



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

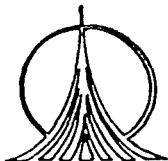
FACULTAD DE ESTUDIO SSUPERIORES

"ZARAGOZA"

TRATAMIENTO Y RECUPERACION "IN SITU" DE SUELO
CONTAMINADO CON RESIDUOS PELIGROSOS DEL GIRO
METALURGICO EN EL ESTADO DE HIDALGO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
P R E S E N T A
FERNANDO VERGARA SANSON

DIRECTOR DE TESIS: BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJIA



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

OCTUBRE 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

EL PRESENTE TRABAJO SE DESARROLLO EN EL
LABORATORIO DE PROYECTOS AMBIENTALES, DE LA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA",
UNAM, BAJO LA DIRECCIÓN DE LA BIÓL. MARICELA
ARTEAGA MEJÍA, EN COLABORACION CON EL CONSEJO
ESTATAL DE ECOLOGIA - GOBIERNO DEL ESTADO DE
HIDALGO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A la memoria de:

Isaac †

Nicolás †

Beatriz †

Por haber dejado en mí un poco de lo mucho que ustedes fueron, por transmitirme un legado de vida que me ha dejado ver y comprender el porque de mi existencia y estadía terrenal, gracias por heredarme la fortaleza y espíritu de constante lucha ante los retos de la vida.

Siempre tengo presente que, la materia inmortal como la gloria, cambia de formas pero nunca muere.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

A mi querida abuelita

Trinidad

Por ser el pilar de unión y sabiduría de nuestra familia, por ese ambiente de tranquilidad y confianza que me inspiras al estar cerca de ti, por chiquearme, por quererme tal cual soy, por tu paciencia, por ser mi viejita.

Gracias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mis padres

Les agradezco el don maravilloso de la vida y de la salud, así como su apoyo sin condiciones fundamentado en la esperanza, por todo el cariño que siempre me han manifestado, por haberme dado todas las oportunidades y apoyo en todo momento.

A mis hermanos

Sea este pues un aliciente para obtener todo lo que se propongan, y nunca olviden la unidad y el cariño de la familia en la que hemos crecido.

A mis sobrinos

Espero que este sea un ejemplo de que podemos llegar tan lejos como queramos y aunque el camino a veces parezca largo y cansado, lo que obtendrán como recompensa será calidad de vida y de pensamiento.

A mi directora de tesis

Biól. Maricela Arteaga Mejía

Le agradezco el compartir conmigo su tiempo y experiencia, además de haberme brindado su amistad que es muy valiosa para mí, he puesto todo mi empeño en este trabajo para no defraudarla.

A mis asesores

M. en C. Lourdes A. Castillo Granada

Biól. Joel Romero Carmona

Como un reconocimiento a su interés, a sus consejos, a su sincera amistad y confianza que contribuyó a mi formación humana y profesional.

A mis sinodales

M. en C. Manuel F. Rico Bernal

Biól. Leticia López Vicente

Por todas sus observaciones y sugerencias para conseguir que este trabajo alcanzará una calidad satisfactoria.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mis amigos

M. cirujano Dentista Elizabeth Amor Cotoño

Biól. Arnulfo Cuestas Campos

Por honrarme con su amistad y apoyo en todo tipo de circunstancias por alentarme en gran parte de mi maduración personal, por su compañía y convivencia, sin la cual no hubiera llegado este momento tan especial para mí.

A todos mis familiares y amigos

Todos tienen un lugar en mi vida refiriéndome a cada una de las etapas a través de mi formación personal y profesional, gracias a ustedes he logrado afirmar mis convicciones y metas.

A la FES ZARAGOZA

Por ser la cuna de personas que va a servir a su país y al mundo.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Por brindarme la oportunidad de ser una persona de provecho.

PRINCIPALMENTE DOY GRACIAS A DIOS POR HABERME DADO LA
OPORTUNIDAD DE TERMINAR UNA ETAPA MÁS DE MI VIDA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

	Indice
	Pág.
RESUMEN	
1 INTRODUCCIÓN.	1
2 MARCO TEÓRICO.	2
2.1 Antecedentes.	2
2.2 Generalidades.	3
Parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo.	10
2.3.1 pH	10
2.3.2 Textura	11
2.3.3 Densidad	13
2.3.4 Porosidad	13
2.3.5 Materia orgánica	14
2.3.6 capacidad de intercambio catiónico	16
2.3.7 Metales pesados	18
2.3.7.1 Hierro	19
2.3.7.2 Cobre	19
2.3.7.3 Zinc	21
3 JUSTIFICACIÓN	22
4 HIPOTESIS	23
5 OBJETIVOS	24
6 Descripción del área de estudio	25
6.1 Localización	25
6.2 Geomorfología y geología	26
6.3 Clima	26
6.4 Suelo	26
6.5 Vegetación	26
6.6 Hidrología	27
6.7 Delimitación de la zona de estudio.	28
7 METODOLOGÍA	30
8 RESULTADOS	32
9 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
10 CONCLUSIONES	44
11 RECOMENDACIONES	45
12 BIBLIOGRAFÍA	46
13 ANEXOS	49
13.1 Norma Oficial Mexicana. NOM-052-ECOL-1993.	49
13.2 Principales usos de metales	61
13.3 Casos de estudio.	61

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

RESUMEN

La contaminación del suelo se define como la adición de cualquier sustancia que puede alterar en cierto grado las propiedades físicas y químicas del mismo. Los contaminantes son aquellas sustancias que, añadidas en cantidades suficientes causan efectos dañinos al ser humano, la vegetación, los animales o los materiales. Tales sustancias pueden ser sólidas, líquidas, gases, o mezclas de estas formas.

La mayor parte del suelo contaminado se debe a la acción de distintos contaminantes y no a un sólo compuesto. Así, por ejemplo, el suelo puede ser contaminado por innumerables productos químicos provenientes muchos de ellos de la actividad humana, a saber: plaguicidas, fertilizantes, agroquímicos en general, equivocadas prácticas de corrección de suelos, basuras, lluvias ácidas por efecto de la contaminación del aire, residuos industriales, etc. Todas esas sustancias adicionadas al suelo, cambian sus propiedades físicas y químicas, desmejorándolo, degradándolo y haciéndolo improductivo (Soto y Peláez, 1999).

El contexto anterior señala la gran importancia de regular el tratamiento y almacenamiento de residuos contaminantes, particularmente los tóxicos, ya que actualmente no existen sitios que cubran la demanda para el confinamiento de dichos residuos, además de que el costo es alto y pocas las empresas que pueden pagar. Es necesario resaltar que por arriba del costo económico, se encuentra el costo ecológico que es más importante, por lo cual se tienen que tomar medidas inmediatas de prevención y recuperación del suelo, para que esto sea posible es necesario la organización de programas de protección al ambiente que estén orientados a lograr el bienestar y salud del hombre, los cuales deben estar acompañados de sanciones o estímulos a los responsables del aprovechamiento y degradación del suelo.

En el Municipio el Arenal Estado de Hidalgo, se presentó un problema de contaminación con residuos peligrosos, producto de la disposición clandestina, denunciado por sus habitantes al presentar problemas de salud. El Consejo Estatal de Ecología (COEDE), tomó cartas en el asunto y así mismo, invito al Laboratorio de Proyectos Ambientales (FES Zaragoza), para buscar una alternativa de saneamiento del lugar.

Se realizaron una serie de pruebas para determinar las condiciones del predio, tomando dentro del sitio 48 submuestras de suelo, posteriormente a la recolección se homogenizó y se utilizó la técnica del cuarteo tomando aproximadamente 3 kg. El suelo superficial suele perderse por la erosión, debiendo tomar muestras consistentes en material geológico y residuos industriales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El sitio contaba con residuos del giro metalúrgico a simple vista, se realizó la caracterización del suelo con los parámetros pH, textura, densidad, porosidad, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y metales; donde se encontró Hierro 23,343.75 mg/kg, Cobre 1,229.00 mg/kg y Zinc 1,419.06 mg/kg. Simultáneamente se analizó una muestra testigo: Hierro <0.1ppm, Cobre <0.1ppm y Zinc <0.030ppm respectivamente, haciendo la comparación de los valores obtenidos se observó una gran diferencia, porque la cantidad de metales en el sitio era elevada con respecto al suelo testigo, se determinó un foco de contaminación en potencia, por lo tanto, se aplicó un tratamiento "in situ" para la recuperación del emplazamiento de suelo contaminado, que constó de técnicas como: oxidación química, quelatación, medidas biocorrectivas y evaporación controlada.

El tratamiento se consideró eficiente porque removió los metales ya mencionados del suelo, dando como resultado: Hierro 6846 mg/kg, Cobre 756 mg/kg y Zinc 540.06 mg/kg, mostrando una eficiencia del 70.67%, 38.48% y 61.97% de remoción respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1. INTRODUCCION.

Los residuos industriales constituyen uno de los problemas derivados de la actividad industrial, son producto secundario de los diversos procesos industriales, algunos son líquidos que se descargan en los drenajes y otros, sólidos que se manejan como basura. Sabemos que existen mejores opciones para el manejo de los residuos industriales y que muchos de ellos requieren un tratamiento previo antes de desecharlos para evitar que afecten la vida de las comunidades.

En la República mexicana, según cifras oficiales, se producen actualmente alrededor de 450,000 toneladas diarias de residuos industriales, de los cuales se estima que cerca de 15,000 toneladas son consideradas como residuos peligrosos; son aquellos que por su naturaleza pueden ocasionar daños a los ecosistemas cercanos al sitio de desecho, contaminando el suelo, el agua y los campos agrícolas, y pudiendo dañar la vida vegetal, animal y a los seres humanos (Rivero, 1997).

Los residuos peligrosos pueden tener su origen en una amplia gama de actividades industriales, agrícolas, comerciales o domésticas. Los producen los fabricantes de artículos comunes y los de uso no habitual, las compañías de servicios y comerciales, así como universidades, hospitales, organismos gubernamentales y viviendas (LaGrea, 1996).

El hombre realiza una gran infinidad de actividades y genera muchos productos, que de una forma u otra, alteran el status del suelo; como la ocupación, impermeabilización, eliminación, vertidos, aportes de materias extrañas, entre otros. Como consecuencia de ello, el uso de abonos, la sedimentación de contaminantes atmosféricos de origen industrial, los vertidos industriales, los depósitos y escombreras producen alteraciones en los suelos difícilmente cuantificables, donde resulta un problema la previsión de sus efectos. Basta sólo decir que el suelo es un paso intermedio entre la atmósfera y la hidrosfera, con lo que sus perturbaciones producirán desequilibrios en esta última (Seoanez, 1995).

El desarrollo de la sociedad permite prever, que la industria nacional continuará diversificando y creciendo. Para que disminuya el problema industrial en su conjunto, es necesario que se utilicen tecnologías más modernas, que sin duda son día a día más limpias; sólo que siempre habrá residuos y una parte de ellos serán peligrosos, porque no es posible cambiar de inmediato toda la planta industrial y aún las más limpias producen residuos. Es entonces indispensable —y en este afán están comprometidos todos los países, los desarrollados y los que impulsan su desarrollo— enfrentar el problema de los residuos industriales peligrosos; nuestro país necesita el diseño y el desarrollo de plantas que se dediquen al tratamiento integral de éstos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es necesario desarrollar la conciencia de la sociedad usando educación ambiental; trabajos como este pretenden crear una conciencia en relación con estos problemas, de tal manera que los grupos organizados de la sociedad se conviertan en un apoyo para quienes con un conocimiento completo de la ciencia y la tecnología modernas, emprendan a corto plazo la construcción de plantas de tratamiento de estos residuos (Rivero, 1997).

2. MARCO TEORICO.

2.1 Antecedentes.

El termino suelo se deriva de la palabra latina *solum*, que significa piso se define como la capa superior de la tierra, que puede ser cavada, arada, etc., específicamente como la capa superior, en la que las plantas crecen. El suelo es muy complejo a causa de la gran variedad de su composición física y química. Esta formado a partir de masas de rocas parcialmente meteorizadas, y minerales de la corteza terrestre, proceden de minerales primarios, que fueron el resultado del enfriamiento y cristalización de masas en fusión. Los minerales primarios contienen todos los elementos químicos, que las plantas captan del suelo, a excepción del nitrógeno (Thompson, 1982).

En general, el suelo se refiere a la superficie suelta de tierra que se distingue de la roca sólida. El suelo puede ser definido también como una mezcla de materia mineral, materia orgánica, agua y aire (Foth, 1980).

El suelo se ha formado por meteorización de rocas y minerales y la acumulación de materia orgánica. Hay centenares de especies de minerales, que pueden encontrarse en él, y su distribución en la superficie de la tierra es muy variable. Estos minerales se diferencian en composición química y en su velocidad de meteorización. La materia mineral varía no solamente en el tamaño de partícula, sino asimismo en su composición química. La variación de las partículas afecta a la capacidad de retención de agua, la aireación del suelo y otras propiedades físicas. En el suelo hay 12 elementos indispensables para que las plantas puedan completar su ciclo vital, estos son llamados micronutrientes, o también oligoelementos, algunos se hallan en grandes cantidades, tanto en el suelo como en las plantas; lo que los distingue es que, como nutrientes, se precisan en muy pequeñas cantidades (Thompson, 1982).

Elementos principales:

Oligoelementos:

Calcio.....	Ca	Cobre.....	Cu
Magnesio.....	Mg	Manganeso.....	Mn
Potasio.....	K	Hierro.....	Fe
Nitrógeno.....	N	Boro.....	B
Fósforo.....	P	Molibdeno.....	Mo
Azufre.....	S	Zinc.....	Zn

CUADRO 1. elementos esenciales para las plantas.

Fuente: (Foth, 1980).

Estos 12 elementos más carbono, hidrógeno y oxígeno completan los 15 elementos esenciales. Los seis elementos principales son empleados en abundancia por las plantas. Como se sabe los oligoelementos sólo actúan en cantidades muy pequeñas.

La información respecto a los micronutrientes en las plantas y suelo ha sido extendida a niveles moleculares y microambientes de las raíces. Una única función fisiológica de un nutriente y su mecanismo de adsorción no pueden ser usados ni interpretados de manera aislada. El funcionamiento óptimo de los micronutrientes en el tejido vivo se lleva a cabo generalmente dentro de un rango limitado de concentración. Una meta importante en el manejo del suelo es obtener mejores controles sobre el movimiento de elementos traza del suelo a las plantas, de las plantas a los animales y al hombre (Morvedt, 1983).

Cuando se dispone sobre un suelo un depósito de minerales que contengan metales pesados, aumentará el contenido de estos sobre él. En general esos metales pueden presentarse en formas asimilables, si es así, parece ser que su concentración es persistente en el tiempo, lo que puede dar origen a una bioacumulación grave, en vegetales y animales que los consuman (Geoanez, 1995).

2.2 Generalidades.

Los metales hierro, cobre y zinc se consideran elementos esenciales en el hombre, sin embargo, niveles muy altos pueden originar problemas de salud a la población, su toxicidad es bien conocida, así como su persistencia y capacidad de bioacumulación, razones por las cuales su manejo está sujeto a regulación y control (Carson, 1986).

La sobreacumulación de hierro en el ser humano produce envenenamiento agudo llamado hemosiderosis, que cuando se acompaña de lesión tisular puede provocar cirrosis hepática, diabetes y cardiomiopatía. La inhalación de polvos de hierro puede causar una pneumoconiosis benigna pero puede aumentar los efectos tóxicos del dióxido de azufre y de diversos agentes carcinógenos (Carson, 1986).

El zinc como ion es escasamente absorbido, pero las sales ácidas son corrosivas a la piel y tracto gastrointestinal, la ingestión de 2g o más produce síntomas tóxicos (Carson, 1986).

La exposición continua de cobre produce su acumulación en los tejidos, especialmente en el hígado causando alteraciones en su funcionamiento (Barberá, 1989).

El deterioro ambiental es un costo que se transfiere al resto de la sociedad y a las generaciones futuras; una de las maneras en que se traduce este deterioro es el manejo y disposición inadecuada de los residuos peligrosos. El suelo es fundamental para la descomposición de residuos y reciclaje de nutrientes (Ponciano *et al.*, 1997).

Esta cuestión tiende a agravarse con el tiempo, ya que está directamente relacionada con la producción cada vez mayor de residuos industriales, y con la inadecuada y a veces inexistente gestión de los mismos (Grupo 12, 1997).

