 y por otras rutas 0.51. Para una mujer de 50 kg como referencia ingiere 12 de alimentos y fluidos y del aire 0.03; pierde 0.2 por orina, 11 en heces y 1.2 por otras rutas entre ellas 0.6 como pérdida menstrual. (19,20)

El Fe se absorbe con dificultad y la mayoría de las personas apenas satisfacen sus necesidades diarias.

Las anemias microcíticas hipocrómicas se pueden dar por cuatro mecanismos fisiopatológicos que involucran al Fe:

- Anemia ferropriva (deficiencia de hierro)
- Anemia atranferrinémica (deficiencia en el transporte de Fe)
- Anemia sideroblástica (defecto de utilización de Fe)
- Anemia de enfermedades crónicas (defecto en la reutilización del Fe)

Por el contrario, la sobrecarga de Fe produce envenenamiento agudo llamado hemosiderosis que cuando se acompaña de lesión tisular con Fe corporal total mayor de 15 g se conoce como hemocromatosis que provoca cirrosis hepática, diabetes sacarina y cardiomiopatía. (21)

II.5 PLOMO

Al Pb como metal se le utiliza desde que se conoce la civilización Euroasiática ya que es un metal muy blando debido a su bajo punto de fusión. Durante el desarrollo del Imperio Romano el Pb adquirió un papel muy importante en su tecnología como material estructural en la construcción de acueductos y sistemas hidráulicos. Se cree que la caída del Imperio se debió a intoxicación saturnina de tipo endémico, debido a que el Pb no es fisiológicamente esencial, sino por el contrario es un metal potencialmente dañino que contamina el medio ambiente ya que éste tiende a acumularse en suelos a causa de su baja solubilidad y su relativa inmunidad a la degradación microbiológica por lo que permanece accesible a la cadena alimenticia y no hay evidencia de que el Pb juegue un rol esencial en el metabolismo humano. (22,23,24)

En la naturaleza se presenta principalmente en dos estados de oxidación Pb(II) y Pb(IV), pero el que más predomina es el ion Pb(II) en el medio ambiente.

El Pb forma aleaciones con otros metales como la relación Pb/Sb para placas de baterías; Pb/Sn usado como soldadura; o bien, combinado con PbO₂ para fabricar placas de acumuladores. Otros compuestos inorgánicos son usados extensamente como pintura de asfaltos, pigmentos que contienen óxidos de Pb, así como barniz para cerámica. (11) El uso de compuestos orgánicos con Pb(IV) especialmente los tetra-alquilo y los tetra-arilo de Pb para gasolina ha

disminuido considerablemente por ser un factor potencial de contaminación del medio ambiente. (12)

El Pb alcanza los suelos y la cubierta de las plantas como un depósito aéreo y durante la precipitación, irrigación, drenaje de minas o como polvo que vuela de un lugar a otro. Más aún, el Pb algunas veces es adicionado al suelo como pesticida.

Como es el caso para cualquier contaminante, la concentración de Pb en el suelo disminuye con la distancia de la fuente, densidad del tráfico de vehículos, dirección del viento y profundidad del perfil del suelo.

Las evidencias técnicas confirman que el Pb adyacente a los caminos así como la mayor parte del Pb aéreo, se origina de la gasolina que contiene Pb.

El Pb contaminante que alcanza el suelo desde diversas fuentes entra a un nuevo ciclo de procesos que pueden alterar su disponibilidad para las plantas. Así, el Pb recientemente emitido de la combustión de la gasolina se asocia fundamentalmente con haluros y es relativamente soluble para que lo incorpore la planta. Con el tiempo es convertido a una entidad menos soluble probablemente debido a la pérdida de haluros y a la asociación con sulfatos, carbonatos y fosfatos, así como con la materia orgánica del suelo. (8)

De estudios estadísticos se concluyó que niveles altos de pH y Capacidad de Intercambio Catiónico ayudaban a la inmovilización de Pb, pero la materia orgánica fue más importante en los procesos de precipitación. (11)

Los autores Santillan-Medrano concluyeron que la solubilidad del Pb en suelos no calcáreos fue regulado como hidróxido de plomo (II), fosfato de plomo (II), hidróxi fosfato de plomo (II) y en suelos calcáreos fue regulado como carbonato de plomo (II). En suelos ácidos el Pb fue encontrado principalmente en forma catiónica y una parte como complejos orgánicos. En suelos calcáreos dominaron los complejos orgánicos junto con algo de especies de Pb catiónico. (24)

Dos vías estan disponibles para la entrada de Pb a la planta: la captación por las raices y la captación de las hojas aunque es difícil obtener evidencias críticas sobre la absorción foliar de Pb. (8)

La larga permanencia del Pb en el suelo es la principal forma de acumulación del metal pero afortunadamente su solubilidad, movilidad y biodisponibilidad son bajas. (11)

El Pb entra al hombre por inhalación e ingestión. Absorbido y transportado por la sangre, es acumulado en el hígado, riñones y huesos hasta aproximadamente la quinta década de su vida. También se presenta en los intestinos pácreas y pulmones. Aproximadamente un 90% de la carga de Pb en el cuerpo se encuentra en los huesos especialmente en los dientes. A nivel celular, el Pb, se encuentra en el nucleo, mitocondrias y microsomas. (8)

De acuerdo con Snyder el balance de Pb para un hombre de 70 kg como referencia en mg/día es: ingiere 0.44 de alimentos y fluidos y 0.01 del aire; pierde 0.045 por orina, 0.3 por

heces y 0.1 por otras rutas. La carga total en el cuerpo se estima de 100 a 400 mg y ésta se incrementa con la edad. (19)

Se considera que el contenido de Pb de la leche representa una medida íntegra de la exposición de la vaca al Pb ambiental. (8)

Las fuentes de "dosis altas" de Pb son: contaminación de alimentos y bebidas ácidas (como jugos de frutas y verduras o bebidas de cola), por almacenamiento de alimentos en recipientes de cerámica vidriados con Pb cocidos a bajas temperaturas, medicamentos que contienen Pb, inhalación de humos de gasolina con Pb. Las fuentes de "dosis bajas" de Pb principalmente polvo y suelos contaminados se relaciona mayormente con la absorción asintomática de los niños.

El envenenamiento por Pb (conocido como saturnismo) es un trastorno crónico indicado en ocasiones por episodios sintomáticos agudos frecuentes que pueden causar efectos irreversibles crónicos, por ejemplo, déficit intelectual en niños, y enfermedad renal progresiva en adultos. (21)

Además se ha llegado a reportar signos como fatiga y constipación seguido por cólicos, anemia y neuritis. Ocasionalmente encefalopatía, caracterizada por vómito, apatía, estupor, ataxia, hiperactividad y otros signos y síntomas neurológicos.

Los efectos clásicos por envenenamiento crónico con Pb son pérdida de apetito, sabor metálico, constipación, anemia, insomnio, irritabilidad, dolor muscular, encefalopatía y cólicos. (12)

II.6 ZINC

El Zn es un elemento traza esencial para los humanos, plantas superiores y animales. (11) Se estima que las concentraciones de Zn en la corteza terrestre va de 5 a 200 ppm. La cantidad de Zn en el suelo se distribuye en fracciones distintas clasificadas en cinco grupos:

- soluble en agua (la fracción se presenta en solución en el suelo)
- intercambiable (los iones se enlazan a las partículas del suelo por cargas eléctricas)
- adsorbido o formando complejos (ligado a sustancias orgánicas)
- formando oxidos metálicos insolubles

Solo estas fracciones que son solubles o pueden ser solubilizadas son biodisponibles. Por lo tanto es importante distinguir entre la cantidad total y las cantidades, las cuales pueden ser transferidas a más formas solubles. (8)

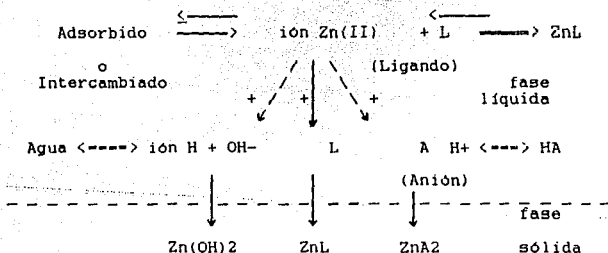
El mayor uso del Zn incluye el recubrimiento para protección de Fe y acero en el proceso de galvanizado, también como ingrediente de aleaciones, como protector en el recubrimiento de otros metales para prevenir la corrosión, para aparatos eléctricos especialmente para celdas de baterías secas, materiales de construcción, recubrimiento de carros de ferrocarril, equipo automotriz, en la purificación de grasas, como reactivo analítico, etc. (9)

La química del Zn es más simple que la de otros metales

por el hecho de que muestra únicamente una valencia en materiales naturales. (8)

El ión Zn(II) es la forma en que lo absorbe la planta por las raíces, pero el Zn hidratado y varias formas de complejos de Zn y quelatos orgánicos también pueden ser absorbidos.