La descripción del problema para un emplazamiento de residuos peligrosos consiste en identificar los componentes peligrosos, es decir, la liberación o posible liberación de contaminantes. Un compuesto peligroso representa un riesgo sólo si tiene lugar la exposición a él o si existe posibilidad en el futuro. Por lo tanto, para definir los problemas que posee un emplazamiento es necesario relacionar los compuestos peligrosos con las exposiciones actuales y las posibles en el futuro. Esto se realiza describiendo el problema en términos de **focos, vías y receptores**.

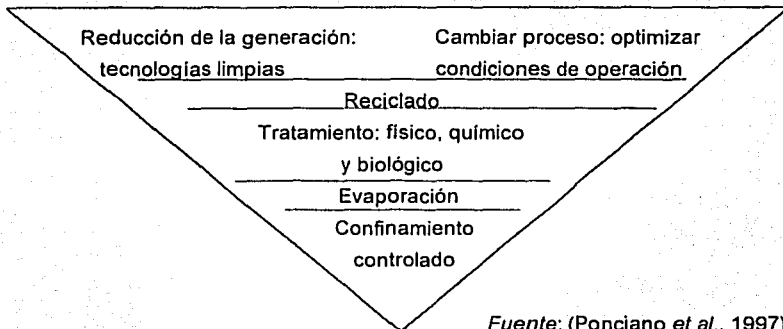
Toda alternativa de recuperación debe satisfacer el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente. Para orientar el estudio hacia esta meta se precisan establecer objetivos específicos que, si se alcanzan por el sistema de recuperación finalmente elegido, cumplirán con este punto fundamental. En algunos casos, puede existir según las leyes estatales o federales, un estándar, requisito, criterio o limitación que es legalmente aplicable, o relevante y apropiado para el hecho de la liberación, o posible liberación, de sustancias peligrosas en un emplazamiento. Estos requisitos representan objetivos de recuperación para las acciones que se tomen. es decir, el sistema de recuperación elegido debe lograr un nivel o estándar de control igual a ellos (LaGrea, 1996).

Los residuos peligrosos pueden ser depositados en tiraderos a cielo abierto o enterrados a diferentes profundidades en el suelo, colocados en recipientes de revestimiento con diferente grado de resistencia a la corrosión; cuando esto se maneja de manera inadecuada se permite el escape de residuos peligrosos hacia el subsuelo y mantos freáticos. Los suelos poseen características geográficas, físicas, tipológicas, de descomposición y biológicas que pueden verse afectadas por la presencia de residuos peligrosos, con lo que se favorece la erosión y desertificación del mismo y, consecuentemente la dispersión de dichos residuos. Así mismo, es importante mencionar que algunas sustancias pueden permanecer de manera indefinida en el suelo, tal es el caso del cloruro de etil-mercurio. La persistencia de un contaminante en el medio se puede definir como la propiedad de un compuesto para retener sus características físicas, químicas y funcionales en el medio a través del cual es transportado y/o distribuido por un periodo limitado después de su emisión.

La estrategia de manejo y disminución de los residuos peligrosos se basa fundamentalmente en la utilización de tecnologías limpias, para reducir la generación de los residuos, así, como en la creación de infraestructura de confinamientos que garanticen plenamente su manejo adecuado, teniendo como puntos intermedios el reciclado, los tratamiento físicos, químicos, biológicos y la incineración. Los confinamientos controlados deben existir, es utópico pensar en la

reducción a cero de los residuos peligrosos, de otra manera se puede caer en situaciones de disposición clandestina (Ponciano *et al.*, 1997).

CUADRO 2. ESTRATEGIAS DE MANEJO Y ELIMINACION DE LOS RP's.



Fuente: (Ponciano *et al.*, 1997).

Técnicas de tratamiento.

Las técnicas de tratamiento son procesos que se aplican a desechos peligrosos o materiales contaminados para alterar su estado en forma permanente por medios químicos, biológicos o físicos.

Técnicas de tratamiento innovadoras.

Las técnicas de tratamiento innovadoras son técnicas que han sido ensayadas, seleccionadas o utilizadas para el tratamiento de desechos peligrosos o materiales contaminados, aunque todavía no se dispone de datos bien documentados sobre su costo y resultados en diversas condiciones de aplicación (EPA 542-F-96-022, 1996).

Técnica de oxidación química.

El objetivo de la oxidación química es la destoxificación de los residuos por la transformación química de sus componentes mediante la adición de un agente oxidante, resultando un producto intermedio que puede ser menos tóxico que el original. Los intermediarios podrán ser susceptibles de ser tratados posteriormente mediante métodos biológicos. Los suelos contaminados pueden ser excavados y tratados en forma de lechada en contenedores de reacción. Sin embargo, debido a

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

que la excavación es un proceso caro, la tendencia de la tecnología de limpieza de suelos es la de la utilización de procesos *in situ*. La posibilidad de la oxidación química *in situ* depende más de la capacidad de contacto del reactivo con el contaminante, el cual es más una función de las propiedades del suelo, que de un proceso químico (LaGrea, 1996).

Técnica de quelatación.

El objetivo es formar complejos muy estables, en la razón uno a uno, con prácticamente los iones de todos los metales de la tabla periódica. Esta razón en los complejos metálicos proviene por ejemplo, del hecho de que algún ion posea en total seis grupos funcionales -cuatro grupos carboxilos y dos grupos aminos- que pueden ocupar cuatro, cinco o seis posiciones de coordinación en torno de un ion metálico central, formando complejos en la razón metal ligando uno a uno. Así, no se presentan los problemas con los cuales se tropieza en las reacciones por pasos entre iones metálicos y ligandos monodentados. Los complejos metálicos ganan estabilidad especial por los anillos quelatos de cinco miembros que se forman.

Un anillo de cinco miembros es una configuración particularmente estable porque los ángulos de enlace permiten que los átomos en el anillo estén en un plano. Con frecuencia, sólo se enlazan a un ion metálico cuatro o cinco de los seis grupos funcionales del quelato. Las posiciones restantes en torno del metal pueden ser ocupadas por ligandos monodentados, como agua, hidróxido o amoníaco (Fisher, 1989).

Perfil de las medidas biocorrectivas

- Se usan microorganismos naturales para descomponer sustancias peligrosas en sustancias que no lo sean o que disminuyan su peligrosidad.
- Es un proceso natural, eficaz en función del costo, que puede aplicarse a muchos desechos orgánicos comunes.
- Muchas de las técnicas pueden aplicarse *in situ*. (EPA 542-F-96-023, 1996).

Adición de estiércol.

A pesar de la variabilidad en la composición del estiércol, se puede considerar como término medio para su aplicación de campo, un contenido de: un 0,5% de nitrógeno, 0,25% de fósforo y un 0,5% de potasio. Debe recordarse siempre, sin embargo, que tales cifras son promedios. Además de N, P y K, el estiércol contiene también calcio, magnesio, azufre y, probablemente, todos los oligoelementos. Estos últimos son extremadamente importantes, en algunos

casos, para mantener el equilibrio de la condición de los nutrientes en suelos tratados.

Todos los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas están comprendidos dentro de la fertilidad del suelo. El abastecimiento de cada uno de estos elementos entraña problemas que son únicos y que, a menudo, difieren marcadamente de los otros. Un principio fundamental para todos estos constituyentes es: *el mantenimiento de cantidades óptimas de los elementos nutrientes puede realizarse sólo guardando un equilibrio favorable entre las ganancias y las pérdidas.* Aquí, de nuevo, se debe considerar tanto los excesos como las pérdidas. Además, tanto unos como otros se refieren sólo a aquellas formas de un elemento que sean realmente asimilables en el crecimiento de los vegetales.

El valor del estiércol se determina no sólo por la materia orgánica que proporciona, sino sobre todo por la cantidad de nitrógeno que cede. El nitrógeno, cuando se desprende por la actividad microbiana, es usado como nutriente por las plantas superiores. Además hace posible el mantenimiento de un nivel más alto de materia orgánica en el suelo, que podría ser el objetivo buscado. Así, aunque el estiércol, sin duda, tiene una gran influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, debe ser considerado particularmente como un fertilizante nitrogenado y, en menor grado, también potásico (Buckman, 1991).

Evaporación al aire libre.

La evaporación es un proceso de eliminación del volumen de lixiviados; no es un sistema de eliminación total, pues genera sedimentos y gases, pero determina una importante reducción del peso y volumen de los lixiviados originales.

La reducción del volumen es del orden de 80 a 90% dependiendo fundamentalmente del contenido de material tratado.

El uso del sistema de evaporación para tratar los RP's presenta las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas

- Escasa utilización de terreno.
- Posibilidad de implantación cerca del sitio contaminado.
- No precisan de energía externa para su funcionamiento.

Inconvenientes

- Poca flexibilidad para adaptarse a los cambios climáticos.
- No suponen un sistema de eliminación total, precisando un vertedero para los rechazos.

Algunos de los factores que determinan o condicionan la implantación de un sistema de evaporación son los siguientes:

- Volumen de residuos a evaporar.
- Clima.
- Costes de inversión.

Fuente: SIATPA 1998

CRITERIOS USADOS PARA LA SELECCION DE ALTERNATIVAS.

La selección de alternativas se basa en el análisis comparativo utilizando una serie de criterios. Estos criterios tienden a incluirse en las siguientes categorías:

1. Eficacia a largo plazo.
2. Seguridad a largo plazo.
3. Aplicabilidad.
4. Eficacia a corto plazo.
5. Costos.

CUADRO 3. Tecnologías alternativas para el suelo en el emplazamiento.

ACCIÓN GENERAL DE RESPUESTA	TIPOS DE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS
Tratamiento <i>in situ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado con mezcla ácida. • Lavado con agente complejante. • Fertilización orgánica.
Sistema de confinamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento en contenedores. • Almacenamiento temporal en contenedor. • Evaporación.
Biorrecuperación	<ul style="list-style-type: none"> • Integración de material tratado al predio.

Fuente: (LaGrea, 1996).

ASPECTOS NORMATIVOS

Para efectos de gestión ambiental, se puede definir el Suelo Contaminado como "aquel que tiene alteradas sus características biogeoquímicas con respecto a su estado natural, y que entraña un riesgo potencial con respecto al Medio Ambiente, la salud humana y los recursos naturales".

En nuestro país el problema de los Suelos Contaminados es tan grave como el de cualquier país industrializado de nuestro entorno, ya que se estima existen al menos 4,000 casos de suelos contaminados sólo en lo que se refiere a residuos tóxicos y peligrosos (Grupo 12, 1997).

La EPA regula los residuos tóxicos como un apartado de los residuos sólidos. Puede considerarse que la forma del residuo carece de importancia a la hora de definir su peligrosidad. sin embargo, el punto más crítico de cualquier definición esta en la inclusión de la terminología que especifica cuales son las características que convierten a un residuo en tóxico (por ejemplo, su capacidad de presentar riesgos sustanciales o peligros potenciales para la salud humana o para el medio ambiente).

El grado de toxicidad potencial, en particular de carácter cancerígeno, es de gran importancia de cara a la sociedad, encabezando esta lista de características. No obstante, puede considerarse tóxico un residuo que presenta otras de las propiedades, como por ejemplo su potencial de combustión, inflamabilidad, reactividad, explosividad, corrosividad, radiactividad, infección, irritabilidad, sensibilización o bioacumulación. En conclusión, la definición de residuo tóxico pueden ser la que eventualmente fue establecida en el Programa Medioambiental de las Naciones Unidas promulgado en Diciembre de 1985, y es la siguiente:

"Los residuos tóxicos comprenden residuos (sólidos, lodos, líquidos o gases envasados) distintos a los radiactivos (o infecciosos), los cuales debido a su actividad química, tóxica, explosiva, corrosiva o a otras características, son fuente eventual de peligros para la salud o el medio ambiente, de modo individual o en contacto con otros residuos" (LaGrea, 1996).

De tal manera que el concepto anterior coincide con las definiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), las cuales son nombradas a continuación: *los materiales peligrosos son elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un peligro para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas y los residuos peligrosos son todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente* (LGEEPA, 1997).

La LGEEPA cuenta con artículos en donde los residuos peligrosos son normados, tales como: el Artículo 5 que regula las actividades relacionadas con materiales peligrosos de alcance federal, el Artículo 11 donde la federación, puede suscribir convenios o acuerdos de coordinación para que con los estados o el Distrito Federal asuman el control de los residuos peligrosos considerados de baja

peligrosidad, el Artículo 28 que habla de la realización de obras o actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos, el Artículo 36 donde la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), emitirá las normas oficiales mexicanas en materia ambiental, el Artículo 134 de la utilización de Plaguicidas (P), Fertilizantes (F) y Sustancias Tóxicas (ST), el Artículo 135 de la generación, manejo y disposición final de residuos peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorgan y entre otros los artículos 136, 139, 140, 143, 144, 150, 151, 151 bis, 152, 152 bis y 153 (Diario Oficial de la Federación, 1996).

Para identificar un residuo como peligroso es necesario que cuente con una o varias de las siguientes características: corrosividad, reactividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso, correspondientes al código (CRETIB), sin embargo, de acuerdo a la Norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993, se conocen por listado y límites de su toxicidad al ambiente. Se pueden identificar por giro industrial, tipo de proceso y tipo de fuente.

Los residuos encontrados en la zona de estudio, se consideran peligrosos por listado por provenir de procesos del giro metalúrgico y presentarse como escorias, costras y polvos metálicos (NOM-052-ECOL-93).

2.3 Parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo.

2.3.1 pH.

La medición de pH en suelo puede ser bastante ambigua. Los factores que influyen, son la relación existente entre la solución del suelo y la concentración salina, normalmente al aumentar cualquiera de los dos factores disminuye el valor de pH. No es extraordinario que los cationes del hidrógeno y aluminio deban concentrarse en las superficies coloidales del suelo, y que luego puedan desplazarse mediante el intercambio catiónico en solución. Una vez que el aluminio ha pasado a formar parte de la solución, sus iones se pueden hidrolizar y disminuir más el pH observado.

Debido a la distribución de cationes en la doble capa difusa y, posiblemente, a concentraciones más elevadas de hidrógeno cerca de los grupos funcionales orgánicos débilmente ionizados y en los bordes de los minerales, parece que las concentraciones efectivas del ion hidrógeno cerca de las superficies de los coloides son de 100 a 1000 veces mayor que en la solución global. Tales concentraciones se han comprobado para el caso de las arcillas secas mediante el espectro de rayos infrarrojos de los ácidos orgánicos adsorbidos y por medio de la rapidez de reacción dependiente del pH de enzimas absorbidas, para el caso de las arcilla mojadas. Deberá tenerse en cuenta la mayor acidez, que existe cerca de las superficies de los coloides siempre que hayan de postularse los mecanismos de adsorción para moléculas orgánicas débilmente ácidas.

En suspensiones de suelo a concentraciones bajas de sal, los potenciales externos (de unión) pueden afectar las lecturas de pH. Una de las explicaciones más razonables para dichos potenciales es que los iones de potasio se difunden rápidamente desde el puente de KCl de la celda de referencia de calomel y los iones cloro con menor rapidez cuando las partículas de suelo con carga negativa se encuentran bastante cercanas. Con el fin de obtener lecturas confiables de pH, el método que se recomienda es colocar el electrodo de referencia de calomel en la solución de sobrenadante clara y el electrodo de vidrio en la suspensión sedimentada de arcilla (donde se concentran en mayor cantidad las sustancias que provocan la acidez del suelo). Los potenciales de unión se eliminan si las concentraciones salinas son mayores de 0.01 M.

El suelo posee pH de 4 a 10 y en las zonas húmedas es generalmente ácido y tiene un valor inferior a 7. El suelo que se ha desarrollado a partir de grandes depósitos de cal será de reacción alcalina. Un suelo rico en calcio raramente presentará valores de pH superiores a 7.5, pero la presencia de grandes cantidades de carbonato de calcio puede elevar el pH hasta 8.5. La presencia de sodio da lugar a valores más elevados. Si el pH es superior a 8.5 el suelo posiblemente contiene un exceso de sodio. Generalmente a menor cantidad de calcio corresponde un valor de pH menor, y así para corregir la acidez excesiva se realizan adiciones de calcio en forma de cal.

El pH indica las cantidades relativas de iones H^+ y OH^- que contiene la solución y refleja, a sí mismo, el porcentaje de saturación por bases (Thompson, 1982).