La siguiente figura muestra las diferentes posibilidades de almacenamiento de Zn en el suelo



Una cantidad de factores afectan la disponibilidad de Zn en suelo tal como, contenido total, pH, materia orgánica, sitios de adsorción, actividad microbiana, humedad, condiciones climáticas e interferencias entre el Zn y otros macro y micronutrientes. En general, el efecto de diferentes suelos y otros factores sobre la disponibilidad de Zn puede resumirse de la siguiente manera:

-En suelos ácidos muy lixiviados los niveles de Zn total pueden ser muy bajos, resultando baja su disponibilidad.

-La disponibilidad de Zn decrece al incrementarse los valores de pH del suelo, debido a su baja solubilidad y al incremento de adsorción de Zn por partículas coloidales del suelo cargadas negativamente

-En suelos con bajo contenido de materia orgánica, afecta directamente la disponibilidad de Zn por el contenido de complejos orgánicos

-Los altos niveles de P disminuyen la disponibilidad de Zn

-La interacción con otros micronutrientes como Fe, Cu, N, y Ca también disminuyen la disponibilidad de Zn

El Zn en las plantas actúa de dos maneras: como componente de enzimas o como factor en la regulación de un buen número de enzimas. Existen cuatro enzimas que tienen enlazado al Zn, como la anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, Cu-Zn superóxido dismutasa y la RNA polimerasa. Como el Zn también se involucra en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, se requiere para la síntesis de triptófano.

De acuerdo a las concentraciones de Zn en hojas maduras se puede hacer la siguiente clasificación:

-deficiente, si hay menos de 10-20 mg/kg de materia seca

-suficiente o normal entre 25-150 mg/kg

-excesivo o tóxico si hay más de 400 mg/kg. (11)

El Zn es un elemento esencial en la nutrición y trazas de éste están presentes en muchos alimentos, es un constituyente de varios sistemas enzimáticos, incluyendo la anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa y fosfatasa

alcalina, además esta presente con la insulina del páncreas.

(18)

El contenido de Zn en el cuerpo para un hombre adulto es estimada de 1.4 a 3 g. Para un hombre de 70 kg como referencia se tiene el siguiente balance en mg/día: ingiere de alimentos y fluidos 13 y del aire menos de 0.1. pierde por orina 0.5, por heces 11, por sudor 0.78, por pelo 0.03 y por otras rutas 1. (19)

Una ingesta diaria de 15 a 20 mg de Zn puede ser recomendada pero ésta no puede llevarse a cabo con dietas altas en carbohidratos o proteína vegetal.

Los efectos reportados debido a la deficiencia incluyen, retraso en la pubertad, enanismo hipogonadal, pérdida de apetito, lesiones en la piel, depresión de inmunocompetencia y cambios en el sabor. (18)

El Zn como ión es escasamente absorbido pero las sales ácidas son corrosivas a la piel y tracto gastrointestinal. La ingestión de 2 g o más produce síntomas tóxicos.

El agua almacenada en tinacos galvanizados puede producir envenenamiento y después de 3 a 12 horas de la ingestión se presenta fiebre, náuseas, vómito y diarrea. (12)

Todos estos elementos se cuantificaron por la técnica de Absorción Atómica que se basa en la medida de la radiación electromagnética absorbida por átomos del elemento a cuantificar. En el análisis de Absorción Atómica el elemento

a cuantificar debe ser introducido a la celda de la muestra como átomos libres y neutros. a través de la celda pasa el haz de luz de radiación que va a absorber la muestra. El átomo de cualquier elemento contiene un número determinado de electrones, que se encuentran distribuidos en los orbitales atómicos de acuerdo a la configuración electrónica. La energía más baja corresponde a la configuración electrónica más estable, en el cual los electrones están en los orbitales que les corresponde y se conoce como ESTADO BASAL, cuando el átomo absorbe energía un electrón de algún orbital puede ser promovido a un orbital más alejado del núcleo y pasar al ESTADO EXCITADO, este estado es de alta energía, es inestable y el electrón retorna espontáneamente a su orbital original o Estado Basal emitiendo energía. se hace notar que la energía absorbida involucra la Espectrofotometría de Absorción y el paso de decaimiento o retorno al estado basal involucra la Espectrofotometría de Emisión.

La técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica ofrece un medio sensible y específico para el análisis de casi todos los elementos de la tabla periódica, excepto para gases nobles, elementos radiactivos, halógenos y algunos elementos no metálicos. (26)

II.7 ANTECEDENTES FISICOS, HISTORICOS Y SOCIOECONOMICOS DEL DDR 063 EN EL VALLE DEL MEZQUITAL.HGO.

EL MEDIO FISICO. El Distrito de Desarrollo Rural 063 se encuentra a 109 km al norte de la Ciudad de Mexico en el Valle del Mezquital; localizándose al suroeste del Estado de Hidalgo, entre las latitudes Norte de 20° 31' 30" y 19° 54' 14" y las longitudes Oeste de 99° 13' 06" y 99° 20' 29". El Valle del Mezquital esta formado por una serie de valles interconectados, cuyos rios son afluentes del río Tula. Toda la zona geológicamente esta constituida por formaciones del Terciario Superior y Cuaternario con intrusiones de calizas del Cretasico. El clima de Mixquiahuala es representativo de área. La temperatura media anual es de 17.4° y la precipitación es en verano y principios de otoño, con medias anuales de 502 mm. La aridez climática ha favorecido la presencia de una vegetación natural de matorral xerófilo de distintos tipos, incluyendo mezquites. Actualmente gran parte de esta vegetación ha desaparecido en las partes bajas debido a la introducción de riego.

ANTECEDENTES HISTORICOS. La evidencia arqueológica en el Valle del Mezquital, indica que existió agricultura antes de la época colonial, usándose técnicas de chinampa. Con la llegada de los españoles en el siglo XVI se extendió el cultivo del maguey, además se introdujo la ganaderia, con lo que se aceleró la destrucción de la vegetación original.

En el Valle del Mezquital hubo pocas obras hidráulicas importantes, anteriores al siglo XIX, con la excepción del Tajo de Nochistongo, que fue originalmente un socavón de 8.6 km de largo contruido en 1607 y terminado solo hasta 1789. Este tajo respondía a la necesidad de prevenir las inundaciones que amenazaban a la Ciudad de México. El tajo de Nochistongo sirvió para desviar las aguas del río Cuautitlán hacia el río El Salto, afluente del Tula. Las inundaciones disminuyeron pero no quedó resuelto el problema y solo hasta 1886 se inició la excavación del túnel de 10 km. de largo, obra terminada en 1900, año a partir del cual se inicia el riego sistemático con aguas negras en el Valle del Mezquital. Las aguas negras eran conducidas por el Gran Canal de Desagüe, el cual tiene una longitud de 47.5 km y desemboca en el río El Salado, afluente del Tula. En 1937 el presidente Cárdenas, debido al peligro de derrumbes en el túnel de Tequisquiac, ordenó la excavación de un nuevo túnel de 11 km de largo y capacidad de 56.9 m³/s. A pesar de esto persistían las inundaciones; fue solo hasta 1967 que desaparecen, cuando se inicia la construcción del Emisor Central que fue terminado en 1975. Este ducto de 68 km y capacidad de 220 m³/s colecta el agua excedente de distintas partes de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Así entre 1900 y 1926 había 14 000 hectáreas, de 1926 a 1950 el área se duplicó, mientras que entre 1950 y 1965 el área alcanzó las 42 460 hectáreas. En la actualidad el Distrito de Desarrollo Rural 063 alcanza cerca de 100 000

hectáreas de riego, formado por los antiguos distritos de riego 03 de Tula, el 100 de Alfajayucan y el 27 de Ixmiquilpan. Las presas en la zona de estudio, datan de distintas épocas. La más antigua es la de Taxshimay inaugurada en 1912; la Requena en 1919 y la presa Endhó en 1947. Más recientemente son las presas Vicente Guerrero y la Rojo Gómez que, junto con la presa Endhó, almacenan aguas negras. Las presas Taxshimay y Requena almacenan aguas blancas, aunque algo contaminadas por las descargas municipales de los poblados aledaños.