2.3.2 Textura.

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales. Específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire, tan importantes para la vida de las plantas.

Por esta razón, la proporción de tamaño de varios grupos de partículas de un suelo (textura) adquiere tanta importancia. No puede alterarse y de esta forma, se le considera propiedad fundamental del suelo que determina, en alto grado, su valor económico.

Para estudiar las partículas minerales de un suelo, los científicos las clasifican, por lo regular, en grupos convenientes, según su tamaño. Estos diferentes grupos se llaman fracciones. El procedimiento analítico mediante el que se separan se conoce como análisis mecánico o granulométrico, este es en realidad, una determinación de la distribución de los tamaños de las partículas.

Hay diferentes clasificaciones como la del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Sociedad internacional de la Ciencia del Suelo: que van de

menos de 0.002 mm. a 2.00 mm. clasificadas desde arcillas, pasando por limos, arenas finas, medianas y hasta arenas gruesas.

El análisis mecánico no sólo sirve para describir, en líneas generales, las propiedades físicas del suelo, sino también para determinar el nombre de su textura; esto es, si el suelo es arenoso, limoso, arcilloso u otro. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, emplea el método exacto fundamental que se basa en el análisis mecánico. El triángulo de texturas reitera que el suelo es una mezcla de diferentes clases de partículas y que existe una alta correlación entre la distribución de éstas y las propiedades de los suelos.

Es evidente que los análisis mecánicos de los suelos de un campo de cultivo son útiles al agrónomo, si puede deducir cuidadosamente sus denominaciones sistemáticas.

El tamaño del área superficial de un material, puede influir mucho en sus propiedades físicas y químicas. Los suelos difieren, en forma marcada, en el área superficial como resultado de las diferencias de textura, tipos de minerales arcillosos y cantidad de materia orgánica. Propiedades tan importantes como la retención de agua y capacidad de intercambio están íntimamente relacionadas con la superficie específica de los suelos.

Un aspecto sobresaliente en el examen de los suelos es su composición por partículas de diferentes tamaños, estas partículas han sido divididas en grupos, exclusivamente sobre la base de tamaños, es decir, sin tomar en cuenta su composición química, color, peso y otras propiedades (Foth, 1980).

Así la fracción de arena se subdivide en cinco grupos, resultando en total siete grupos de tamaños, que se designan como separados del suelo. En la tabla siguiente se da el tamaño de estas:

CUADRO 4. Tamaño límite de cada separado

Fracción	Separado	Tamaño mm	No. Partículas por g
Arena	Arena muy gruesa	2 - 1'	90
	Arena gruesa	1 - 0.5	720
	Arena media	0.5 - 0.25	5700
	Arena fina	0.25 - 0.10	46000
	Arena muy fina	0.10 - 0.05	722000
Limo	limo	0.05 - 0.002	5776000
Arcilla	Arcilla	Menos de 0.002	90260853000

(Thompson, 1982).

Debido a que la arena es relativamente grande pero baja en área superficial, su principal función, en el suelo es servir como una estructura alrededor de la cual está asociada la parte más activa del suelo.

Como una consecuencia, el limo tiene, por gramo, una área superficial mayor, una velocidad de intemperización más rápida y una liberación de nutrimentos solubles para el crecimiento vegetal mayor que la arena.

Los suelos con una capacidad mayor para retener agua contra la fuerza de la gravedad se caracterizan por tener alto contenido de arcilla. Como una gran parte del agua en el suelo está retenida en forma de película sobre la superficie de las partículas de arcilla, la cantidad de esta en el suelo tiene una gran influencia sobre la capacidad total de retención de agua. Además, ciertos nutrimentos disponibles están retenidos en la superficie de sus partículas. Por lo tanto, actúa como un almacén de reservas para el agua y los nutrimentos.

La determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla, se llama análisis del tamaño de partícula. Hay dos métodos analíticos de laboratorio; Ambos se basan en la determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión en agua. El material grueso se sedimenta rápidamente, mientras el fino lo hace más lentamente (Thompson, 1982).

2.3.3 Densidad.

La densidad aparente es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo. El tamaño de poro es una parte del suelo medido para la estimación de la densidad aparente. La densidad real o de las partículas, es otra propiedad básica que debe conocerse para calcular el volumen total de poros. la densidad real es la medida de las partículas del suelo. Las unidades utilizadas son casi siempre los gramos por centímetro cúbico (Thompson, 1982).

La densidad tiene que ver con la forma que tienen los elementos minerales y orgánicos del suelo, para agruparse en agregados o estructuras no estáticas. La estructura juega un papel importante en muchas propiedades del suelo tales como la porosidad, la permeabilidad, la profundidad de las raíces, etc., (Seoanez, 1995).

2.3.4 Porosidad.

Una parte muy significativa del proceso que transforma la roca en suelo consiste en el ahuecado y la disgregación del material, con lo cual aparecen poros en la masa. estos a veces reciben el nombre de espacios vacíos, aunque es un error pues contienen aire y agua, en ausencia de poros, el suelo no sería un medio adecuado para la vida vegetal y microbiana (Thompson, 1982).

La condición física de un suelo depende, en gran medida, de la porosidad y del tamaño de los espacios que la generan. En los suelos de textura fina, abunda más la microporosidad frente a la macroporosidad, dominante esta última en los suelos constituidos por gravas. En ambos casos el tamaño de los espacios presentan poca variación en sus dimensiones. En los suelos agregados el parámetro en cuestión es de carácter intermedio, es decir, los espacios son grandes y pequeños. La porosidad y la capacidad de campo están estrechamente relacionadas, ya que, la segunda representa a la cantidad de agua que puede ser retenida en un suelo contra la fuerza de gravedad; por lo tanto, representa una

medida de la capacidad de retención de sustancias que evita que sean lixiviadas al subsuelo y contaminen los acuíferos. También es importante para el balance térmico de los suelos.

Los residuos químicos, pueden actuar sobre los agregados del suelo, produciendo modificaciones estructurales que repercuten en la porosidad. Estas variaciones, que operan en detrimento de las características del suelo, pueden ser compensadas por la presencia de materia orgánica, que aumenta y estabiliza los agregados (Seoanez, 1995).

2.3.5 Materia orgánica.

La fracción orgánica del suelo consiste en organismos vivos, plantas secas y residuos de origen animal. En una unidad de masa, esta porción orgánica es la fracción químicamente más activa. Dicha porción almacena varios elementos esenciales, estimula la estructura adecuada del suelo, es una fuente con capacidad de intercambio de cationes (CIC) y regula los cambios de pH, propicia también las relaciones convenientes entre el aire y el agua en los suelos y es un enorme depósito geoquímico de carbono.

La *materia orgánica del suelo* (MOS) es una acumulación de plantas muertas, descompuestas y residuos de animales y plantas resintetizados. La hojarasca y las raíces secas se descomponen rápidamente y sus residuos forman parte del humus. Algunas porciones permanecen en los suelos durante mucho tiempo. Los residuos de cultivos, maleza, hierba, hojas de árboles, gusanos, bacterias y hongos también forman parte de la mezcla compleja denominada MOS. Algunas definiciones de MOS se limitan sólo al humus y omiten cualquier consideración de residuos orgánicos sin descomponer y la biomasa. el término MOS se emplea en un sentido más general y se refiere a componentes específicos por su nombre, cuando esta identificación es necesaria.

Los microorganismos y las raíces comprenden solamente un porcentaje pequeño en la masa de la MOS total. El humus generalmente se define como el material orgánico que los microorganismos del suelo han transformado en una forma estable.

La roca madre determina el contenido de MOS principalmente a través de su efecto en la textura del suelo, En una zona de clima y topografía similares, el contenido de MOS tiende a incrementarse con el contenido de arcilla. La asociación íntima de sustancias húmicas con los sólidos orgánicos en forma de *complejos organominerales* conserva la materia orgánica. Las arcillas montmorilloníticas tienen capacidad de adsorción particularmente alta para las moléculas orgánicas y son notablemente efectivas para cubrir a los constituyentes nitrogenados contra el ataque de microorganismos. Esta fuerte interacción entre las arcillas y la materia orgánica también hace resaltar los efectos de la MOS en las propiedades físicas y químicas.

Conforme cambian las condiciones, también cambia el contenido de MOS. Si la humanidad o la naturaleza crearan una capa de sedimento mineral, el contenido de MO generalmente se incrementaría rápidamente durante los primeros años de formación del suelo. Después disminuiría más lentamente, hasta alcanzar un nivel de estado estacionario después de los cien años en roca madre de textura fina y hasta después de 1500 años para suelos arenosos. Los suelos "nuevos" incluyen depósitos que ha dejado las avenidas, desechos de minas, viejas carreteras y tierra que ya no se cultiva.

Los residuos de las plantas constituyen el material primario para la materia orgánica del suelo. Hay una gran variedad de residuos, pero a pesar de ello la materia orgánica es bastante similar en localidades diferentes. Sin embargo, esta mezcla de múltiples compuestos orgánicos hace su estudio más difícil. En general, la materia orgánica sólo se caracteriza en términos generales.

Los compuestos orgánicos más asimilables son los que desaparecen en primer lugar, los más resistentes se mantienen durante periodos largos.

A medida que se desarrolla la descomposición de los residuos de plantas, se van formando células microbianas, más tarde mueren y son descompuestas por otros microorganismos. Una parte importante de los materiales de los residuos de las plantas se consumen como alimento de los microorganismos. Ninguno de los compuestos iniciales puede considerarse como indestructible, pero aparentemente parte del material orgánico es tan resistente a la actividad microbiana que persiste durante largo tiempo produciéndose así su acumulación. El material orgánico que no es descompuesto directamente por microorganismos se transforma en parte de los tejidos de los mismos o bien queda como sencillo producto de descomposición final incluyendo al agua y dióxido de carbono (Thompson, 1982).

Al descomponerse las rocas y minerales de la corteza terrestre, los elementos naturales son asimilables por las plantas; y a medida que la provisión de nitrógeno del aire disminuye se producen reservas en combinaciones químicas susceptibles de ser usadas, las plantas crecen, mueren y contribuyen con sus residuos al suelo. Por lo tanto, la materia orgánica comienza a acumularse, al aumentar la fuente de nutrimentos aprovechables en el suelo para las plantas y esta acumulación de materia orgánica es proporcional. Esta condición se prolonga hasta que se alcanza un equilibrio en el cual el grado de acumulación de la materia orgánica es igual al grado de descomposición (Foth, 1980).

El carbono de las plantas procede del dióxido de carbono de la atmósfera y es reducido en el proceso de fotosíntesis que utiliza la luz solar como fuente de energía. Los compuestos de carbono que se forman en las plantas son muy complejos, sin embargo, los principales son: a) *polisacáridos*, b) *lignina* y c) *proteínas*. Estos y otros compuestos son fuente de energía. La oxidación del carbono genera dióxido de carbono es la fuente principal de energía de la población microbiana del suelo.

El hecho de que la materia orgánica se acumule en el suelo se debe a la resistencia de la descomposición de algunas fracciones de los residuos de las plantas y de los tejidos microbianos. El proceso de formación del suelo en condiciones normales da lugar a la acumulación de materia orgánica, hasta que se alcance cierto equilibrio.

Hasta estos últimos años se carecía de un método satisfactorio para la determinación del contenido de carbono en MOS. Se admitía que su porcentaje era del orden de 58 %. Actualmente la determinación de este carbono es sencilla, y conociendo este dato basta multiplicar por 1624 (cociente de 100 : 58) para deducir el contenido en materia orgánica.

Sin embargo, mediante métodos de análisis más perfeccionados se ha llegado a la conclusión de que raramente la materia orgánica contiene más del 52 % en carbono (Thompson, 1982).

Los factores más importantes que afectan a la cantidad de materia orgánica del suelo son:

- a) clase de vegetación, b) topografía, c) naturaleza de los materiales primarios, d) clima y e) tiempo.

2.3.6 Capacidad de intercambio catiónico.

La forma del suelo intercambiable es aquella en que los elementos existen como cationes o aniones adsorbidos en la superficie de los compuestos orgánicos o de las arcillas. Los iones intercambiables son asimilables por las plantas.

Se admite que la forma en disolución es la más asimilable. La disolución es la forma iónica con mayor movilidad; en donde, los aniones y los cationes se mueven libremente en el seno de la solución, mientras que los que se encuentran en la superficie de las arcillas y de los compuestos orgánicos oscilan en menor grado y además limitado a la superficie a la que se encuentra; los iones que se encuentran en la solución, intercambian sus posiciones con los que se están en las superficies absorbentes. Existe la tendencia a establecerse un equilibrio entre los iones de la disolución y los iones retenidos por la superficie absorbente.

Las rocas son mezclas de minerales y a medida que sufren el proceso de meteorización se descomponen en las especies minerales aisladas que las constituyen; la velocidad de meteorización es diferente para los distintos minerales, y varía la composición mineral del suelo.

Los minerales que contienen potasio se meteorizan muy lentamente aproximadamente el 99 % del potasio del suelo se encuentra en forma mineral, el 1% se halla en forma intercambiable, cantidad mínima si se tiene en cuenta que el potasio total representa más que el total de sodio, calcio o magnesio.

Los minerales que contienen calcio son los que presentan generalmente una meteorización más rápida. El suelo posee menos calcio no intercambiable (en forma mineral), que magnesio o sodio no intercambiable. Como máximo, el suelo contiene la mitad de calcio en forma no intercambiable.

A medida que se meteorizan los minerales se eliminan las bases en forma de cationes Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y N . Parte de éstos quedan retenidos como iones intercambiables en la superficie de las arcillas y de los compuestos orgánicos y en parte se van filtrando con el agua.

El calcio se halla más retenido que el magnesio en la superficie adsorbente de las arcillas, por lo tanto, el magnesio es desplazado con mayor facilidad que el calcio. El sodio y el potasio cuentan con una sola carga, por lo tanto, son más fácilmente desplazables que los iones bivalentes y ninguno de los dos estará retenido con más fuerza que el Calcio.

Estos cuatro cationes obedecen el orden siguiente $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$, en función de la energía de adsorción (Thompson, 1982).

La adsorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación subsecuente de uno o más iones retenidos por el núcleo se denomina intercambio de cationes.

La eficiencia con la cual los iones se remplazarán unos a otros está determinada por factores como: a) la concentración relativa o número de iones, b) número de cargas sobre los iones y c) la velocidad del movimiento o actividad de los diferentes iones.

La capacidad de intercambio catiónico estará afectada por: a) la clase de arcilla, b) tanto por ciento de la arcilla y c) tanto por ciento de la materia orgánica.

La capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.) es una expresión del número de sitios de adsorción de cationes por unidad de peso del suelo. Se define como la suma total de cationes intercambiables adsorbidos expresados en miliequivalentes por 100 g de suelo secado en el horno.

La capacidad total de intercambio de cationes es el número de sitios de intercambio de coloides minerales y orgánicos (Foth, 1980).

Como se ha indicado la arcilla retiene una cantidad apreciable de hidrógeno, y el suelo será ácido, y resultará alcalino si contiene una gran cantidad de cationes (los cationes que se combinan con los OH^- para formar bases o hidróxidos).

La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de un suelo es la propiedad que tiene la fracción coloidal del mismo (arcilla y humus con tamaños de 0.002 mm ó menos) de retener cationes en forma intercambiable, por lo tanto, la C.I.C. es igual

a la suma de todos los cationes intercambiables del suelo que equivalen al número de sitios de intercambio de los coloides minerales y orgánicos.

El valor de la C.I.C. se mide en miliequivalentes / 100 g de suelo, y su valor varía de menor a 1.0 a mayor de 100 miliequivalentes por cada 100 g y se le considera como una de las propiedades o componentes más activos, junto con la materia orgánica, tanto física como químicamente.

Los coloides orgánicos son los más activos del complejo de cambio y tienen una C.I.C. de 200 meq/ 100g dentro de los coloides minerales la montmorillonita actúa con 80 meq/ 100g (arcilla tipo 2:1) y la caolinita (tipo 1:1) participa con 8%.

La elevada carga eléctrica de los coloides y la gran área de superficie, se manifiesta como una gran capacidad de intercambio cationico. La carga de los coloides del suelo tanto minerales como orgánicos es predominantemente negativa por lo cual atrae cationes positivos, y las cargas positivas atraen iones negativos.

Los cationes intercambiables del suelo son: Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++} , K^+ , H^+ , Na^+ , Fe^{++} , NH_4^+ y están en equilibrio con los cationes en solución. De manera que si los cationes son extraídos por las plantas o bien son lixiviados, la reacción transferirá iones del complejo absorbente a la solución para reponer el equilibrio, de manera que son los cationes intercambiables del complejo los que dan la fertilidad al suelo. Normalmente los cationes del complejo adsorbente exceden a los cationes solubles, citando un ejemplo tenemos que cada H^+ en la solución del suelo está respaldado por 50-100,000 iones H^+ intercambiables.

2.3.7 Metales.

Es el nombre designado a ciertos cuerpos simples, conductores de calor y de electricidad, que se distinguen por su brillo especial, cristalización, ductilidad, maleabilidad. A la temperatura ordinaria todos son sólidos con excepción del mercurio que es líquido. En su orbita exterior del átomo tienen uno, dos o tres electrones, que tienden a perder o compartir, lo cual explica su actividad química. Cuando las sales inorgánicas metálicas se disuelven, la parte metálica se ioniza siempre con una carga eléctrica positiva. El cromo es el más duro y el cesio el más blando; el mejor conductor de electricidad es la plata; le siguen el cobre, el oro y el aluminio. Unas dos terceras partes de los elementos conocidos son metales; los siete más abundantes son, en su orden: aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio, magnesio y titanio. De los comunes los más útiles son hierro, aluminio, cobre, estaño y plomo; y de los escasos, oro, plata, mercurio, níquel, tungsteno, cromo, manganeso, cobalto y vanadio (Hernández y González, 1997).

Son raras las concentraciones altas de elementos tóxicos que se presentan en forma natural. La contaminación del suelo con oligoelementos, que de acuerdo con sus características en el sitio estudiado llamamos residuos peligrosos, es

provocada por las actividades de empresas metalúrgicas, fundidoras, eléctricas, etc., y este problema se agrava con la contaminación de desechos urbanos o industriales, plaguicidas y el tránsito de vehículos.

2.3.7.1 Hierro.

Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5.6%), esta presente como elemento nativo y con dos estados de oxidación Fe (II) y Fe (III), su densidad es de 7.86 g/ml sus compuestos ferrosos (+2) y férricos (+3) tienen generalmente baja solubilidad en el agua, los nitratos son una excepción (Carson, *et al.* 1986).

Entre los principales usos esta la formación de compuestos para pigmentos, cintas magnéticas, desinfectantes, curtido y aditivo de combustibles.

Muchos afluentes de agua están envenenados por altos niveles de hierro resultantes del drenaje de las minas; la pirita (sulfuro de hierro), se encuentra a menudo asociada a los depósitos de carbón (Duffus, 1983).

El Fe que se encuentra en las aguas utilizadas para la irrigación no ocasiona efectos tóxicos en las plantas. Las funciones y los efectos fisiológicos del hierro en las plantas depende de los cambios en sus estados de oxidación, entre Fe (II) y Fe (III), y de la formación de complejos con radicales orgánicos e inorgánicos. Las raíces de Las plantas reducen Fe (III) a Fe (II) y este proceso parece que es un requisito esencial para absorberlo a partir de la solución del suelo (Wild, 1992).

El hierro es un micronutriente esencial para la mayoría de los organismos, pero la ingestión de cantidades excesivas puede originar la inhibición de la actividad de varias enzimas.

La cantidad consumida debe ser grande debido a que solo una pequeña proporción del hierro ingerido es absorbida en el tracto intestinal. La inhalación de polvos de hierro causa una pneumoconiosis benigna y puede resaltar Los efectos dañinos del bióxido de azufre y varios carcinógenos (Duffus, 1983).

En la toxicidad aguda como primer signo se presenta el vómito, seguido por sangrado intestinal, letargo y quizás cianosis; una excesiva absorción puede conducir hemosiderosis (un incremento generalizado del contenido de Fe) posiblemente acompañado por fibrosis (Carson *et al.*, 1986).

2.3.7.2 Cobre.

El cobre se encuentra en forma mineral en la corteza terrestre en una concentración de 55 ppm, es uno de los elementos traza más abundantes, importante y esencial para plantas y animales, suele ser benéfico y esencial en el metabolismo del hombre; actualmente se sabe que una deficiencia ocasiona anemia, pérdida del pigmento del pelo, reducción en el crecimiento y pérdida de la elasticidad arterial.

Presenta dos valencias en los compuestos en forma natural. El Cu (I) es 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 su estado de oxidación, en las rocas se disuelve mediante el desgaste natural principalmente como Cu (II). Siempre y cuando la solución permanezca ligeramente ácida (Mortvedt, 1983).

Es ampliamente usado en su estado metálico, ya sea en forma pura o en aleaciones. El Cu metálico se prepara por fundición y refinado electrolítico; su principal uso es la producción de cable para conducir la electricidad, utilizado en aleaciones, fungicidas e insecticidas. Otros compuestos son usados como pigmentos en pinturas y cerámica (Alloway, 1990).

El cobre desempeña un papel muy importante en el metabolismo biológico (enzimas). Puede encontrarse en forma de trazas, es decir inferior a 1 mg/L en ciertas aguas naturales. Puede encontrarse en concentraciones muy altas en el agua, sedimentos y biota como resultado de las actividades mineras, el uso intensivo de los pellets de cobre en la cría de cerdos o de la aplicación de fungicidas de cobre (Duffus, 1983).

Aparte de la contaminación industrial o de los tratamientos agrícolas, este metal proviene habitualmente de la corrosión de las tuberías y más raramente constituye el residuo de un tratamiento de las algas por las sales de cobre; en algunas aguas dulces, las concentraciones próximas a 0.5 mg/L pueden colorear la porcelana de los fregaderos y provocar un ennegrecimiento en ciertos productos alimenticios después de cocerlos (espárragos, champiñones, etc.). Salvo para algunas especies (salmónidos), no parece que los contenidos inferiores a 1 mg/L sean tóxicos para los peces.

Contrariamente, la vida acuática puede perturbarse con dosis inferiores, pero las condiciones de toxicidad varían según las especies y composición del agua. El cobre es susceptible de perturbar la depuración de las aguas residuales por los lodos activados, en contenidos pequeños (1 mg/L) y la digestión de los lodos en contenidos más elevados (100 mg/L), (Rodier, 1990).

En las aguas industriales es importante conocer su contenido debido principalmente a la influencia que tiene en los procesos de corrosión y sedimentación, se puede depositar en forma metálica en tuberías y calderas, debido quizá a la disolución de una cantidad equivalente de hierro. Hasta ahora, el papel que juega en la corrosión de las calderas no se ha explicado del todo satisfactoriamente; algunos autores piensan que el cobre no es la causa primordial de dicha corrosión, pero una vez que se inicia, la acelera. Pequeñísimas cantidades pueden corroer también al aluminio, sobre todo en agua dura (ASTM, 1991).

La disponibilidad en plantas depende de la facilidad con la cual el ion Cu (II) hexahidratado es absorbido por las plantas en los suelos ácidos y como

hidróxido de Cu (II) en suelos alcalinos o neutros (Fernández, 1991). También juega un papel importante en la fotosíntesis como constituyente esencial de la plastocianina (Wild, 1992).

El cobre en el organismo humano es absorbido activamente en el estómago y en el duodeno. Típicamente cerca de la mitad de una dosis puede ser absorbida, pero esto puede ser disminuido por competencia con el zinc. Una sobredosis aguda provoca un inmediato sabor metálico, seguido de una inflamación epigástrica, náuseas, vómito, y en varios casos severos diarrea; casos fatales siempre incluyen efectos secundarios tales como hipertensión, shock y coma (Carson, *et al.*, 1986).

2.3.7.3 Zinc.

Es un elemento traza esencial para los humanos, plantas superiores y animales. Se estima que la concentración en la corteza terrestre van de 5 a 200 ppm. La concentración en los cuerpos de agua se relaciona con las actividades del hombre y con los escurrimientos urbanos e industriales. Este elemento es relativamente no tóxico y resulta ser esencial en el hombre adulto, que lo ingiere en concentraciones de 15 mg/día (Albert, 1995).

Los principales usos del zinc incluyen el recubrimiento para protección de Fe y acero en los procesos de galvanizado, también como ingrediente de aleaciones, como protección en recubrimiento de otros metales para prevenir la corrosión, aparatos eléctricos especialmente para celdas de baterías secas, materiales de construcción, recubrimiento de carros de ferrocarril.

Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como uno de los elementos menos peligrosos, aunque su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de impurezas de arsénico, plomo, cadmio y antimonio (Duffus, 1983).

El ZnO, ZnS, y Zn(CN), son prácticamente insolubles en agua. Su disponibilidad en el suelo se ve afectada por una serie de factores tales como el pH, contenido total de materia orgánica, sitios de adsorción, actividad microbiana, humedad, condiciones climáticas e interferencia entre el zinc y otros macro y micronutrientes (Morvedt, 1983).

En la planta actúa como componente de enzimas o como factor en la regulación de un buen número de ellas. El hombre lo ingiere en concentraciones de 15 mg/día, por otro lado la dieta deficiente en Zn puede afectar el crecimiento, la pérdida de sabor y en la etapa de pospubertad causa hipogonadismo y decremento en la fertilidad pero la ingestión de 2g. o más produce síntomas tóxicos. El Zn como ion es escasamente absorbido pero las sales ácidas son corrosivas a la piel y tracto gastrointestinal (Duffus, 1983).

3 JUSTIFICACION.

Desde el momento en que se generan residuos peligrosos por alguna fuente y que al moverse interactúan con los distintos elementos que conforman el ambiente, tanto bióticos como abióticos ocasionan efectos ecotóxicos o de otra índole, dichos efectos provocan en el momento de su liberación, o posteriormente impactos adversos al ecosistema (inmediatos o diferidos).

Por otra parte la densidad y el tamaño de las partículas metálicas presentes pueden moverse por aire y dar lugar a exposiciones por inhalación o absorción dérmica.

El sitio afectado es un ecosistema vulnerable a los efectos nocivos de los residuos peligrosos por el hecho de que existe material parental expuesto y fracturado, las escorias, polvos y residuos metálicos presentes pueden disolverse en agua, penetrar y migrar a través de los suelos, alcanzando los mantos freáticos y los acuíferos subterráneos, pudiendo transferirse a diferentes niveles tróficos, llegando a los seres humanos.

Los residuos de la industria Metalúrgica que fueron depositados en el sitio de estudio se clasifican como residuos peligrosos por listado, de acuerdo a la NOM-052-ECOL/93. Este evento puede catalogarse como de "peligro para la salud pública y el ambiente".

La población local realizaba actividades de recolección de materiales metálicos, en las regiones cercanas, se han presentado eventos de salud que han alertado a la comunidad local, por lo cual el Consejo Estatal de Ecología (COEDE) solicitó un estudio del emplazamiento a fin de conocer los tipos de contaminantes y los peligros asociados a dichos residuos.

Aunado a lo anterior, la exposición a los contaminantes existentes en el sitio de estudio significan una importante fuente de contaminación de los pozos cercanos y terrenos adyacentes debido al transporte por la precipitación pluvial y la dispersión atmosférica, convirtiéndose en un factor que incrementa el peligro de otros padecimientos.

La población expuesta más importante la componen las personas que realizaban las actividades de recolección, con diferentes rutas de exposición, como serían a través del contacto directo, inhalación de compuestos volátiles o mediante la dispersión e inhalación de partículas sólidas, asociado a la alta insolación y vientos fuertes, que reflejan una alta inestabilidad atmosférica (LIDET, 1998).

4 HIPOTESIS.

Sí se conocen las características edafológicas del sitio contaminado, así como la dinámica y el tipo de residuos provenientes de la industria metalmecánica, que en este caso principalmente son: Cu, Fe y Zn, entonces se puede proponer un tratamiento *in situ* adecuado para dichos residuos, de tal manera que se evite la migración de estos a fuentes cercanas evitando así daños ecológicos mayores y el sitio contaminado sea saneado.

5 OBJETIVOS.

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento *in situ* para suelo contaminado con residuos peligrosos del giro metal-mecánico depositados al aire libre, de tal forma que se minimice la contaminación y se recupere el suelo dañado.

5.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- 5.2.1 Conocer las características edafológicas del sitio contaminado, por medio de los parámetros físicos y químicos del suelo.
- 5.2.2 Conocer la dinámica del tipo de residuos peligrosos, que son: cobre, hierro y zinc, en el suelo contaminado.
- 5.2.3 Recuperar un emplazamiento de suelo contaminado con cobre, hierro y zinc, minimizando los daños al ambiente, por medio de un tratamiento *in situ* en el suelo; aplicando tecnología en campo por medio de técnicas de oxidación, quelatación y fertilización.
- 5.2.4 Reducir las cantidades presentes de cobre, hierro y zinc. Evaluar el grado de contaminación del suelo después del tratamiento, es decir, las condiciones finales del emplazamiento, por medio de la comparación de los valores obtenidos del suelo contaminado y el tratado.

6 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

6.1 Localización.

El Estado de Hidalgo forma parte de la zona centro del país y cuenta con una superficie de 20905.12 km². Se localiza entre las coordenadas 19°36' y 21°24' de latitud Norte y 97°53' y 99°58' de longitud Oeste.



FIGURA 1. Localización de la Zona de Estudio

Colinda al Norte con Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz, al Este con Veracruz y Puebla, al Sur con Tlaxcala y el Edo. de México, y al Oeste con Edo. de México y Querétaro de Arteaga.

La zona de estudio se encuentra ubicada, en el Estado de Hidalgo, a 500 metros de la carretera Número 85 (México-Laredo), se localiza entre los paralelos 19° 45' y 20° 42' de latitud Norte y 98° 27' y 98° 08' de longitud Oeste, a una altitud de 2,070 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con el Municipio de Actopan, al Sur con San Agustín Tlaxiaca; al Este con el Mineral del Chico y al Oeste con Actopan (INEGI, 1996).

Pertenece a la Provincia del Eje Neovolcánico, que se caracteriza como una enorme masa de rocas volcánicas de todos los tipos, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Terciario (unos 35 millones de años

atrás) hasta el presente. Esta región está integrada por grandes Sierras volcánicas o coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto y depósitos de arenas y cenizas, entre otras formaciones, que se encuentran dispersos entre llanuras. Incluye la cadena de grandes estrato-volcanes denominada "Eje Neovolcánico".

6.2 Geomorfología y geología.

La zona de estudio se localiza sobre una geoforma de laderas tendidas con una exposición Norte y con una pendiente menor al 7% y que se suaviza paulatinamente hasta llegar a la Autopista México-Laredo; el material geológico esta compuesto por rocas ígneas extrusivas básicas y calizas, con estratificaciones sedimentarias, que favorecen la formación de complejos con vulcanosedimentarios.

6.3 Clima.

Predomina el clima Semiseco con lluvias en verano. Tiene una temperatura media anual igual a 14.8 °C, con una máxima en mayo de 17.3 °C y la mínima en noviembre de 9.4 °C. La precipitación anual total es de 543.4 mm con una máxima incidencia en septiembre con 117.4 mm y una mínima en enero de 8.8 mm. Este tipo de clima colinda con el Clima seco semicálido con lluvias en verano con una temperatura media de 18.5 °C con un máxima en junio con 24.7 °C y una mínima en enero de 8.3 °C; la precipitación total anual es de 364.6 mm con una precipitación máxima en junio de 66.3 y una mínima en febrero de 3.3 mm.

6.4 Suelo.

Los suelos de la zona de estudios corresponden a la Unidad Feozem calcárico y Feozem Haplico con una textura media, cuya simbología, de acuerdo a la Clasificación FAO/UNESCO, es Hc+Hh/2. Se desarrollan sobre las planicies o laderas tendidas de esta zona y son suelos poco profundos, alrededor de 50 cm, y normalmente se destina a actividades agrícolas de temporal y a las actividades pecuarias, son moderadamente productivos, sin embargo, la fuerte restricción climática, como es un periodo errático de lluvias y la presencia de intemperismos severos, impiden una explotación más intensiva.

6.5 Vegetación.

La presencia de los diferentes tipos de suelos, así como los climas, determinan en cierta medida la existencia de las especies vegetativas, sin embargo, la mano del hombre influye de manera tajante en su alteración.