ANTECEDENTES SOCIOECONOMICOS. La agricultura es muy importante porque es la fuente de ingresos de la mayor parte de la población. Los productos dominantes son la alfalfa y el maíz, ambos cubren un 72.3% del área de riego. Las hortalizas ocupan el tercer lugar. Por razones sanitarias esta prohibido cultivar aquellas hortalizas que tienen un contacto directo con el suelo. Desde el punto de vista socioeconómico esta zona destaca por un gran desequilibrio. Tula es el municipio que presenta más marcada esta peculiaridad; debido a su industria petroquímica que sobrepasa el valor de la producción agrícola, industrial y de servicios en el Valle del Mezquital.(1)

III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los primeros riegos con aguas negras utilizadas en el Valle del Mezquital datan de principios de siglo, para lo cual se emplearon las aguas residuales procedentes de la cuenca del Valle de México. Sin embargo, estas aguas, que originalmente llevaban desechos orgánicos, se volvieron cada vez más complejas, debido principalmente a su alto contenido en metales pesados, como resultado de la industrialización y explosión demográfica que ocurrió a partir de la década de los sesenta. (28) Debido a que en la actualidad el costo de agua potable es cada vez mayor, se da la necesidad de usar continuamente las aguas residuales con fines de riego agrícola, pero aunado al beneficio que pueda aportar, trae consigo el daño ocasionado por la acumulación de contaminantes en el suelo, que pueden ser incorporados a los cultivos, afectando la cadena natural suelo-planta-hombre, alterando propiedades del suelo y desarrollo de las plantas. (29,30,32) En México la superficie actual bajo riego con aguas residuales es aproximadamente 156 000 hectáreas, de las cuales cabe resaltar por su importancia agrícola, en el Distrito de Desarrollo Rural 063 en el Valle del Mezquital, Hgo. donde actualmente se riegan 85 000 ha aproximadamente, con aguas residuales provenientes principalmente del D.F. (31). Por lo anterior se ha planteado evaluar metales pesados como contaminantes en aguas residuales y suelo del Distrito de Riego 063 empleando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

IV OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los grados de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn, Fe) en aguas residuales procedentes del Distrito Federal y área conurbada y en suelo de uso agrícola, en el Distrito de Desarrollo Rural 063 en el Valle del Mezquital en el Edo. de Hidalgo.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Evaluar la concentración de metales pesados (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn, Fe) en aguas residuales para uso agrícola
- 2.- Evaluar las concentración de metales pesados (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn, Fe) en suelos destinados a la agricultura
- 3.- Evaluar algunos parámetros físicos y químicos que determinen la biodisponibilidad de metales pesados en suelos
- 4.- Comparar los datos experimentales con resultados obtenidos anteriormente por varios autores.

V HIPOTESIS

La Ciudad de México, es la ciudad más poblada del mundo y una de las más contaminadas. Sus desechos líquidos se vierten a grandes colectores que arrastran gran cantidad de agentes contaminantes provenientes de la misma ciudad, así como de las zonas conurbadas, y cuyo caudal termina en regiones destinadas al cultivo.

Por lo tanto, si las aguas negras presentan elevadas concentraciones de metales pesados, entonces en los suelos agrícolas se encontrarán cantidades apreciables de estos contaminantes.

VI MATERIAL Y EQUIPO

MATERIAL

Vidrios de reloj

Embudos tallo largo

Embudo Büchner

Matraz Kitasato de 500ml. PYREX

Pipetas graduadas (varias capacidades)

Pipetas volumétricas (varias capacidades)

Bureta graduada de 25ml.

Termómetro con graduación de -20°C a 200°C

Vasos de precipitados de 50ml. PYREX

Vasos de precipitados de 100ml. PYREX

Vasos de precipitados de 250ml. PYREX

Matraces Erlenmeyer de 250ml. PYREX

Matraces aforados de 50ml. PYREX

Matraces aforados de 100ml. PYREX

Matraces aforados de 1000ml. PYREX

Mortero con pistilo

Papel filtro poro mediano

Soporte universal con anillo

EQUIPO

Balanza Granataria, Ohaus, 27

Balanza Analítica, Mettler, 200

Estufa Analítica, Precisa, 100

Potenciómetro, Corning, 7

Conductímetro, YSI, 35

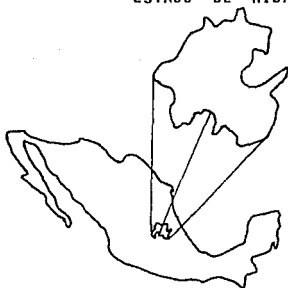
Espectrofotómetro de absorción atómica, PYE UNICAM SP-192

VII METODOLOGIA

TOMA DE MUESTRA.- La toma de muestra se realizó en 19 sitios diferentes de la región bajo estudio al azar y sin remplazo a principios de primavera de 1992 a una profundidad de 0-30 cm. con herramientas de plástico, colectándose aproximadamente 500 g en bolsas de polietileno debidamente identificadas. La muestra de agua se tomó sumergiendo el envase de plástico directamente de los canales. Para la determinación de metales se adiciono 3 ml de HNO_3 concentrado por litro de muestra.

A los lugares muestreados se les asigno un número tanto a suelo como a agua. A continuación se indican los lugares y su localización.

ESTADO DE HIDALGO



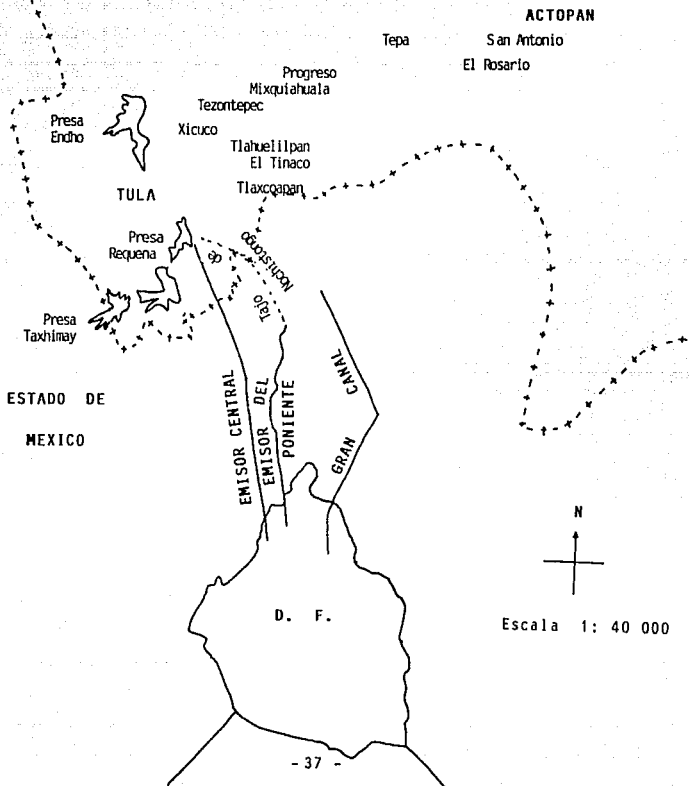
SITIOS MUESTREADOS DE SUELO

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| 1. MIXQUIAHUALA (MANGAS) | 11. PROGRESO |
| 2. MIXQUIAHUALA (POZOS) | 12. DOS CERRITOS |
| 3. TEZONTEPEC (TINACOS) | 13. TEPA |
| 4. TLAHUELILPAN | 14. LINDEROS |
| 5. TEZONTEPEC (XICUCO) | 15. ROSARIO |
| 6. TLAHUELILPAN (SALIDA A TULA) | 16. SAN ANTONIO |
| 7. TLAXCOAPA (TETEPANGO) | 17. ACTOPAN |
| 8. TLAXCOAPA | |
| 9. RANCHO EL TECOLOTE | |
| 10. DOXEY | |

SITIOS MUESTREADOS DE AGUA

- A-1. MIXQUIAHUALA
- A-2. TEZONTEPEC
- A-3. TLAXCOAPA
- A-4. TLAHUELILPAN (SALIDA A TULA)
- A-5. TLAXCOAPA (TETEPANGO)
- A-6. TEZONTEPEC (TINACO)
- A-7. TLAHUELILPAN
- A-8. DOXEY
- A-9. MIXQUIAHUALA (CENTRO)
- A-10. PROGRESO
- A-11. TEPA

ESTADO DE HIDALGO



pH: Esta determinación se realizó tanto en aguas de riego como a suelos. El pH en agua se tomó en el mismo lugar de muestreo. El pH en suelo se determinó en una muestra seca a una relación 1:1 con agua desionizada.

HUMEDAD: Se calculó por diferencia de pesadas entre una muestra de suelo húmeda y seca después de depositarla en una estufa analítica a 100° C por 24 hr.

CONDUCTIVIDAD: La conductividad se determinó solamente en una solución de suelo a partir de una pasta hecha con agua desionizada al punto de saturación y filtrada a través de papel filtro de poro mediano mediante el uso de vacío.

MATERIA ORGANICA: El porcentaje de materia orgánica (% M.O.) en suelos se determinó por el método de vía húmeda que se basa en una reacción parcial con un agente oxidante.

Se pesaron 0.25 g de muestra pasados por malla 80 a un vaso de precipitados de 250 ml. se añaden 5 ml de dicromato de potasio 1 N y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado agitándose por un minuto y dejándose reposar por 30 minutos.