En las áreas ocupadas con agricultura en el Carso Huasteco destacan cultivos de naranja, café, maíz, tabaco, frijol, cebada, maguey pulquero, cacahuate, alfalfa, mango, aguacate y nuez, entre otros. Esta subprovincia presenta una gran variedad de tipos vegetativos. Por su extensión (41.31 %) los bosques son los

mejor representados con especies de: mesófilos de montaña, de encino-pino, de encino, de pino y de pino-encino.

Las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo se encuentran cultivos de alfafa, maíz, trigo, cebada, chile, jitomate, avena y frijol, entre otros cultivos.

Esta subprovincia ha sido desprovista de su vegetación natural para dar paso a labores agrícolas y se encuentran especies de matorrales que ocupan una tercera parte de la superficie con vegetación natural, el resto es de bosques y pastizales.

En la subprovincia de los Lagos y Volcanes de Anáhuac el 62% de los terrenos se dedican a la actividad agrícola de temporal y de riego con cultivos de cebada, maíz, haba, maguey, arvejón, nopal, girasol, sorgo además de otros cultivos.

El paisaje natural es de matorral crasicaule, pastizal, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino.

Las Llanuras y Lomeríos presentan condiciones favorables para el desarrollo de pastizales y la labranza se realiza por tracción animal, la producción que se obtiene se destina a la alimentación del ganado.

El 82% de la superficie está ocupado por pastizales, en el resto de la superficie se encuentran especies vegetativas de selva mediana subperennifolia y selva alta perennifolia.

6.6 Hidrología.

En el estado de Hidalgo las corrientes son escasas. Esto se debe a dos factores primordialmente: el clima y la topografía. La explotación del agua subterránea es baja, pues son pocas las áreas planas. El Estado de Hidalgo se encuentra comprendido casi en su totalidad dentro de la cuenca "Río Panuco", con una superficie de 19,730.60 Km² y tiene como corriente principal el río Moctezuma, que se origina en el cerro La Bufa, Estado de México, a 3,800 m.s.n.m. En su inicio es denominado San Jerónimo.

Los afluentes de esta corriente en territorio hidalguense son: el río Tizahuapan, que nace en la Sierra de Pachuca. El Metztlán, que se origina en Puebla y deposita sus aguas en la laguna de Metztlán con el nombre de río Tulancingo, para continuar posteriormente su curso hasta el Moctezuma, como río Amajac. El río Tula, generado en el Estado de México, inicia su recorrido con dirección norte hasta la población de Ixmiquilpan, de ahí cambia su curso hacia el noroeste para después confluir con el río San Juan del Río, a partir de donde recibe la denominación de río Moctezuma y funciona como límite natural entre Querétaro e Hidalgo (INEGI, 1992).

6.7 Delimitación de la zona de estudio.

El Sitio se ubica a 150 metros de un camino de terracería que comunica a la localidad con la Autopista México-Laredo, misma que se encuentra a 500 m de distancia.



FIGURA 2. Esquema de carreteras y caminos de México, Edo. de Hidalgo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El sitio de muestreo consistió de un rectángulo irregular con las siguientes medidas:

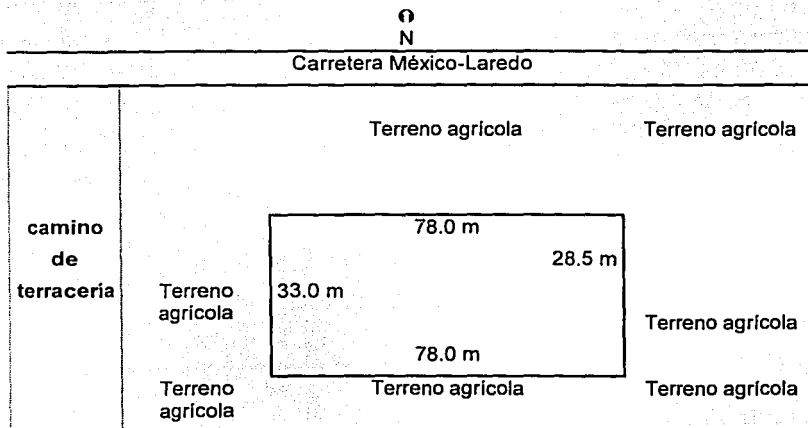


FIGURA 3. Esquema del sitio de muestreo.

Fuente: LIDET, 1998.

De esta forma se tiene una superficie aproximada de $2,398.5 \text{ m}^2$. El sitio presenta evidencias de haber sido sometido a la extracción del suelo superficial y el depósito de los residuos industriales esta directamente sobre el material parental; existe un desnivel con el terreno colindante hacia el Sur de 1.90 metros y una pendiente general ligera de los terrenos adyacentes del 7%.

El uso del suelo corresponde a una agricultura de temporal, con una cobertura vegetal incipiente con algunos arbustos y agaves en los linderos de los terrenos y con restos de la cosecha pasada sobre la superficie del terreno.

El sitio empezó a recibir residuos industriales del giro metal-mecánico, como consecuencia de la extracción y procesamiento de minerales metálicos desde 1990. La población local aprovechaba para recolectar residuos metálicos y realizar su comercialización (LIDET, 1998).

7 METODOLOGIA.

7.1 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL ESTUDIO.

- Toma de muestra.
- Se evaluó el contenido de Cu, Fe y Zn del suelo no contaminado y del contaminado.
- Limpieza manual del sitio de agregados metálicos.
- Preparación de soluciones de lavado.
- Preparación de tinas para lavado de agregados metálicos.
- Lavado de agregados metálicos en tinas especialmente adaptadas.
- Se recuperaron los lixiviados.
- Los lixiviados recuperados se evaporaron al aire libre.
- Se reincorporo el suelo con un primer lavado al emplazamiento.
- El suelo se llevó a capacidad de campo.
- Lavado de suelo contaminado "*in situ*" con solución ácida.
- Lavado de suelo contaminado "*in situ*" con solución quelante.
- Se adiciono materia orgánica al emplazamiento.
- Se evaluó de la remoción de Cu, Fe y Zn en el emplazamiento.

7.2 MUESTREO

Se tomaron dentro del Sitio 48 muestras representativas de suelo a una profundidad de 20 cm con un barreno de acero inoxidable.

El muestreo consistió en dividir la zona de estudio trazando cuadrantes, se tomaron tres muestras simples por cuadrante; cabe mencionar que el suelo superficial suele perderse por la erosión debiendo tomar muestras consistentes en material geológico y residuos industriales.

Posteriormente se homogenizaron todas las muestras simples formando una sola muestra compuesta y con ayuda de una pala se acomodó el material de manera que quedara de un tamaño similar.

Se tomó una muestra final de aproximadamente 3kg mediante la técnica del cuarteo, que consistió en colocar la muestra compuesta sobre una superficie que no permitió el contacto con el suelo, se esparció formando un cuadrado, el cual se dividió en cuatro partes iguales y se tomaron dos cuadros opuestos de la figura obteniendo así dicha muestra, el material se almacenó en recipientes específicos para cada uno de los parámetros a analizar.

7.3 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Cuadro 5. Parámetros de Campo

Parámetro	Técnica
pH Real	Potenciometría (suelo:agua, 1:2.5)
pH Potencial	Potenciometría (suelo:KCl, 1:2.5)

Cuadro 6. Parámetros de laboratorio

Parámetro	Técnica
Textura (clase Textural)	Bouyoucos
Densidad Aparente (g/mL)	De la probeta
Densidad Real (g/mL)	Picnómetro
Porosidad (%)	Relación D. Ap. y D. Real
Materia Orgánica (%)	Walkley y Black
Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol/kg ó meq/100g)	Extracción (CaCl ₂) Titulación (versenato)
Determinación de Metales (ppm)	Espectrofotometría de absorción atómica

8 RESULTADOS.

Cuadro 7. Resultados Físicos y Químicos

Parámetro	Valor Medio
pH Real	8.31
pH Potencial	7.33
Textura (clase Textural)	Migajón / Arcillo / Arenoso
% Arena (*)	47
% Limo (*)	25
% Arcilla (*)	28
Densidad Aparente (g/mL)	1.34 (g/mL)
Densidad Real (g/mL)	2.29 (g/mL)
Porosidad (%)	41.53
Materia Orgánica (%)	0.697
Capacidad de Intercambio Catiónico	15.01 cmol/kg ó meq/100g

(*) Clase textural

Los análisis de realizaron por triplicado.

Cuadro 8. Determinación de metales en suelo testigo

METALES ANALIZADOS	LIMITES DE DETECCIÓN DEL ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA LIDET, 1998	RESULTADO DE SUELO NO CONTAMINADO (TESTIGO)
HIERRO	0.1 ppm	<0.1 ppm
COBRE	0.1 ppm	<0.1 ppm
ZINC	0.030 ppm	<0.030 ppm

Cuadro 9. Determinación de Hierro en el suelo

TRATAMIENTO EMPLAZAMIENTO	CONDICION INICIAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCIÓN DE HIERRO CON TRATAMIENTO	CONDICION FINAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCIÓN DE HIERRO %
INMEDIATO	23343 mg/kg	15866 mg/kg	7477 mg/kg	67.96
24 HORAS	23343 mg/kg	16497 mg/kg	6846 mg/kg	70.67
48 HORAS	23343 mg/kg	16986 mg/kg	6357 mg/kg	72.76

Cuadro 10. Determinación de Cobre en el suelo

TRATAMIENTO EMPLAZAMIENTO	CONDICION INICIAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCIÓN DE COBRE CON TRATAMIENTO	CONDICION FINAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCIÓN DE COBRE %
INMEDIATO	1229 mg/kg	473 mg/kg	756 mg/kg	38.48
24 HORAS	1229 mg/kg	473 mg/kg	756 mg/kg	38.48
48 HORAS	1229 mg/kg	485 mg/kg	744 mg/kg	39.52

Cuadro 11. Determinación de Zinc en el suelo

TRATAMIENTO EMPLAZAMIENTO	CONDICION INICIAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCION DE ZINC CON TRATAMIENTO	CONDICIÓN FINAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCION DE ZINC %
INMEDIATO	1419.06 mg/kg	623.12 mg/kg	795.94 mg/kg	43.91
24 HORAS	1419.06 mg/kg	879 mg/kg	540.06 mg/kg	61.97
48 HORAS	1419.06 mg/kg	895 mg/kg	524.06 mg/kg	63.08

Cuadro 12. Determinación de remoción de metales en tiempo óptimo

TRATAMIENTO EMPLAZAMIENTO TIEMPO OPTIMO	CONDICION INICIAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCION DE LOS METALES CON TRATAMIENTO	CONDICIÓN FINAL DEL EMPLAZAMIENTO	REMOCION %
HIERRO	23343 mg/kg	16497 mg/kg	6846 mg/kg	70.67
COBRE	1229 mg/kg	473 mg/kg	756 mg/kg	38.48
ZINC	1419.06 mg/kg	879 mg/kg	540.06 mg/kg	61.97

9 DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

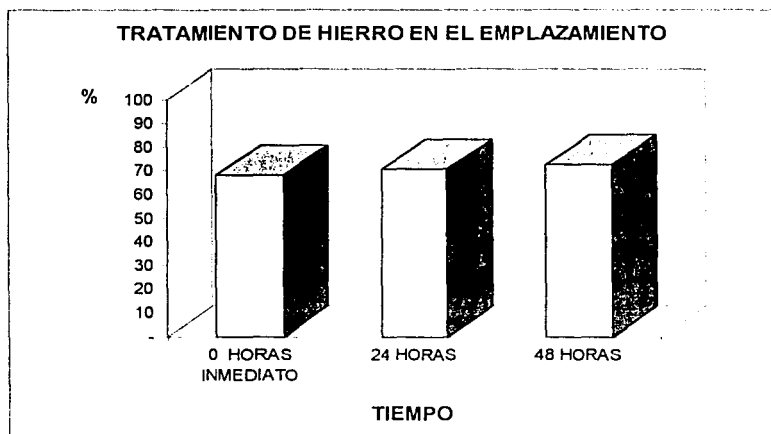
CRITERIO PARA EL TIEMPO DE TRATAMIENTO

Para el tratamiento del suelo contaminado se tomó como criterio la remoción de metales más optima de acuerdo al tiempo para cada tratamiento:

◊ Tratamiento:

- 0 horas
- 24 horas
- 48 horas

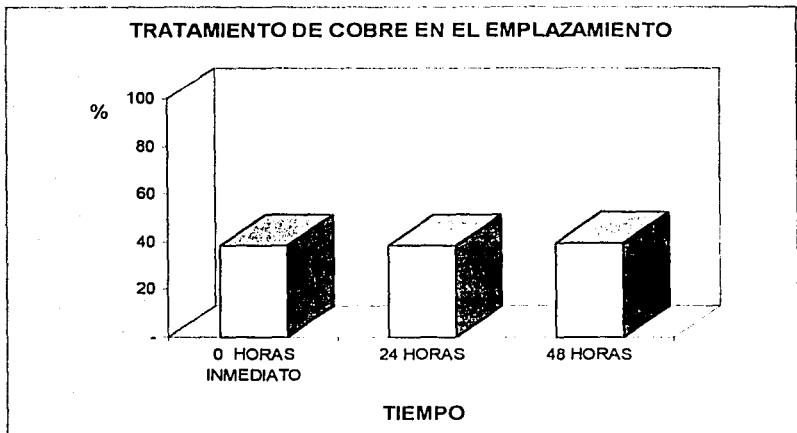
A continuación se muestran los diferentes tiempos de tratamiento:



GRAFICA 1

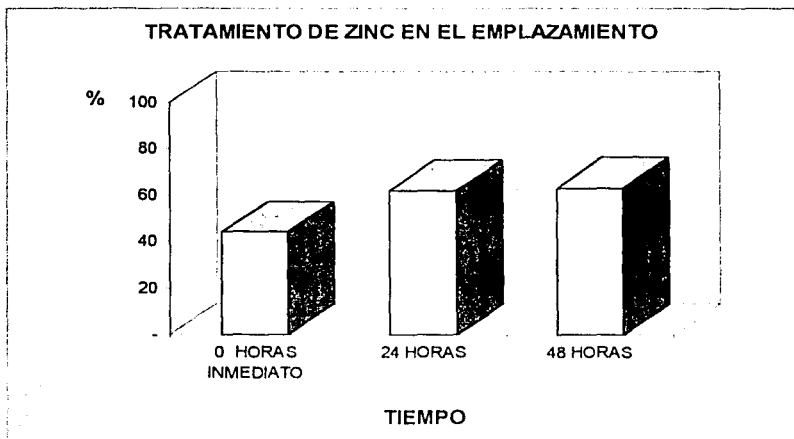
La diferencia de remoción en hierro de 0 a 48hr fue del $\pm 3\%$, fue el elemento que se encontró con mayor abundancia y el que mejor respondió al tratamiento, la diferencia de remoción para poder tomar un criterio de tratamiento de acuerdo al tiempo no fue representativa para este elemento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



GRAFICA 2

Al igual que el hierro, la diferencia de remoción de cobre fue escasa, comparando la remoción de 0 a 48hr apenas fue del $\pm 2\%$, este tampoco fue un indicador para tomar una decisión para el tiempo de reacción del tratamiento.



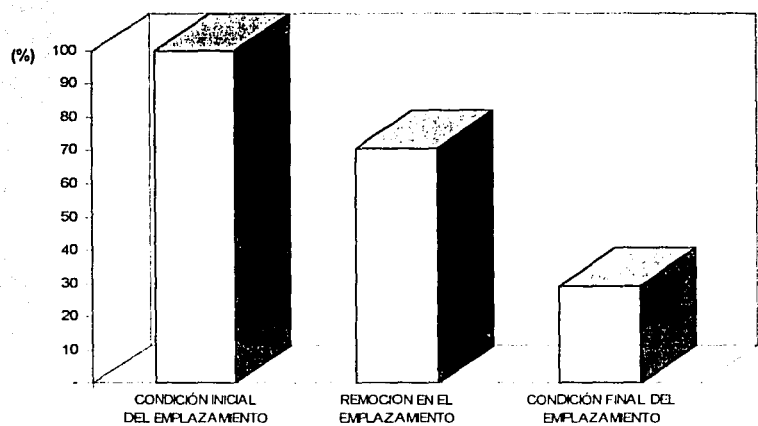
GRAFICA 3

La remoción de zinc de tiempo 0 a 24 hr fue muy notable en el emplazamiento, fue del $\pm 18\%$, de tal forma que se decidió trabajar de 0 a 24hr para obtener la mayor remoción posible de zinc, además de que el tiempo de remoción a 48hr tuvo apenas una diferencia de $\pm 3\%$ con respecto al tratamiento de 24hr, este tratamiento fue el más óptimo para trabajar, ya que, de 24 a 48hr sólo se hubiera obtenido un pequeño porcentaje más de remoción, y los gastos del estudio hubieran incrementado de forma considerable por la estancia del equipo de trabajo.