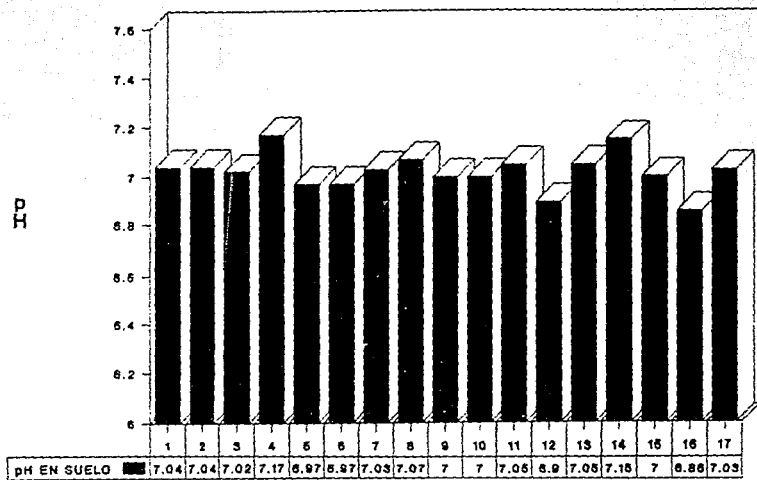
Se añaden 100 ml de agua desionizada y se titula potenciométricamente con sulfato ferroso 1 N. Hacer la determinación de un blanco y obtener el % M.O.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL (CICT): Se pesaron 5 g de muestra de suelo y se mezclaron con 25 ml de acetato de sodio 1 N a pH de 8.2 dejándose reposar por 24 hr. Se filtra a través de papel filtro poro mediano y se hacen dos lavados con porciones de 10 ml de la disolución anterior. Se retira el exceso de acetato de sodio con lavados de dos

porciones de 10 ml de etanol absoluto y al sólido se le añade 25 ml de acetato de amonio 1 N a pH de 7, se agita y se deja reposar por 24 hr, se filtra a través de papel filtro poro mediano y se hacen dos lavados de 10 ml con el mismo acetato de amonio. El filtrado se afora a 50 ml con agua desionizada para la determinación de sodio y por lo tanto la C.I.C.T. utilizando la técnica de emisión atómica.

METALES PESADOS.— Se pesaron 5 g de muestra de suelo y se le añade 25 ml de acetato de amonio 1 N a pH de 7 y se deja reposar por 24 hr. Se filtra a través de papel filtro poro mediano y se hacen dos lavados con porciones de 10 ml con la misma disolución y se afora a 50 ml, determinandose su concentración por la técnica de absorción atómica.

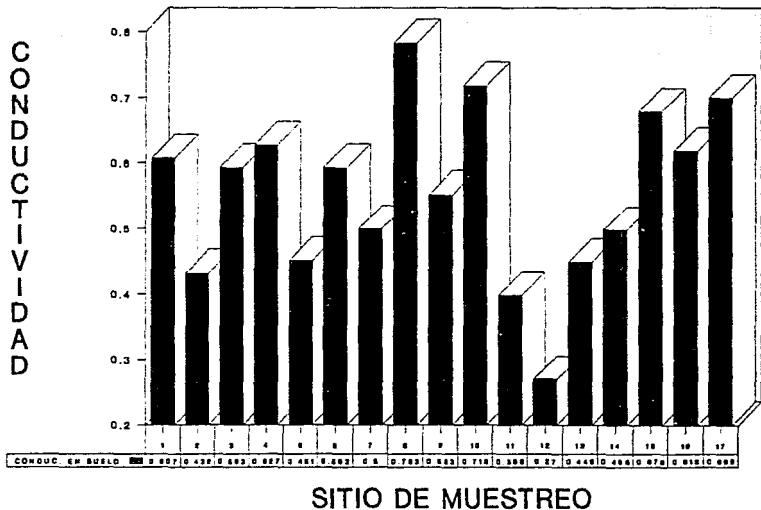
pH EN SUELO



GRAFICA 1

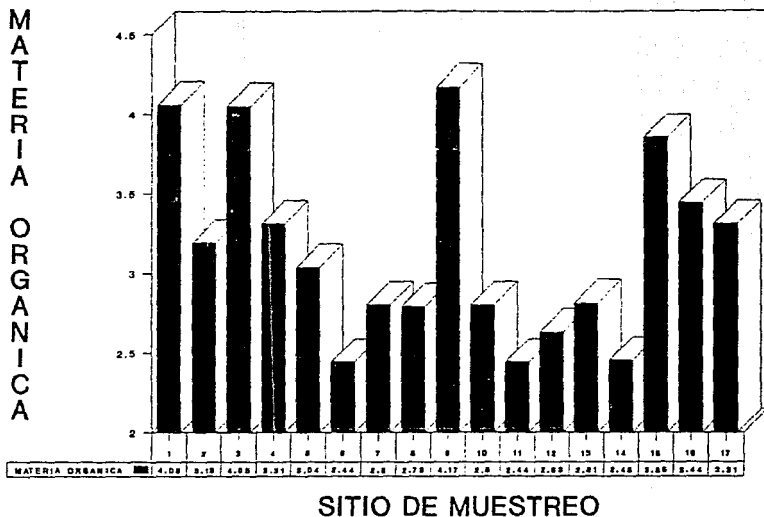
SITIO DE MUESTREO

CONDUCTIVIDAD EN SUELO



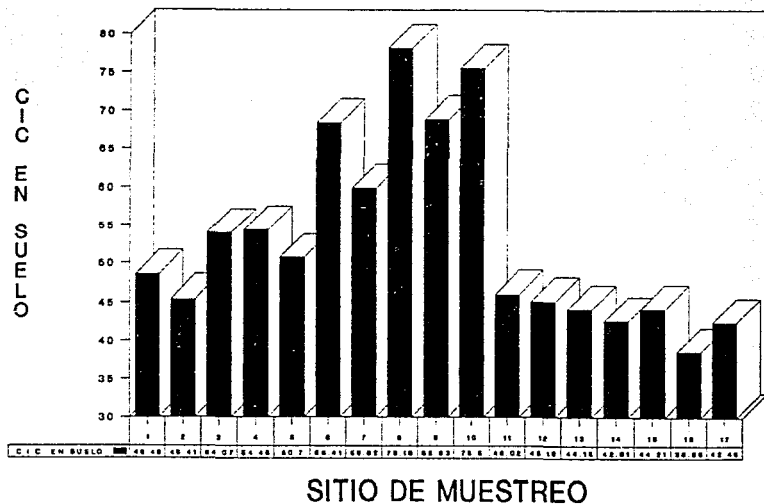
GRAFICA 2

MATERIA ORGANICA EN SUELO



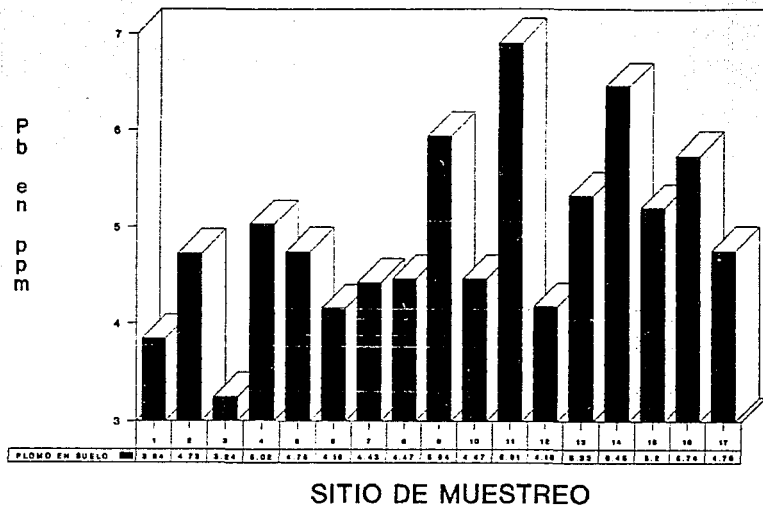
GRAFICA 3

C.I.C. EN SUELO



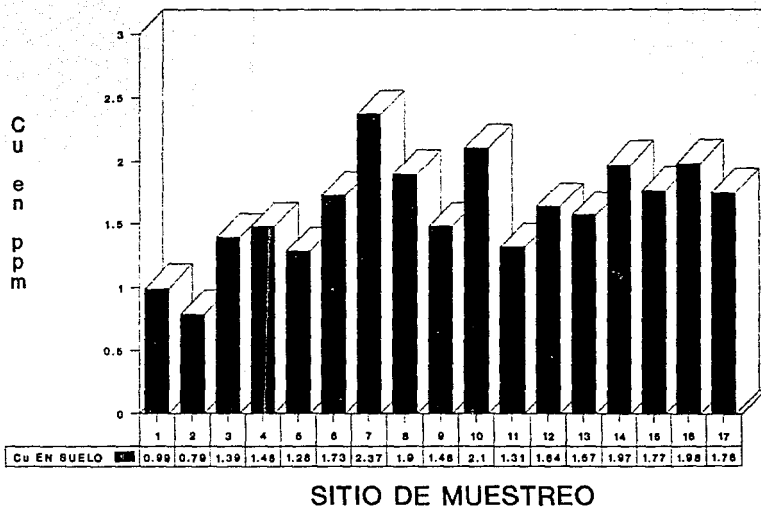
GRAFICA 4

PLOMO EN SUELO



GRAFICA 5

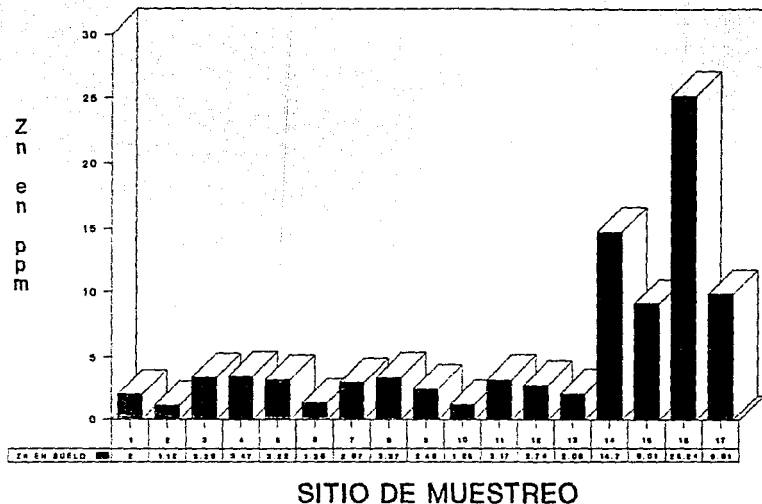
COBRE EN SUELO



- 45 -

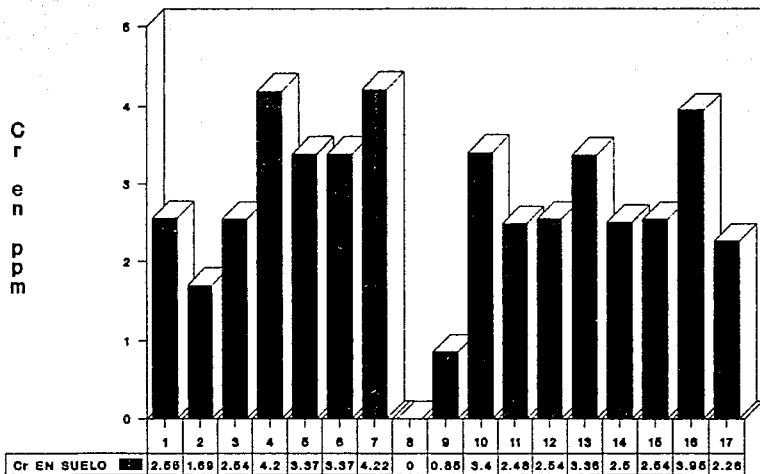
GRAFICA 6

ZINC EN SUELO



GRAFICA 7

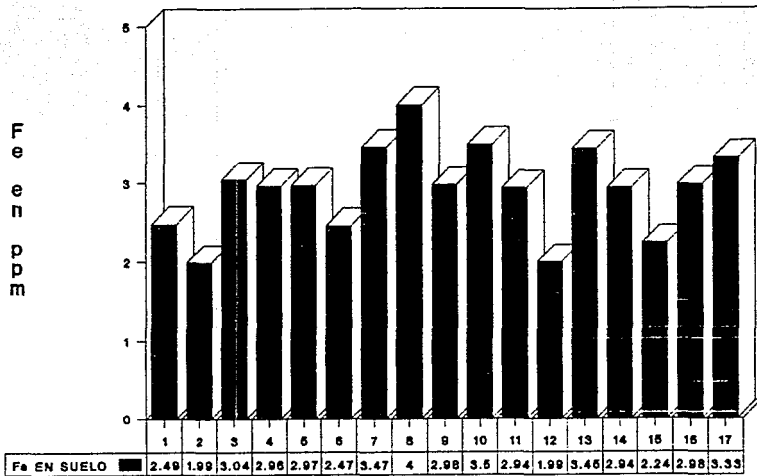
CROMO EN SUELO



GRAFICA 8

SITIO DE MUESTREO

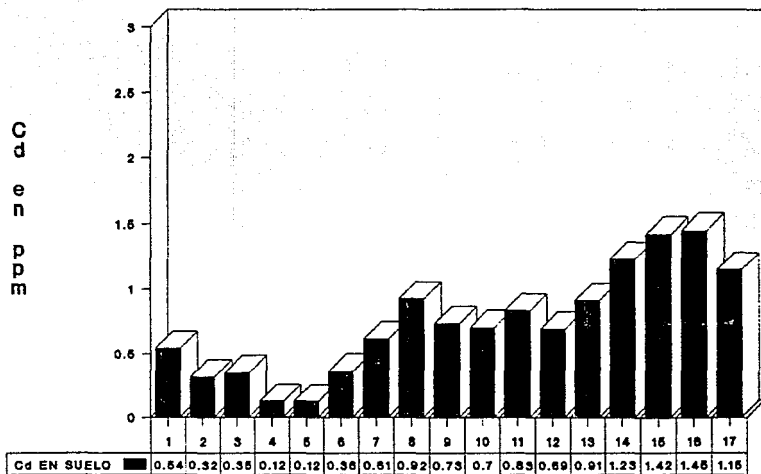
FIERRO EN SUELO



GRAFICA 9

SITIO DE MUESTREO

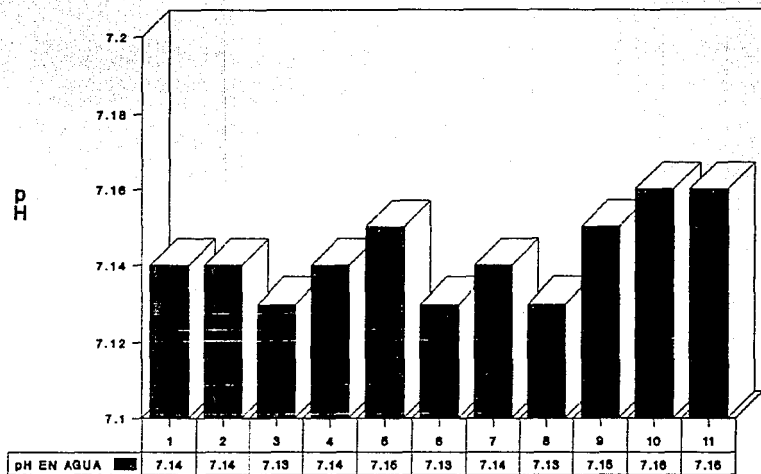
CADMIO EN SUELO



GRAFICA 10

SITIO DE MUESTREO

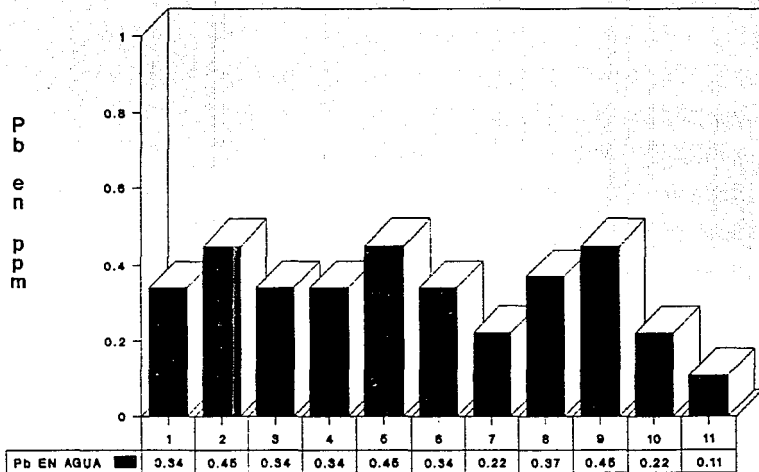
pH EN AGUA



GRAFICA 11

SITIO DE MUESTREO

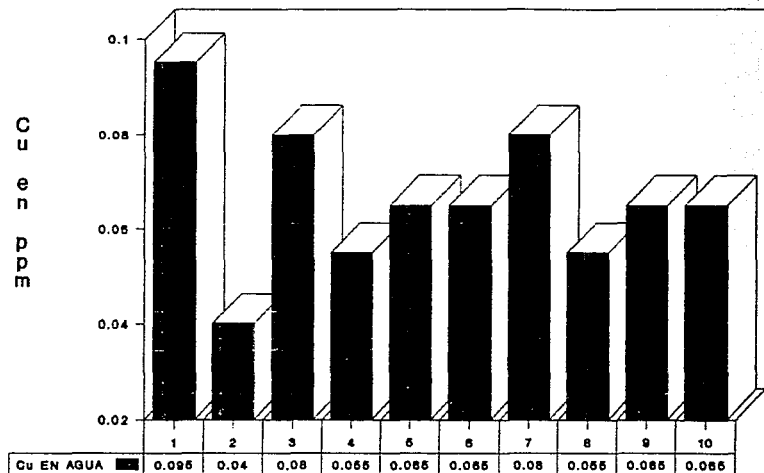
PLOMO EN AGUA



GRAFICA 12

SITIO DE MUESTREO

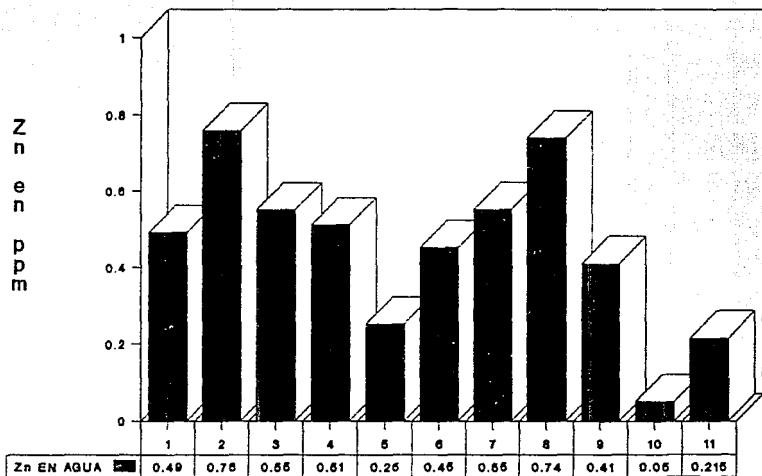
COBRE EN AGUA



GRAFICA 13

SITIO DE MUESTREO

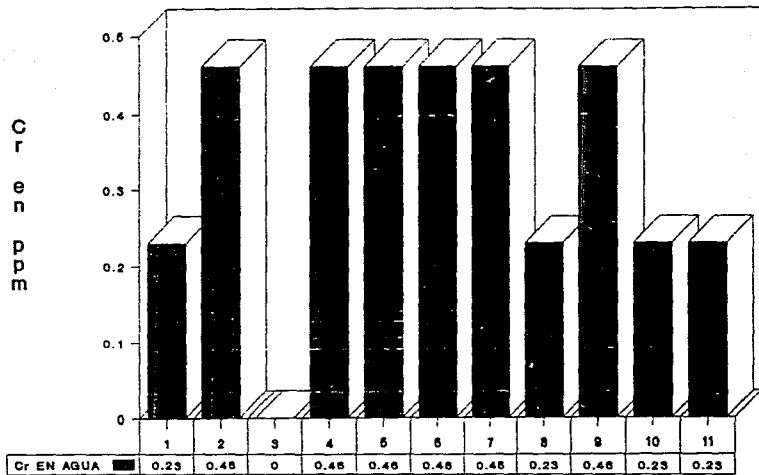
ZINC EN AGUA



GRAFICA 14

SITIO DE MUESTREO

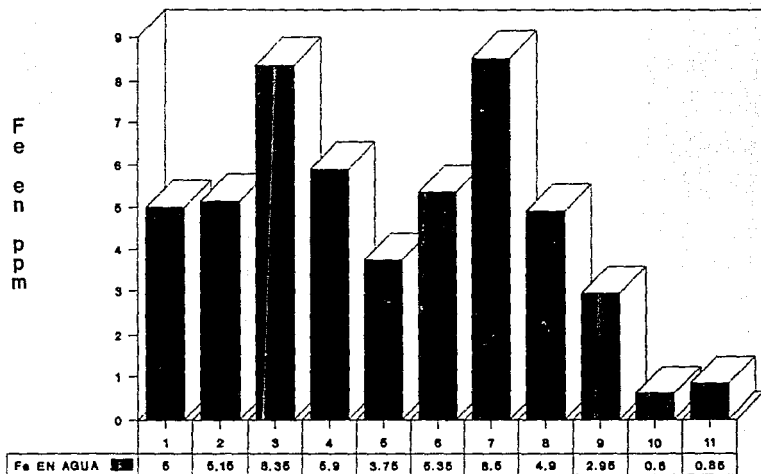
CROMO EN AGUA



GRAFICA 15

SITIO DE MUESTREO

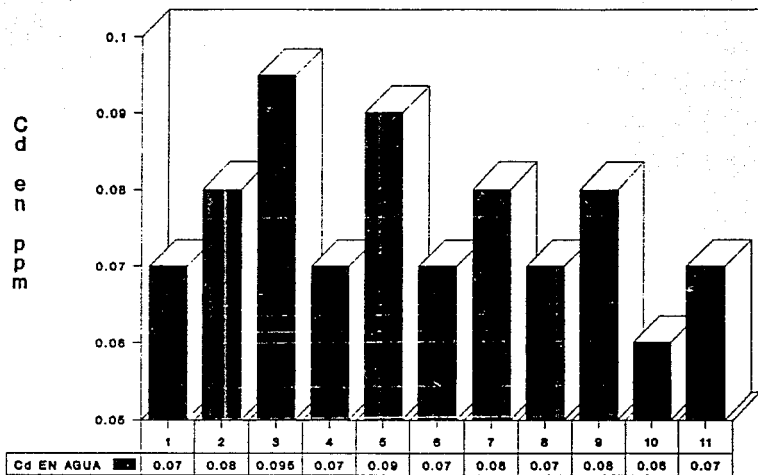
FIERRO EN AGUA



GRAFICA 16

SITIO DE MUESTREO

CADMIO EN AGUA



GRAFICA 17

SITIO DE MUESTREO

IX DISCUSION DE RESULTADOS

La toma de muestra se realizó al inicio de primavera antes de la temporada de lluvia.

El muestreo de suelo se llevó a cabo con herramientas de plástico con el fin de evitar el depósito de metales por el uso de herramientas metálicas y llegaron a alterar los resultados.

El muestreo de agua se realizó tomando la muestra en recipientes de plástico limpios con el conservador adecuado.

La lectura de pH en agua debe determinarse de inmediato. De no tomar la lectura en el lugar de muestreo, existe la alternativa de llenar el recipiente a su máxima capacidad, taparlo herméticamente y determinar éste parámetro en un plazo máximo de seis horas ya que la acción microbiana puede alterar su valor. Posterior a esto se adicionan 3 ml. de ácido nítrico concentrado por litro para su conservación y posterior análisis de metales pesados.

El pH en suelos se determinó en una relación 1:1. Tanto en la toma de pH de agua como en la de suelo el equipo se ajustó a la temperatura correspondiente y con buffers a pH de 4 y pH de 7.

El rango de los valores de pH en suelo están alrededor de la neutralidad lo mismo que los valores de pH en agua aunque con ligera tendencia a la alcalinidad ya que se trata de suelos de origen tipo calizo.

La conductividad se determinó en una muestra de suelo con agua desionizada al punto de saturación la cual se reconoce por las siguientes características:

- pasta brillante.
- la pasta no es rígida, resbala libre y limpiamente de recipiente cuando este se inclina.
- no queda agua libre, es decir, no se forma una capa de agua por encima de la pasta.
- de ser así se puede corregir agregando más muestra seca.