Aquí se discuten los resultados en cuanto a la remoción de los metales con tratamiento a 24 horas.

HIERRO

HIERRO TRATAMIENTO EN EMPLAZAMIENTO
24 HORAS



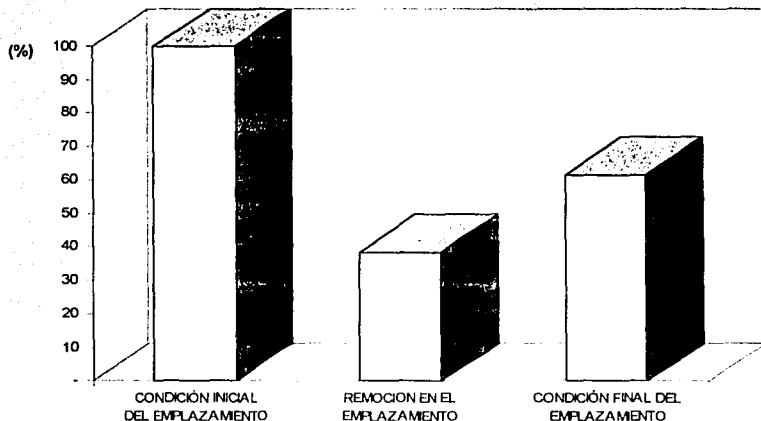
GRAFICA 4

El hierro fue el metal que se encontró en mayor concentración en el sitio, por tanto, se esperaba que fuera el metal mayormente removido de acuerdo a su número de coordinación. La concentración inicial en el predio fue de 23,343.75 mg/kg, después del tratamiento se removieron cerca de 16,497.00 mg/kg, quedando finalmente 6,846.00 mg/kg; el Hierro además de encontrarse en mayor cantidad, normalmente se presenta con un número de coordinación máximo de seis, mayor que el Cobre y el Zinc con cuatro, este número de coordinación le confirió al hierro una mayor posibilidad de enlace para la formación de complejos.

TRABAJA CON
FALLA DE ORIGEN

COBRE

COBRE TRATAMIENTO EN EL EMPLAZAMIENTO 24 HORAS



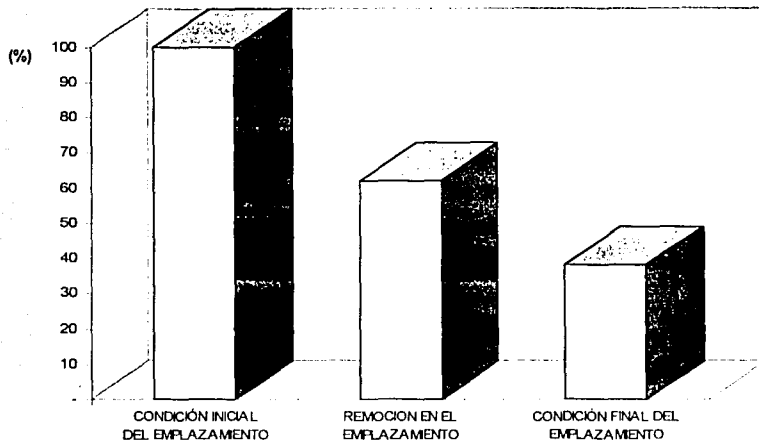
GRAFICA 5

Para el cobre la remoción no fue tan eficiente porque las especies químicas para su remoción al parecer fueron más específicas que para los otros metales, la concentración inicial en el sitio fue de 1,229.00 mg/kg, después del tratamiento se removieron cerca de 473.00 mg/kg, quedando finalmente 756.00 mg/kg; el cobre además de encontrarse en menor cantidad en comparación con el hierro y el zinc, tiene un número de coordinación de seis, pero normalmente se presenta con el número de coordinación máximo de cuatro, este número de coordinación le restó posibilidad de enlace para la formación de complejos en comparación con la remoción del hierro en el suelo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ZINC

ZINC TRATAMIENTO EN EL EMPLAZAMIENTO 24 HORAS



GRAFICA 6

El zinc fue el metal que se encontró en mayor cantidad después de el Hierro en el sitio; su remoción fue cercana en porcentaje a la del Hierro. A su vez en comparación con el cobre su remoción fue mayor notablemente (**cuadro 12**). La concentración inicial de zinc fue de 1,416.06 mg/kg, después del tratamiento se removieron cerca de 879.00 mg/kg, quedando finalmente 540.06 mg/kg; el zinc tiene un número de coordinación de seis, pero normalmente se presenta con el número de coordinación máximo de cuatro al igual que el cobre, este número de coordinación le restó posibilidad de enlace para la formación de complejos a diferencia del tratamiento para Hierro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para determinar la dinámica de los contaminantes, fue necesario realizar diferentes pruebas de campo y laboratorio, los resultados de las pruebas Físicas y Químicas se discuten a continuación:

Textura.

El suelo contaba con una textura: Migajón / Arcillo / Arenoso, esta composición textural tendió a adsorber a los metales pesados, que quedaron retenidos en sus posiciones de cambio. Sin embargo, su propiedad arenosa al mismo tiempo provocó carencia de capacidad de fijación de los metales; esto lo observamos por la remoción en tiempo óptimo, que para el caso de mayor porcentaje (hierro), fue de 70.67%, lo cual pudo haber ocurrido, por que el suelo no tiene la capacidad de adsorber un 100% de metales debido a la pobre contribución de arcilla con 28% en el suelo, cuadro 7.

Dentro de las propiedades físicas del suelo del emplazamiento destaca el hecho de tener una textura media, teniendo así, una capacidad de retención de metales media.

Estructura.

Favoreció la entrada e infiltración de metales pesados en el suelo. La textura media del suelo le confirió una porosidad dominada por macroporos, lo que favoreció un moderado drenaje e infiltración.

Capacidad de cambio.

El porcentaje de arcilla encontrado en la textura indica un contenido medio de sitios de intercambio catiónico donde quedaron fijados los contaminantes que pasaron a la solución del suelo.

En cuanto mayor es la capacidad de intercambio catiónico, mayor es la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos. El hierro al presentarse con un número de coordinación de seis, mayor que el cobre y el zinc con cuatro, tuvo una mayor posibilidad de enlace para la formación de complejos de acuerdo con los resultados mostrados en el cuadro 12.

pH.

El potencial de hidrógeno fue un factor esencial para llevar a cabo este trabajo, ya que la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, tan bajo como 5.5 o menos, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino.

El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos formando nuevos compuestos.

En cada suelo hay una relación entre el porcentaje de bases (o saturación de pH), y el pH. El suelo tratado inicialmente tuvo un pH de 7.33 este esta asociado con una saturación de Hidrógeno del 13% y una saturación de base del 88% (con una CIC de 15.01 cmol/kg ó meq/100g).

La adsorción de Fe, Cu y Zn fue fuertemente condicionada por el pH del suelo porque al momento de reducir el pH agregando un ácido fuerte, aumentamos el porcentaje de hidrógeno, logrando una saturación de bases, esto se debe a que el hidrógeno intercambiable está débilmente adsorbido a las micelas que son las bases intercambiables, las cuales están constituidas en particular, por calcio y magnesio divalentes.

La disponibilidad de los nutrimentos aumenta o disminuye dependiendo del valor del pH; para el Fe aumenta a partir de 7.8 y con un índice de pH de 5 hacia abajo, para Cu y Zn es todo lo contrario de 5 hacia abajo son menos asimilables. Esto explica el hecho de haber tenido una mejor remoción de Fe a pH ácido y no de la misma forma para Cu y Zn.

Materia Orgánica.

La materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil.

Es evidente que al trabajar en un lugar árido, este es pobre en materia orgánica, el análisis de laboratorio dio como resultado 0.697% de M.O.

La materia orgánica puede adsorber fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que puede quedar no disponible para las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu.

La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo.

El bajo contenido de materia orgánica resultante en el emplazamiento en conjunto con una capacidad de intercambio catiónico media, dio como resultado una

capacidad media para adsorber los contaminantes encontrados en la solución del suelo.

Dinámica de los metales pesados en el suelo

Los metales pesados incorporados al suelo siguieron cuatro diferentes vías:

- Quedaron retenidos en el suelo por procesos de adsorción, complejación, precipitación y también en los lixiviados eliminándolos, así del suelo tratado.
- Por medio de la evaporación controlada se disminuyeron lixiviados, pasando a la atmósfera por volatilización.
- El lodo restante de los lixiviados se entregó al dueño del predio para confinarlo adecuadamente.
- Existe la posibilidad de que una parte se haya podido movilizar a las aguas superficiales o subterráneas.
- Por último fueron absorbidos por las plantas y se incorporaron a las cadenas tróficas.

Factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad

La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino de las características del suelo donde se encuentre, que van a ser decisivas. La sensibilidad de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes va a ser muy distinta dependiendo de una serie de características edáficas ya antes descritas.

Cuadro 13. Retención y disponibilidad de contaminantes en el suelo

Forma de retención en el suelo	Disponibilidad relativa
Iones en solución del suelo	Fácilmente disponible
Ión en complejo de cambio	Relativamente disponibles pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos
Metales quelados por compuestos orgánicos	Menos disponibles
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre alguna alteración química
Metal incorporado a la matriz biológica	Disponible después de la descomposición
Metal en la estructura mineral	Disponible después de la meteorización

Fuente: Kabata Pendias, A y Pendias, H. 1992.

Al ir transcurriendo el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales, ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes.

En general se considera que la movilidad de los metales pesados fue baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Es por ello que la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial seguida de un

drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad es un buen criterio de diagnóstico de saneamiento del sitio.

10 CONCLUSIONES.

A partir del análisis y discusión de los resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Es posible llevar a cabo el diseño, planeación y el manejo de un sistema de tratamiento *in situ* para suelo contaminado con residuos peligrosos, si se conocen las características edafológicas del sitio contaminado, así, como la dinámica de los contaminantes.
2. Se recupero un emplazamiento de suelo contaminado con metales pesados, minimizando los daños al ambiente, por medio de un tratamiento *in situ* en el suelo.
3. Se minimizaron las cantidades presentes de Cu, Fe y Zn, aplicando tecnología en campo por medio de técnicas de oxidación, quelatación y adición de materia orgánica.
4. Se evaluó el grado de contaminación del suelo después del tratamiento, es decir, las condiciones finales del emplazamiento, por medio de la comparación de los valores obtenidos del suelo contaminado y el tratado por medio de la técnica de absorción atómica, observando una extracción considerable de los contaminantes, de tal forma, se constato que las técnicas empleadas para este trabajo fueron efectivas.
5. Al no haber materia orgánica en abundancia en el predio se evito la migración de los complejos órgano metálicos que pudieran migrar con mayor facilidad a través del perfil.
6. Los números de coordinación que normalmente presentan los metales en cuestión fue un factor importante para su remoción del suelo contaminado.
7. Las cantidades totales de metales presentes en un suelo constituye una medida poco representativa de la posible toxicidad de un metal pesado. Resulta fundamental conocer la forma química bajo la que se presenta, es decir la especiación química.
8. La toxicidad de un elemento es muy distinta dependiendo de su presentación, que va a regular no sólo su disponibilidad (según se encuentre disuelto, adsorbido, ligado o precipitado), sino que también el grado de toxicidad que presente va a depender de la forma química en sí misma.
9. Según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos.

11 RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda llevar a cabo trabajos de especiación química que permitan determinar la toxicidad real de los predios a sanear.
2. Es necesario experimentar con otro tipo de soluciones de lavado en tratamientos de suelo contaminado, para la optimización de la eficiencia en la remediación.
3. Se deben homogenizar criterios a nivel internacional para crear normas que verdaderamente rijan el equilibrio ecológico y la protección al ambiente mundial.
4. Es imperativo contar con un número mayor de centros integrales de manejo y aprovechamiento de residuos industriales, para dar abasto a los millones de toneladas de residuos peligrosos generados anualmente.
5. Es necesaria la adopción de medidas que satisfagan la demanda de disposición final de los diferentes tipos de residuos que se generan en el país; merece una atención prioritaria, para lo cual debe hacerse conciencia de la urgencia de estas, que permita un clima de concertación, de instalación, de inversión y su concreción en un futuro cercano, el desarrollo de este tipo de equipamiento en aras de facultar un desarrollo armónico entre el desarrollo y la conservación.
6. Es necesario que se realicen los estudios del medio físico para conocer la aptitud de los sitios y de las obras de infraestructura para proteger nuestro entorno, en donde se pretendan realizar este tipo de obras, garantizará que México, se profile como un país de primer mundo, garantizando la calidad de su territorio y la vida de su gente.

12 BIBLIOGRAFIA.

1. Albert, A. 1995. "Curso Básico de Toxicología ambiental". 2ª ed. Ed. Noriega, México; pp. 101-183.
2. Alloway, B. 1990. "Heavy Metals in Soils". Ed. Blackie London, USA; pp.19-28, 100-117, 268.
3. American Society for Testing and Materials (ASTM). 1991. Philadelphia, Pennsylvania. "Manual de Aguas". 3ra. ed, Ed. Limusa, México; pp. 235-238, 242-249, 256-258, 263-266, 270-287.
4. Barberá Claudio, 1989. "Pesticidas agrícolas". 3ª edición. Editorial Omega S.A. de C.V. Barcelona España; pp.35-43.
5. Bayer, L.D., W.H. Gardner y W.R. Gardner. (1980). Física de Suelos. Ed. UTEHA. México; pp. 4-5.
6. Bohn, H. L. 1993. Química del Suelo. Editorial Limusa. México; pp. 46-52
7. Buckman, 1979, Suelos, Editorial Macmillan Company, USA; pp. 215-222.
8. Buckman, O.H. 1991. "Naturaleza y propiedades de los suelos". Cuarta reimpression. Ed. Limusa S.A. de C.V. México, D.F. pp. 528-542.
9. Buold, S. W. 1986. Génesis y Clasificación de suelos. Editorial CECSA. México; pp. 66, 74-85.
10. Carson, B; Harry, V; and Joy, L. 1986. "Toxicology and Biological Monitoring of Metals in Human" Including Feasibilidad and Need. Lewis Publishers. Inc Michigan, USA; pp. 51-297.
11. Diario Oficial de la Federación 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL/93. Que establece las Características de los Residuos Peligrosos, el Listado de los mismos y los Límites que hacen a un Residuo Peligroso por su Toxicidad al Ambiente. Secretaría de Desarrollo Social, Dirección General de Normas.
12. Diario Oficial de la Federación 1996. Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; pp. 5-46. http://www.ine.gog.mx/indicadores/español/rp5_.htm
13. Duchaufour, P. 1978. Manual de Edafología. Editorial Toray-Masson, S. A, Barcelona; pp. 314-330.
14. Duffus, J. 1983. " Toxicología Ambiental ". Ed. Omega, España; pp. 24-94.
15. Enkerlin, C.E. 1997. "Ciencia ambiental y desarrollo sostenible". Internacional Thomson editores. México, D.F. ; pp. 432-444.
16. EPA 542-F-96-022 Abril de 1996. "El enjuague del suelo *in situ*". Estados Unidos <http://clu-in.com/citgiude/spanflus.htm>
17. EPA 542-F-96-023 Abril de 1996. "El enjuague del suelo *in situ*". Estados Unidos. <http://clu-in.com/citgiude/spanflus.htm>.
18. Fernández, F.R. 1991. "La química en la sociedad. Importantes repercusiones sociales de la química". UNAM; Facultad de Química. México; pp. 34-47.
19. Fisher 1989 "Química analítica cuantitativa"; pp. 213, 316-321.
20. Fitz, P. E. 1984. Suelos. Editorial CECSA. México; pp. 344-354.
21. Foth, H. D. (1980). *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*. Compañía Editorial Continental. España; pp. 133-156.
22. García I. y Dorronsor C. 2001. "Edafología". Universidad de Granada. España, <http://edafologia.ugr.es/Conta/Tema15/4Proced.html>.
23. Gaucher, G. 1971. El Suelo. Editorial Omega, S.A. España; pp. 345-365.