Conocidas estas características se extrae la fase líquida mediante filtración al vacío por medio de papel filtro y un embudo Büchner. Al líquido resultante se le determina la conductividad a 25°C y el resultado se multiplica por dos según el procedimiento del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (34)

Por lo que respecta a la materia orgánica se siguió el método de vía húmeda por titulación potenciométrica el cual determina carbono orgánico, pero existe una estimación estadística asumiendo que el porcentaje de carbono en materia orgánica es de 58 % y con esta relación se obtiene el porcentaje de materia orgánica.

La titulación potenciométrica determina con mayor precisión el punto final comparando con una titulación colorimétrica ya que el vire es dudoso cuando se usa un indicador oxido-reductor. (39)

La Capacidad de Intercambio Cationico se realizó por método de extracción el cual se desplaza a todos los cationes intercambiables por sodio y éste a su vez es desplazado por acetato de amonio, para determinar su concentración por emisión atómica la cual es equivalente a la concentración de cationes intercambiables que se reportan en meq. por 100 g.

Para la determinación de metales pesados, solo reportaremos los extractables ya que son los que quedan disponibles para ser absorbidos por las plantas dependiendo de concentraciones de pH, conductividad, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, humedad, etc.

El método utilizado se basa en el desplazamiento de los metales por acetato de amonio determinandose su concentración por absorción atómica.

Ahora analizaremos cada uno de los parámetros que pueden afectar la disponibilidad de metales pesados en suelo y compararemos nuestros resultados con trabajos de otros autores en años anteriores.

Con los valores de pH cuyo rango va de 6.96 a 7.07, es decir, no pasa de ± 0.2 unidades alrededor de la neutralidad sin que exista una tendencia clara hacia la acidez o la alcalinidad. El origen de los suelos es de tipo calizo por lo que se esperaban valores alrededor de pH de 8 como lo describen los autores Coll, M.J. 1987 (5) y Flores, D.L. 1988 (40), aunque cabe mencionar que este autor describe valores de pH que van de 6.1 a 8.3.

Observando nuestros resultados tenemos que el valor más

elevado corresponde al sitio de Tlahuelilpan con pH de 7.175 y le siguen los sitios Linderos, Tlaxcoapa, Progreso, Tepa, Mixquiahuala (Pozos) y Mixquiahuala (Mangas) con valores de 7.15, 7.07, 7.05, 7.05, 7.045 y 7.04 respectivamente. El valor más bajo se localiza en el sitio San Antonio con pH de 6.86. Recordemos que el pH es un factor importante que determina la disponibilidad de metales ya que valores elevados en general ayuda a la precipitación de éstos.

Para materia orgánica el rango que reportamos va de 2.73 a 3.56% lo cual clasifica a éstos suelos como medianamente ricos en M.O.

En general nuestros resultados se encuentran por arriba de los descritos por Collí, M.J. 1987 (5) y Flores, D.L. 1988 (40) con rangos que van de 1.2 a 2.7 y 1.74 a 4.15 respectivamente. Al comparar los tres resultados se advierte que existe una tendencia acumulativa debido probablemente al aumento, por una parte de la utilización de abono orgánico y por otro lado, aunque en menor cantidad, de desechos orgánicos en el agua utilizada para riego.

Analizando los resultados observamos que el sitio con mayor porcentaje de materia orgánica corresponde al sitio de Rancho El Tecolote con un valor de 4.17 % seguido de los sitios Mixquiahuala (Mangas) y Tezontepec (Tinacos) con valores de 4.065 y 4.05 % respectivamente.

El sitio con menor porcentaje lo ocupa Tlahuelilpan (salida a Tula) con 2.44 %. Hacemos incapie que valores elevados de materia orgánica disminuyen la disponibilidad de metales pesados debido a la formación de quelatos y otros

complejos orgánicos.

Por otra parte la C.I.C. reporta un rango que va de 44.58 a 62.12 meq/100 g que comparado con los resultados de Collí, M.J. 1987 y Flores, D.L. 1988 describen rangos de 17 a 56 y 17.7 a 55.2. este último con media de 35.77 meq/100 g respectivamente. Como puede advertirse hay una tendencia al aumento que puede deberse a un aumento de cationes procedentes de diversos desechos orgánicos e inorgánicos contenidos en las aguas utilizadas para el riego. Al revisar nuestra tabla de resultados vemos que el sitio de Tlaxcoapan tiene el valor mas elevado con 78.16 meq/100 g seguido de los sitios: Doxey, Rancho el Tecolote, Tlahuelilpan y Tezontepec (Tinacos) con 75.5, 68.83, 54.45 y 54.07 meq/100 g respectivamente. En contrapunto el valor más bajo lo encontramos en San Antonio con 38.55 meq/100 g recordando que en este mismo lugar reporta el valor más bajo de pH. Con ambos parámetros bajos será de esperarse que este sitio presente concentraciones elevadas de metales como veremos más adelante.

El rango que reportamos para conductividad va de 0.4634 a 0.6502 mmho/cm el cual es más amplio que el que describe Collí, M.J. 1987 que va de 0.641 a 0.667 mmho/cm. Pero aun así ambos resultados se encuentran dentro de los límites para clasificarlos como no salinos.

El sitio de Tlaxcoapan es el que reporta el valor más elevado con 0.783 mmho/cm. además este sitio reportó la mayor C.I.C. La conductividad mas baja se sitúa en el sitio

denominado Dos Cerritos con 0.270 mmho/cm. A pesar que éste sitio reporta valores bajos de pH, materia orgánica y C.I.C. no reporta concentraciones elevadas de metales pesados debido probablemente a otros factores que no consideramos.

Por lo que respecta a la humedad no hay referencia de comparación ya que éste parámetro es muy relativo porque estos suelos son de riego y no de temporal. Indicamos que obtuvimos valores de humedad porque requeríamos de muestras secas para determinar pH, materia orgánica y C.I.C. por lo que aprovechamos para obtener este parámetro.

Hasta ahora solo hemos analizado parámetros que pueden influenciar la disponibilidad de metales pesados. En adelante analizaremos las concentraciones de metales y la relación que guardan con los parámetros antes citados.

Considerados como no esenciales son el Pb, Cr y Cd y como esenciales Cu, Fe y Zn. Para el primero de los casos tenemos un rango de 4.25 a 5.58 ppm encontrando la concentración más elevada para Pb en el sitio de Progreso con 6.91 ppm debido en buena parte a que presenta el menor porcentaje de materia orgánica y valores bajos de conductividad y C.I.C.

La concentración más baja se sitúa en Tezontepec (Tinaco) con 3.24 ppm ya que presenta porcentaje elevado de materia orgánica, así como conductividad y C.I.C.

Cabe mencionar que para evaluar la concentraciones de plomo será importante el sitio de muestreo ya que si éste se

encuentra cercano a carreteras muy transitadas probablemente se encuentren valores más elevados debido a depósito aéreo por emisión de humos.

El sitio con mayor concentración de Cr se reporta en Tlaxcoapan (Tetepango) con 4.22 ppm debido a que presenta bajo porcentaje de materia orgánica. El sitio con menor concentración corresponde a Tlaxcoapan con 0.0 ppm ya que presenta la mayor concentración en sales y de cationes intercambiables además de tener uno de los valores de pH más elevados. El rango calculado fue de 1.90 a 3.48 ppm.

Otro de los metales considerados como no esenciales es el Cd que reporta un rango de 0.4389 a 1.0258 ppm. En general encontramos concentraciones bajas ya que la mayor concentración se encuentra en el sitio de San Antonio con 1.45 ppm probablemente por tener los valores más bajos de pH y C.I.C. Le siguen los sitios El Rosario, Linderos y Actopan con 1.42, 1.23 y 1.15 respectivamente.

Los niveles más bajos se reportan en Tlahuelilpan y Tezontepec (Xicuco) ambas con 0.12 ppm en el primer caso encontramos el valor de pH más elevado así como de C.I.C. sucediendo algo similar en el segundo caso.

De los metales esenciales para las plantas se encuentra el Cu y se cree que menos de 2 ppm sugiere una posible deficiencia del metal, sin embargo, se necesitan más datos para establecer correlaciones. (37) El lugar que mayor concentración reporta es Tlaxcoapan (Tetepango) con 2.37 ppm y el que menos tiene esta en Mixquiahuala (Pozos) con 0.79 ppm con lo que podemos decir que hay una deficiencia de Cu por lo anteriormente dicho. El rango calculado para este

parámetro fué de 1.33 a 1.90 ppm.

El Fe es otro de los metales esenciales en donde se encontro un rango de 2.53 a 3.31 ppm y cuya concentración más elevada se encuentra en el sitio de Tlaxcoapan con 4.0 ppm y los de menor concentración se ubican en Mixquiahuala (Pozos) y Dos Cerritos ambos con 1.99 ppm, creemos que estos valores son bajos, aunque se necesitan más datos para establecer correlaciones.

El metal que falta por reportar para suelos es el Zn que al igual que los dos últimos es esencial encontrándose la mayor concentración en el sitio de San Antonio con 25.24 ppm que comparado con el resto de los resultados se encuentra muy alejado. En contraposición Mixquiahuala (Pozos) solo reporta 1.12 ppm. Este metal con respecto al pH se comporta de manera contraria a los demás metales ya que a pH entre 5.5 a 6.0 no hay deficiencia a concentraciones de 0.75 ppm. Por otra parte, cuando el pH del suelo sea de más de 7.0 aparece por lo común una deficiencia de Zn cuando las cantidades del elemento se encuentran por debajo de 2.5 ppm. (37) El rango encontrado para este parámetro fué de 0.9271 a 9.82 ppm.

Analizando nuestros resultados en el sitio de San Antonio se encuentra el pH más bajo y la concentración de Zn más elevada, mientras que en Mixquiahuala (Pozos) con la mayor concentración de pH reporta la concentración más baja de Zn y en general sucede lo mismo con el resto de los sitios muestreados pues el pH del suelo esta alrededor de la neutralidad.

Al comparar nuestros resultados de metales pesados con los de otros autores obtuvimos valores diferentes de concentración de Pb, Cu, Zn, Fe y Cd en comparación a los descritos por Flores, D.L. 1988 (40) y Hernández, S.G. 1988 (28) ya que ellos indican que hay una tendencia acumulativa de metales pesados en suelo, así como los trabajos descritos por Mascareño, C.F. 1974 (41), Gutiérrez, M.E. 1979. (42), Collí, M.J. 1987 (5) y García, Z.A. 1987 (43).

Con respecto a los resultados de las concentraciones de metales pesados en agua de riego encontramos referencias de comparación como lo es la norma oficial de Criterio Ecológico de la Calidad del Agua CECCA 001/89 expedida por SEDUE.

Los 11 sitios muestreados corresponden a canales que se utilizan para el riego de las parcelas bajo estudio. Todos los canales conducen agua procedente de la presa Endhó la cual almacena aguas negras. Aunque por lo complicado del sistema hidráulico no sabemos si en ciertos canales hay mezcla con algún otro tipo de agua con lo que se pueda dar diferencia en los resultados.

El Criterio Ecológico para agua de riego tiene un rango muy amplio de pH que va de 4.5 a 9.0 y la media de nuestros resultados es de 7.14 con rango de 7.13 a 7.15 unidades de pH aceptándose este parámetro según la norma.

El criterio Ecológico para Pb es de un máximo de 5 ppm y encontramos que la media de nuestros datos es de 0.33 ppm, con rango que va de 0.25 a 0.406 ppm, es decir, que el agua se acepta por lo que respecta a este metal.

Algo similar sucede con Cr ya que la norma indica no más

de 1.0 ppm para clasificarse como agua para riego, siendo apta por lo que respecta a Cr ya que la media estadística indica 0.33 ppm. con rango de 0.22 a 0.44 ppm.

Por lo que respecta a Cd, el Criterio Ecológico indica un máximo de 0.01 ppm y el valor más bajo que reportamos es de 0.06 ppm, y rango estadístico de 0.0686 a 0.0831 ppm indicando con esto que se encuentra excedida en Cd.

Con respecto a Cu no hay mayor discusión pues la norma indica como límite 0.2 ppm y el valor más alto que reportamos es de 0.095 ppm. con rango de 0.06 a 0.084 ppm.