24. Gavande, S.A. (1979). Física de Suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa. México; pp. 34-36.
25. GRUPO DE TRABAJO 12. 1997. "SUELOS CONTAMINADOS". El Grupo de Trabajo sobre Suelos Contaminados, reunido en el marco del I Congreso Nacional del Medio Ambiente. <http://www.cofis.es/1cnma/g12.html>.
26. González M. S. 2000. "Estado de la Contaminación de los Suelos en Chile". Estación Experimental la Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias Universidad de Santiago de Chile. Chile. <http://www.usach.cl/ima/cap11.html>.
27. Hernández, F.C. y González, M.S. 1997. Reciclaje de residuos sólidos municipales, UNAM, Programa Universitario del Medio Ambiente. Circuito exterior, Cd. Universitaria 04510, México, D.F., pp. 112-115.
28. INEGI. 1992. "Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo". Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México; pp. 145-147.
29. INEGI. 1996. "Anuario Estadístico del Estado de Hidalgo". Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México; pp. 214-218.
30. Kabata Pendias, A. y Pendias, H. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2nd. Ed. CRC Press, Boca Raton. FLA., pp. 321-340.
31. LaGrea, D.M. 1996. "Gestión de residuos tóxicos". (Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos). Ed. McGraw-Hill. Madrid España; pp. 123-134, 231-234, 312-333.
32. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE, (LGEEPA). 1997. Décimo cuarta edición. Ed. Porrúa. México, D.F., pp. 78-91, 123-134.
33. LIDET. 1998. (Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico). "RESIDUOS PELIGROSOS, CRETIB". FES ZARAGOZA, UNAM., pp. 78-141.
34. Miller, G.T. 1994. "Ecología y medio ambiente". Grupo Editorial Iberoamericana S.A. de C.V. México, D.F., pp. 356-384.
35. Mortvedt, J.J. 1983. "Micronutrientes en Agricultura". Tercera Edición, AGT, Editor, S.A. México, D.F., pp. 66-68, 114-177.
36. Ponciano, R. G., Serrano, R. O., González, M.S. 1997. "Los residuos peligrosos en México". Ed. UNAM Programa Universitario de Medio Ambiente. México, D.F., pp. 123, 171-196.
37. Rivero, S. O., Garfias, V.M., González, M.S. 1997. "Residuos Peligrosos". Primera reimpression. Ed. UNAM Programa Universitario de Medio Ambiente.
38. Rodier, J. 1990. "Análisis de las aguas". Ed. Omega, S.A. España; pp. 809-823.
39. Seoanez, C.M. 1995. "Ecología Industrial". ediciones Mundi-Prensa, Madrid España; pp. 56, 87-98.
40. SIATPA 1998. Sistema de información automatizada sobre tecnologías de protección ambiental. <http://www.minsa.gob.pe/inapmas/SIATPA/Tecno.html#Incineración>.
41. Soto M, Pelaez J.A. 1999. SUELOS. <http://www.geocities.com/athens/Crete/9082> - ©
42. Tamhane, R. V. 1978. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Editorial Diana. México; pp. 322-342.
43. Thompson L. 1982, El suelo y su fertilidad, Editorial Reverté, México; pp. 122-143, 234-256.

44. Valdés P. F. 2001. <http://www.jornada.unam.mx/2001/abr01/010430/eco-valdez.html>
45. Wild, A. 1992. "Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel". Ed. Mundi-prensa, España; pp. 534-539.

13 ANEXOS

13.1 NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-052-ECOL-1993.

Que establece las Características de los Residuos Peligrosos, el Listado de los mismos y los Límites que hacen a un Residuo Peligroso por su Toxicidad al Ambiente.

CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS POR GIRO INDUSTRIAL Y PROCESO

No. DE GIRO	GIRO INDUSTRIAL Y PROCESO	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	No. INE
1.	ACABADO DE METALES Y GALVANOPLASTIA.			
1.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL LAVADO DE METALES PARA REMOVER SOLUCIONES CONCENTRADAS	RP1.1/01
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DEL DESENGRASADO	RP1.1/02
		(T)	SALES PRECIPITADAS DE LOS BAÑOS DE REGENERACION DE NIQUEL	RP1.1/03
		(T)	BAÑOS DE ANODIZACION DEL ALUMINIO	RP1.1/04
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL LATONADO	RP1.1/05
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CADMIZADO	RP1.1/06
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CROMADO	RP1.1/07
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL COBRIZADO	RP1.1/08
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL PLATEADO	RP1.1/09
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL ESTANADO	RP1.1/10
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL NIQUELADO	RP1.1/11
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL ZINCADO	RP1.1/12
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL TROPICALIZADO	RP1.1/13
		(T)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS DE LOS TANQUES DE ENFRIAMIENTO POR ACETES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES	RP1.1/14
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y SEDIMENTOS DE LOS BAÑOS DE CIANURO DE LAS OPERACIONES DE GALVANOPLASTIA	RP1.1/15

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

	(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS DE CIANURO DE LOS TANQUES DE LIMPIEZA CON SALES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES	RP1.1/16
	(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESÍDUOS PROVENIENTES DE LOS BAÑOS DE FOSFATIZADO	RP1.1/17
	(T,C)	RESIDUOS DE CATALIZADORES AGOTADOS	RP1.1/18
	(T)	RESIDUOS CONTENIENDO MERCURIO DE LOS PROCESOS ELECTROLITICOS	RP1.1/19
2.		BENEFICIO DE METALES.	
2.1		FUNDICION DE PLOMO PRIMARIA.	
	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO	RP2.1/01
	(T)	LODOS PROVENIENTES DE LA LAGUNA DE EVAPORACION.	RP2.1/02
	(T)	SOLUCION RESIDUAL DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENE DEL PROCESO DEL AFINADO	RP2.1/03
2.2		FUNDICION DE PLOMO SECUNDARIO.	
	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO	RP2.2/01
	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO	RP2.2/02
	(T)	LODOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP2.2/03
	(T)	LODOS PROVENIENTES DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENEN DEL PROCESO DEL AFINADO	RP2.2/04
2.3		PRODUCCION DE ALUMINIO.	
	(C,T)	LODOS DE LAS SOLUCIONES DE CAL DEL LAVADOR DE GASES EN LA FUNDICION Y REFINADO DE ALUMINIO	P2.3/01
	(C,T)	SOLUCIONES GASTADAS PROVENIENTES DE LA EXTRUSION	RP2.3/02
	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO DE FUNDICION DE CHATARRA DE ALUMINIO	RP2.3/03
2.4		PRODUCCION PRIMARIA DE COBRE.	
	(T)	LODOS DE LAS PURGAS DE LAS PLANTAS DE ACIDO	RP2.4/01
	(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE COBRE.	RP2.4/02
2.5		PRODUCCION SECUNDARIA DE COBRE.	
	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO	RP2.5/01
	(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE COBRE.	RP2.5/02
2.6		PRODUCCION DE COQUE.	
	(T)	LODOS DE DESTILACION CON CAL AMONACAL.	RP2.6/01
	(T)	LIXIVIADOS Y CENIZAS DEL PROCESO DE COQUIZADO	RP2.6/02
	(T)	LODOS DE ALQUITRAN DEL TANQUE SEDIMENTADOR.	RP2.6/03
2.7		PRODUCCION DE HIERRO Y ACERO.	
	(T)	RESIDUOS DEL ACEITE GASTADO.	RP2.7/01

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

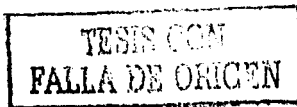
		(C,T)	LICOR GASTADO EN LAS OPERACIONES DE ACERO INOXIDABLE.	RP2.7/02
		(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE HORNOS ELECTRICOS	RP2.7/03
2.8	PRODUCCION DE ALEACIONES DE HIERRO.	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES EN LA PRODUCCION DE HIERRO-CROMO.	RP2.8/01
		(T)	COLAS EN LAS PLANTAS DE MANUFACTURA DE HIERRO-NIQUEL.	RP2.8/02
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO.	RP2.8/03
		(T)	CASCARILLA Y/O COSTRAS METALICAS ACEITOSAS DEL PROCESO DE FORJA EN CALIENTE.	RP2.8/04
2.9	PRODUCCION DE COMPUESTOS DE NIQUEL.	(T)	LODOS DE LA MANUFACTURA DE ALEACIONES DE NIQUEL.	RP2.9/01
		(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE CARBONILO DE NIQUEL.	RP2.9/02
2.10	PRODUCCION PRIMARIA DE ZINC.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y/O PURGAS DE LA PLANTA DE ACIDO.	RP2.10/01
		(T)	LODOS DEL ANODO ELECTROLITICO.	RP2.10/02
		(T)	RESIDUO DEL LIXIVIADO DE CADMIO.	RP2.10/03
3.	COMPONENTES ELECTRONICOS.			
3.1	OPERACIONES DE MAQUILA, FORMACION Y TERMO FORMACION PLASTICA DE COMPONENTES ELECTRONICOS.	(I,T)	ACEITES RESIDUALES DE LAS OPERACIONES.	RP3.1/01
3.2	OPERACIONES DE MAQUILA, QUIMICA/ELECTROQUIMICA Y REVESTIMIENTO DE COMPONENTES ELECTRONICOS.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS OPERACIONES.	RP3.2/01
3.3	OPERACIONES DE REVESTIMIENTO DE COMPONENTES ELECTRONICOS.	(T)	RESIDUOS DE PINTURA.	RP3.3/01
3.4	PRODUCCION DE CINTAS MAGNETICAS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.4/01
3.5	PRODUCCION DE CIRCUITOS ELECTRONICOS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.5/01
3.6	PRODUCCION DE SEMICONDUCTORES.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.6/01
3.7	PRODUCCION DE TUBOS ELECTRONICOS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.7/01
4.	CURTIDURIA.			
4.1	ACABADO DE PRODUCTOS DE CUERO.	(T)	RESIDUOS DE LOS ACABADOS.	RP4.1/01
4.2	CURTIDO DE CUERO.	(C,T)	RESIDUOS DE LA CURTIDURIA.	RP4.2/01
5.	EXPLOSIVOS.			

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(R,E)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP5.1/01
		(R,E)	CARBON AGOTADO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE CONTIENEN EXPLOSIVOS.	RP5.1/02
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA FABRICACION, FORMULACION Y CARGA DE LOS COMPUESTOS INICIADORES DEL PLOMO BASE	RP5.1/03
		(R,E)	AGUA ROSA-ROJA DE LAS OPERACIONES DE TNT.	RP5.1/04
		(R,E)	RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE CERILLOS Y PRODUCTOS PIROTECNICOS	RP5.1/05
		(R,E)	RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DEL PROPELENTE SOLIDO	RP5.1/06
6.	PRODUCCION DE HULE.			
6.1	HULE SINTETICO Y NATURAL.	(T)	MATERIALES DE DESECHO PROVENIENTES DE LA TRANSFORMACION EN LA MANUFACTURA DE HULE NATURAL Y SINTETICO	RP6.1/01
		(T)	RESIDUOS DE NITROBENCENO PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA HULERA.	RP6.1/02
7.	MATERIALES PLASTICOS Y RESINAS SINTETICAS.			
7.1	PRODUCCION DE FIBRA DE RAYON.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.1/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.1/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.1/03
7.2	PRODUCCION DE LATEX ESTIRENOBUTADIENO.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.2/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.2/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7.2/03
7.3	PRODUCCION DE RESINAS ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO.	(T)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.3/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.3/02
		(T,I)	LODOS DE AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.3/03
		(T)	PIGMENTOS RESIDUALES	RP7.3/04

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.4	PRODUCCION DE RESINAS DERIVADAS DEL FENOL.	(T, I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.4/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.4/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.4/03
7.5	PRODUCCION DE RESINAS POLIESTER.	(T)	CATALIZADOR GASTADO	RP7.5/01
		(T, I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.5/02
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.5/03
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.5/04
7.6	PRODUCCION DE RESINAS DE POLIURETANO.	(T)	PIGMENTOS RESIDUALES	RP7.5/05
		(T, I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.6/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	RP7.6/02
7.7	PRODUCCION DE RESINAS DE SILICON.	(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.6/03
		(T, I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.7/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	RP7.7/02
7.8	PRODUCCION DE RESINAS VINILICAS.	(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.7/03
		(T)	SOLVENTES GASTADOS	RP7.7/04
		(T, I)	FONDAJES DE TAQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.8/01
8.	METALMECANICA.	(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.8/02
8.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	ACEITES GASTADOS DE CORTE Y ENFRIAMIENTO EN LAS OPERACIONES DE TALLERES DE MAQUINADO	RP8.1/01
		(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE BARRENADO Y ESMERILADO	RP8.1/02
		(T)	SOLUCIONES DE LOS BAÑOS DE TEMPLADO PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE ENFRIAMIENTO	RP8.1/03
		(C, T)	RESIDUOS DE LAS OPERACIONES DE LIMPEZA, ALCALINA O ACIDA	RP8.1/04



	(T.)	PINTURAS, SOLVENTES, LODOS, LIMPIADORES Y RESIDUOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO, PINTANDO Y LIMPIEZA.	RP8.1/05
	(T)	LODOS PRODUCTO DE LA REGENERACION DE ACEITES GASTADOS.	RP8.1/06
9.		MINERIA.	
9.1	(T)	JALES Y COLAS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL.	RP9.1/01
9.2	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL A TRAVES DE LIXIVIACION POR CEMENTACION DE FIERRO SEGUIDO POR PRECIPITACION DEL FIERRO.	RP9.2/01
	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL POR EL PROCESO DE LIXIVIACION POR VERTIDO SEGUIDO POR PRECIPITACION DEL FIERRO.	RP9.2/02
	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE LIXIVIACION IN SITU SEGUIDA POR PRECIPITACION DEL FIERRO.	RP9.2/03
9.3.	(T)	JALES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL POR LAS TECNICAS DE FLOTACION Y LIXIVIADO EN TINA.	RP9.3/01
	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL MEZCLADOS CON OXIDOS DE COBRE USANDO LA TECNICA DE PRECIPITACION DEL FIERRO	RP9.3/02
9.4	(T)	JALES PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS POR FLOTACION.	RP9.4/01
10.		PETROLEO Y PETROQUIMICA.	
10.1	(R.)	RECORTE DE PERFORACION DE POZOS PETROLEROS EN LOS CUALES SE USEN LODOS DE EMULSION INVERSA.	RP10.1/01
10.2	(T)	NATAS DEL SISTEMA DE FLOTACION CON AIRE DISUELTO (FAD).	RP10.2/01
	(T)	LODOS DEL SEPARADOR API Y CARCAMOS	RP10.2/02
	(T)	LODOS SIN TRATAR DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO O QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS QUE REBASAN LOS LIMITES PERMITIDOS POR ESTA NORMA.	RP10.2/03
	(T)	LODOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS QUE CONTENGAN METALES PESADOS O SUBSTANCIAS TOXICAS QUE REBASAN LOS LIMITES PERMITIDOS POR ESTA NORMA.	RP10.2/04
10.3		PETROQUIMICA.	
10.3.1	(T)	POLIMERO Y CATALIZADOR USADO DE LA PURGA DE LA TORRE DE APAGADO	RP10.3.1/01