Con Zn ocurre una forma similar ya que el Criterio Ecológico indica máximo 2.0 ppm y tenemos una media de 0.45 ppm y rango de 0.3 a 0.604 ppm.

Por último diremos que, aunque la concentración media de Fe no rebasa la norma Ecológica cuyo límite es de 5.0 ppm, existen cinco sitios que rebasan el Criterio Ecológico, sobresaliendo los lugares de Tlahuelilpan y Tlaxcoapan con 8.5 y 8.35 ppm respectivamente.

X CONCLUSIONES

A pesar que a principios de siglo se inició en el Valle del Mezquital el riego sistemático con aguas residuales procedentes de la Ciudad de México y área conurbada los resultados de los últimos 20 años indican que la acumulación de la mayoría de los metales se restringe a una capa en la parte superior del suelo con diferentes y relativamente bajos grados de disponibilidad (40)

En el análisis comparativo de nuestros resultados con los descritos por otros autores notamos que existen diferencias, que consideramos se pueden deber a diversos factores como:

- a) sitios de muestreo
- b) época del año en la que se realiza el muestreo
- c) número de sitios muestreados
- d) método y técnicas empleadas
- e) errores sistemáticos

A partir de nuestro análisis de resultados observamos que los sitios que en general presentan mayor concentración de metales pesados son San Antonio, Linderos, El Rosario y Actopan principalmente.

Ya que el Valle del Mezquital es una región muy importante desde el punto de vista agrícola creemos que es necesario monitorear periódicamente esta región para establecer criterios más amplios sobre la acumulación de metales pesados y sus posibles efectos en el consumo de los productos agrícolas.

Por otra parte las concentraciones reportadas en agua de

riego, éstas cumplen con los Criterios Ecológicos de SEDESOL excepto para Cd el cual está excedido en todos los sitios y para Fe que excede el límite en cinco sitios por lo que creemos que también es necesario hacer un monitoreo periódico a esta región y tratar de corregir el origen de la contaminación, es decir, controlar las aguas y desechos industriales principalmente procedentes de la Ciudad de México y Zona conurbada.

ESTA TESIS NO DEBE
SER DE LA BIBLIOTECA

1. Maples, V.M., Antecedentes físicos, históricos y socioeconómicos del Distrito de Desarrollo Rural 063. Estado de Hgo. 1er Simposio Nacional de Degradación del Suelo. INST.GEOL.UNAM (1990) 38-39.

2. Herrera, R.I., El agua subterránea del Valle de México. 1er Congreso Mexicano de Mineralogía. Instituto de Geofísica UNAM (1991) 77.

3. Mejía, B.M. et. al., Metales pesados en maíz y alfalfa y su correlación con los extractables en suelo del DDR 063 Hgo. 1er Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Inst.Geol. UNAM (1990) 42-43.

4. Quiadri, T.J., Aguas residuales en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Dirección de planeación Ecológica de DDF (1989) 59-61.

5. Collin, M.J., Remoción de metales pesados y otros compuestos en un tipo de suelo del Distrito de Riego 03. Hgo. 1er. Simposio Nacional de Degradación del Suelo Abril. Inst. Geol. UNAM (1990) 50-51.

6. Albert, L.A., et. al., Metales Pesados I: Plomo en el cabello de niños mexicanos. Rev. Soc. Quím. Mex. (1986) Vol. 3 No. 2

7. Mason, C.F., (1984). Biología de la contaminación de agua dulce. Alhambra Madrid, España 122-130.

8. Mortvedt, J.J., (1983). Micronutrientes en agricultura AGT editor S.A. México.

9. The Merck Index (1968). 8th ed. Merck & Co., Inc. USA.

10. Aguas residuales. (1986). Publicación de la Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica México.D.F.

11. Alloway, B.J., (1990). Heavy Metals in Soils. Blackie London

12. Carson, B.L., et.al., (1986). Toxicology and Biological Monitorig of Metals in Humans. Lewis Publishers Inc. USA

13. Gutierrez, R.M., et.al. Reducción Química: una alternativa para prevenir la contaminación de suelos y aguas profundas con residuos industriales ricos en Cromo hexavalente. 1er Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Inst. Geol. UNAM (1990) 52-53.

14. Baez, P.A., et.al. Determinación de Cromo en dos poblaciones humanas no ocupacionalmente expuestas. Inst. Biol. UNAM 48 (1977) Ser. Biol. Exp.1 (1982) 77-93.

15. Lehninger, A.L. (1988). Bioquímica 2a. Omega Barcelona 500-503.

16. Rapaport, S.I. (1974). Introducción a la Hematología. Salvat España 31-43.

17. Krauskopf, K.B. (1983). Geoquímica de los micronutrientes AGT editor Mexico.

18. Martindale, The Extra Pharmacopeia. (1977) 27ed. The Pharmaceutical Press London.

19. Snyder, W.S., et.al., (1975). Internentional Commision on Radiogical Protection ICRP Publication 23ed New York.

20. Stokinger, H.E., (1981). Patty's Industrial Higiene and Toxicology 3rd ed. John Wiley And Sons New York.

21. Berkow R., (1986). El Manual Merck de Diagnostico y Terapeútica 7a. Nueva Editorial Interamericana México.

22. González. P.A. y Esquivel. H.B.. Cuantificación de Metales Pesados en Suelos y Plantas de D.F. Rev. Soc.Quim. Mex. (1989) Vol.25 No.4: 483-487.

23. Rothenberg. S.T., et.al.. Evaluación del Riesgo Potencial de la Exposición Perinatal al Plomo en el Valle de México. Perinatol. Reprod. Hum. (1989) Vol.3 No.1. 49-61.

24. Molina B.J. y Zuñiga. Ch.M., Plomo: Sus implicaciones sociales y efectos sobre la salud. Gaceta Medica de Mexico (1979) Vol.115 No. 2. 57-64.

25. Santillan-Medrano, J. and Jurinak. J.J. Soil Sci. Soc. Am. Proc. (1975) Vol.39 No.1. 851-856.

26. Skoog. D.A. y West. D.M..(1982). Analisis Instrumental Nueva Editorial Interamericana México 117.

27. Castillo. G.L. y Arteaga. M.M. Notas de apoyo para el curso teorico-práctico que se ofrecen a profesores. Espectrofotometria de Absorcion Atomica. del 11 al 15 de Mayo de 1992. ENEP ZARAGOZA UNAM.

28. Hernandez. S.G., et.al.. Dinamica acumulativa de Cd, Co, Cr y Pb en tres series de suelo del DDR 063. Hgo. 1er Congreso Mexicano de Mineralogia. Inst. Geol. UNAM (1991).

29. Méndez. G.T. y Guajardo. V.R.. Contaminación de las aguas negras de la Ciudad de México por Boro, ABS y Metales pesados. Rev. Terra. (1988) Vol.3 No.1.

30. Méndez, G.T., Estudio sobre contaminación de suelo agrícola del Valle del Mezquital. Hgo. por ABS, Boro y Metales pesados por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. Tesis Profesional. Biología. Facultad de Ciencias UNAM (1982).

31. García. D.J., Taller sobre reuso del agua en la agricultura. Inst.Mex. Tec. del agua (1990).

32. Méndez. G.T., Contaminación de las aguas negras de la Ciudad de México por Boro, ABS y Metales pesados. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. (1985) Vol.3 No.1. 4.

33.- Contin. A.(1973). Investigación en Suelos. Métodos de Laboratorio y procedimientos para recoger muestras. Trillas México.

34. Investigación de Suelos. Métodos de Laboratorio y procedimientos para recoger muestra.(1973) Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Trillas México.

35. Metson. A.J.,(1961). Methods of Chemical Analysis for soil. Survey Samples. Departament of Scientific and Industrial Reserch USA.

36. Standad Methods, for tha examination of water and waste water. (1985) 16th ed. USA.

37. Chapman. H.D. y Pratt, P.F.,(1976) Métodos de análisis para suelos y plantas. Trillas. México.

38. Jackson. L.M., (1970). Analisis Químico del Suelo. Omega. Barcelona España.

39. Flaschka. H.A.,(1973). Quimica Analítica Cuantitativa Vol.II CECOSA. Mexico.

40. Flores. D.L., et.al., Algunos metales peados en suelos regados con aguas residuales. Ier Simposio Nacional de Degradacion del Suelo. INST. Inst. Geol. UNAM. (1990) 40-41.

41. Mascareño. C.F.. Estudio preliminar sobre contaminación de los suelos y la producción agrícola en el DR 03 por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. Colegio de postgraduados. Tesis de Maestría. Chapingo, Mexico (1974).

42. Gutiérrez. M.E.. Estudio del Contenido de iones inorgánicos y sus interacciones en suelo y plantas de los Distritos de riego 03 y 88. Facultad de Química. Tesis de Maestría UNAM Mexico (1982).

43. Garcia, Z.A.M., et.al.. Contaminación por Pb, Cd y Cr en suelos y tejidos vegetales de Tlaxcoapan. Tlaxhuatlpan y Atitalaquia, Hgo. Tesis Licenciatura FES Cuautitlán UNAM Mexico (1987).