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

10.3.2	PRODUCCION DE BUTADIENO.	(T)	RESIDUOS DE LA DESHIDROGENACION DEL N-BUTANO.	RP10.3.2/01
10.3.3	PRODUCCION DE DERIVADOS CLORADOS.	(C,T,I)	CLORADOS INTERMEDIOS PROVENIENTES DEL FONDO DE LA COLUMNA REDESTILADORA DE MONOMERO DE CLORURO DE VINILO.	RP10.3.3/01
		(C,T,I)	CLORADOS PESADOS PROVENIENTES DE LOS FONDOS DE LA COLUMNA DE PURIFICACION DE DICLOROETANO	RP10.3.3/02
10.3.4	PRODUCCION DE ACETALDEHIDO.	(C,T,I)	CROTONALDEHIDO RESIDUAL DEL CORTE LATERAL DE LA TORRE DE DESTILACION DEL PROCESO VIA OXIGENO	RP10.3.4/01
		(C,T)	CLORACETALDEHIDO PROVENIENTE DEL FONDO DE LA TORRE PURIFICADORA Y TORRE LATERAL DEL PROCESO VIA AIRE	RP10.3.4/02
10.3.5	PRODUCCION DE ESTIRENOETILBENCENO.	(T)	CATALIZADOR CON OXIDOS DE FIERRO, CROMO Y POTASIO PROVENIENTES DEL REACTOR DE DESHIDROGENACION	RP10.3.5/01
10.3.6	PRODUCCION DE PERCLOROETILENO	(T)	DERIVADOS HEXACLORADOS PROVENIENTES DE LOS FONDOS DE LA COLUMNA DE RECUPERACION DE PERCLOROETILENO.	RP10.3.6/01
10.3.7	TRATAMIENTO PRIMARIO DE EFLUENTES.	(T,I)	LODOS DE LOS SEPARADORES API Y CARCAMOS	RP10.3.7/01
11.	PINTURAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS.			
		(T)	RESIDUOS DE RETARDADORES DE FLAMA Y PINTURAS DE BASE.	RP11.1/01
		(T)	RESIDUOS DEL SECADOR DE BARNIZ.	RP11.1/02
11.1	PRODUCCION DE MASTIQUE Y PRODUCTOS DERIVADOS.	(T,C)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP11.1/03
		(T)	BOLSAS Y EMPAQUES DE MATERIA PRIMA.	RP11.1/04
		(T)	RESIDUOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE	RP11.1/05
11.2	PRODUCCION DE PINTURAS.	(T,I)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PINTURAS BASE SOLVENTE.	RP11.2/01
		(T)	RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS EN LA PRODUCCION DE PINTURAS ENLISTADAS EN LA TABLA 4	RP11.2/02
		(T,I)	BOLSAS Y ENVASES DE MATERIA PRIMA ENLISTADAS EN LA TABLA 4	RP11.2/03
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LA PRODUCCION	RP11.2/04
		(T)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PINTURAS BASE-AGUA	RP11.2/05
12.	PLAGUICIDAS.			
12.1	PRODUCCION DEL ACIDO ETILENBISDITIOCARBAMICO Y SUS SALES.	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO (INCLUYENDO SOBRENADANTES, FILTRADOS Y AGUAS DE LAVADO)	RP12.1/01

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

	(C.T)	AGUAS DE LAVADO DEL VENTEO DEL REACTOR.	RP12.1/02	
	(T)	SOLIDOS DE LA FILTRACION, EVAPORACION Y CENTRIFUGADO	RP12.1/03	
	(T)	POLVOS RECOLECTADOS EN FILTROS DE BOLSA Y BARRIDO DEL PISO EN LAS OPERACIONES DE MOLIENDA Y EMBALAJE.	RP12.1/04	
12.2	PRODUCCION DE ATRACINA.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP12.2/01
12.3	PRODUCCION DE BROMURO DE METILO.	(C.T)	AGUAS RESIDUALES DEL RECTOR Y ACIDO SULFURICO GASTADO DEL SEGADOR DEL ACIDO	RP12.3/01
	(T)	ABSORBENTES GASTADOS Y AGUAS RESIDUALES DEL SEPARADOR DE SOLIDOS.	RP12.3/02	
12.4	PRODUCCION DE CLORDANO.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.4/01
	(T)	AGUAS RESIDUALES Y AGUAS DE LAVADO DE LA CLORACION DEL CICLOPENTADIENO.	RP12.4/02	
	(T)	SOLIDOS RETENIDOS EN LA FILTRACION DE HEXACLOROCICLOPENTADIENO	RP12.4/03	
	(T)	RESIDUOS DEL LAVADOR AL VACIO DEL CLORDADOR DE CLORDANO	RP12.4/04	
12.5	PRODUCCION DE CLOROTOLUENO.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP12.5/01
12.6	PRODUCCION DE CREOSOTA.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.6/01
12.7	PRODUCCION DE 2,4-D (DICLOROFENOL)	(T)	RESIDUOS DEL 2,6-DICLOROFENOL.	RP12.7/01
	(T)	AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS	RP12.7/02	
12.8	PRODUCCION DE DISULFOTON.	(T)	FONDOS DE DESTILACION EN LA RECUPERACION DE TOLUENO.	RP12.8/01
	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.8/02	
12.9	PRODUCCION DE FORATO.	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO	RP12.9/01
	(T)	SOLIDOS DE LA FILTRACION DEL ACIDO DIETILFOSFORODITIOICO	RP12.9/02	
	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.9/03	
12.10	PRODUCCION DE MALATION.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP12.10/01
12.11	PRODUCCION DE METIL METARSENIATO DE SODIO Y ACIDO CACODILICO.	(T)	SUBPRODUCTOS SALINOS	RP12.11/01
12.12	PRODUCCION DE PARATION Y METIL PARATION.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP12.12/01
12.13	PRODUCCION DE TOXAFENO.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.13/01
	(T)	AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS DEL PROCESO	RP12.13/02	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

13.	PRESERVACION DE LA MADERA.	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	LODOS SEDIMENTADOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN PROCESOS QUE UTILIZAN: CRESOTA, CLOROFENOL, PENTACLOROFENOL Y ARSENICALES	RP13.1/01
			(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE CLORACION EN LA PRODUCCION DE PRESERVATIVOS PARA MADERA.	RP13.1/02
14.	PRODUCCION DE BATERIAS.				
14.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCION DE BATERIAS DE PLOMO ACIDO.	RP14.1/01	
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCION DE BATERIAS DE NIQUEL-CADMIO	RP14.1/02	
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE LAS BATERIAS NIQUEL-CADMIO	RP14.1/03	
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE LAS BATERIAS ZINC-CARBONO	RP14.1/04	
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE BATERIAS ALCALINAS	RP14.1/05	
		(T)	BATERIAS DE DESECHOS Y RESIDUOS DE LOS HORNO DE LA PRODUCCION DE BATERIAS DE MERCURIO.	RP14.1/06	
		(C.T)	BATERIAS DE DESECHO DE LA PRODUCCION DE BATERIA DE PLOMO ACIDO	RP14.1/07	
15.	QUIMICO FARMACEUTICA.				
15.1	PRODUCCION DE FARMOQUIMICOS	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE	RP15.1/01	
		(T)	CARBON ACTIVADO GASTADO QUE HAYA TENIDO CONTACTO CON PRODUCTOS QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE	RP15.1/02	
		(T)	MATERIALES FUERA DE ESPECIFICACION QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE	RP15.1/03	
15.2	ELABORACION DE MEDICAMENTOS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION Y MATERIALES CADUCOS O FUERA DE ESPECIFICACION QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.2/01	
		(T)	CARBON ACTIVADO GASTADO QUE HAYA TENIDO CONTACTO CON PRODUCTOS QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE	RP15.2/02	
15.3	PRODUCCION DE BIOLÓGICOS.	(B)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION, MATERIALES CADUCOS Y FUERA DE ESPECIFICACION	RP15.3/01	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

		(T)	RESIDUOS DE PROCESOS QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.3/02
15.4	PRODUCCION DE HEMODERIVADOS.	(B)	MATERIALES FUERA DE ESPECIFICACIONES	RP15.4/01
15.5	PRODUCCION DE PRODUCTOS VETERINARIOS DE COMPUESTOS DE ARSENICO U ORGANOS ARSENICALES.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP15.5/01
		(T)	RESIDUOS DE DESTILACION (BREAS) DE COMPUESTOS A BASE DE ANILINA	RP15.5/02
16.	QUIMICA INORGANICA.			
16.1	PRODUCCION DE ACIDO FLUORHIDRICO.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	RP16.1/01
16.2	PRODUCCION DE CLORO (PROCESO DE CELDAS DE DIAFRAGMA USANDO ANODOS DE GRAFITO).	(T)	RESIDUOS DE HIDROCARBUROS CLORADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION	RP16.2/01
16.3	PRODUCCION DE CLORO (PROCESO DE CELDAS DE MERCURIO).	(T)	LODOS DE LA PURIFICACION DE SALMUERA, DONDE LA SALMUERA PURIFICADA SEPARADA NO SE UTILIZA.	RP16.3/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP16.3/02
		(T)	CATALIZADOR AGOTADO DE CLORURO DE MERCURIO	RP16.3/03
16.4	PRODUCCION DE FOSFORO.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO	RP16.4/01
		(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP16.4/02
16.5	PRODUCCION DE PIGMENTOS DE CROMO Y DERIVADOS.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS NARANJA Y AMARILLO DE CROMO	RP16.5/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE CROMO	RP16.5/02
		(T)	FILTRO AYUDA GASTADO (TORTAS DE FILTROS)	RP16.5/03
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE OXIDO DE CROMO (ANHIDROS E HIDRATADOS)	RP16.5/04
		(T)	RESIDUOS DEL HORNO DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE OXIDO DE CROMO	RP16.5/05
16.6	PRODUCCION DE OTROS PIGMENTOS INORGANICOS.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS NARANJA DE MOLINADO	RP16.6/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS AMARILLOS DE ZINC	RP16.6/02

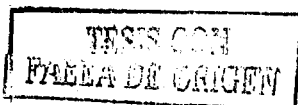
TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS AZULES DE HIERRO	RP16 6/03
17. QUIMICA ORGANICA.			
17.1 PRODUCCION DE ACETALDEHIDO A PARTIR DEL ETILENO.	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.1/01
	(T)	CORTES LATERALES EN LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.1/02
17.2 PRODUCCION DE ANHIDRIDO FTALICO A PARTIR DEL NAFTALENO.	(T)	PRODUCTOS TERMINALES LIGEROS DE LA DESTILACION.	RP17.2/01
	(T)	FONDOS DE LA DESTILACION	RP17.2/02
17.3 PRODUCCION DE ANHIDRIDO FTALICO A PARTIR DE ORTOXILENO.	(T)	PRODUCTOS TERMINALES LIGEROS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.3/01
	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.3/02
17.4 PRODUCCION DE ANHIDRIDO MALEICO.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP17.4/01
17.5 PRODUCCION DE ANILINA.	(T)	FONDOS DE DESTILACION	RP17.5/01
	(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCION DEL PRODUCTO	RP17.5/02
17.6 PRODUCCION DE CLOROBENCENOS.	(T)	FONDOS DE DESTILACION O DE LA COLUMNA FRACCIONADORA	RP17.6/01
	(T)	CORRIENTES ACUOSAS DE LA ETAPA DEL LAVADO DEL REACTOR DE PRODUCTO	RP17.6/02
17.7 PRODUCCION DE CLORURO DE BENCILO.	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.7/01
17.8 PRODUCCION DEL CLORURO DE ETILO.	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA FRACCIONADORA	RP17.8/01
17.9 PRODUCCION DE DIBROMURO DE ETILENO VIA BROMACION DEL ETENO.	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL LAVADOR DE GASES DEL VENTEO DEL REACTOR	RP17.9/01
	(T)	ABSORBENTES SOLIDOS GASTADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17.9/02
	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17.9/03
17.10 PRODUCCION DEL DICLOROETILENO.	(T)	FONDOS PESADOS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.10/01
17.11 PRODUCCION DE DIISOCIANATO DE TOLUENO.	(R,T)	RESIDUOS DE CENTRIFUGACION Y DESTILACION	RP17.11/01
17.12 PRODUCCION DE DIISOCIANATO DE TOLUENO VIA FOSGENACION DE LA TOLUENDIAMINA.	(T)	CONDENSADOS ORGANICOS DE LA COLUMNA DE RECUPERACION DE SOLVENTES	RP17.12/01

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

17.13	PRODUCCION DE 1,1 DIMETILHIDRACINA (DDAH)-A PARTIR DE HIDRAZINAS DE ACIDO CARBOXILICO.	(C,T)	FONDOS DE LA TORRE DE SEPARACION DE PRODUCTOS	RP17.13/01
		(T,I)	CABEZAS CONDENSADAS DE LA COLUMNA DE SEPARACION DE PRODUCTO Y GASES CONDENSADOS DEL VENTEO DEL REACTOR.	RP17.13/02
		(T)	CARTUCHOS DE LOS FILTROS AGOTADOS DE LA PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17.13/03
		(T)	CABEZAS CONDENSADAS DE LA COLUMNA DE SEPARACION DE INTERMEDIOS.	RP17.13/04
17.14	PRODUCCION DE DINITROTOLUENO VIA NITRACION DE TOLUENO.	(C,T)	AGUAS DE LAVADO DEL PRODUCTO	RP17.14/01
17.15	PRODUCCION DE EPICLORHIDRINA	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA DE PURIFICACION.	RP17.15/01
17.16	PRODUCCION DE FENOL/ACETONA A PARTIR DEL CUMENO.	(T)	FONDOS PESADOS (BREA) DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.16/01
17.17	PRODUCCION DE FLUOROMETANOS.	(T)	RESIDUO DE CATALIZADOR AGOTADO DE ANTIMONIO EN SOLUCION ACUOSA.	RP17.17/01
17.18	PRODUCCION DE ETIL METIL PIRIDINA	(T)	RESIDUOS DE LAS TORRES DE LAVADO DE GASES.	RP17.18/01
17.19	PRODUCCION DE NITROBENCENO/ANILINA.	(T)	CORRIENTES COMBINADAS DE AGUAS RESIDUALES.	17.19/01
17.20	PRODUCCION DE NITROBENCENO MEDIANTE LA NITRACION DEL BENCENO.	(T)	FONDOS DE LA DESTILACION	17.20/01
		(T)	SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DEL REACTOR EN LA PRODUCCION DEL NITROBENCENO	17.20/02
17.21	PRODUCCION DE TETRACLORURO DE CARBONO.	(T)	FONDOS PESADOS O PRODUCTOS RESIDUALES DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.21/01
17.22	PRODUCCION DE TOLUENDIAMINA VIA HIDROGENACION DE DINITROTOLUENO.	(T)	AGUA DE REACCION (SUBPRODUCTO) DE LA COLUMNA DE SECADO.	RP17.22/01
		(T)	PRODUCTOS LIQUIDOS TERMINALES LIGEROS CONDENSADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17.22/02
		(T)	VECINALES DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.22/03
		(T)	FONDOS PESADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17.22/04
17.23	PRODUCCION DE 1,1,1-TRICLOROETANO.	(T)	CATALIZADORES AGOTADOS DEL REACTOR DE HIDROCLORACION	RP17.23/01
		(T)	RESIDUOS DEL LAVADOR DE PRODUCTO	RP17.23/02



TESIS CON FALDA DE ORIGEN

	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.23/03
	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA DE PESADOS	RP17.23/04
17.24	(T)	PRODUCCION COMBINADA DE TRICLOROETILENO Y PERCLOROETILENO.	RP17.24/01
18.		TEXTILES.	
18.1	(T)	PRODUCCION EN GENERAL.	
	(T)	TAMBOS Y CONTENEDORES CON RESIDUOS DE TINTES Y COLORANTES	RP18.1/01
	(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP18.1/02
	(T)	AGENTES MORDIENTES GASTADOS RESIDUALES	RP18.1/03
	(C.T)	RESIDUOS DE DETERGENTES, JABONES Y AGENTES DISPERSANTES	RP18.1/04
	(C)	RESIDUOS ACIDOS O ALCALINOS	RP18.1/05
	(C.T)	RESIDUOS PROVENIENTES DEL BANQUEADO.	RP18.1/06
	(T)	RESIDUOS DE ADHESIVOS Y POLIMEROS	RP18.1/07
	(T)	RESIDUOS DE AGENTES ENLAZANTES Y DE CARBONIZACION	RP18.1/08

Fuente: Diario Oficial de la Federación 1993.

13.2 PRINCIPALES USOS DE METALES

Metal-> Usos

Cu-> Industrias eléctrica y automovilística, construcción, fontanería, latón, algicidas, conservación de madera.

Fe-> Industrias del hierro y acero.

Zn-> Aleaciones, bronce y latón, galvanización, baterías, pintura, productos agrícolas, cosméticos y medicinales.

(García I. y Dorronsoro C. 2001).

13.3 CASOS DE ESTUDIO.

Mercurio

Una posibilidad que da lugar a la movilización del Hg es a través de su metilación, que corresponde a la formación de un compuesto organometálico. En el caso concreto del mercurio, se forma el metil-mercurio, CH_3Hg^+ , el cual, al igual que otros compuestos organometálicos, es liposoluble. En consecuencia, estos compuestos presentan una elevada toxicidad, puesto que pueden atravesar fácilmente las membranas biológicas y, en particular, la piel, y a partir de aquí, la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

incorporación del metal en la cadena trófica está asegurada. Aparte del Hg, otros metales susceptibles a la metilación son Pb, As y Cr.

La metilación de metales inorgánicos por bacterias es un fenómeno geoquímico relativamente importante que pueden presentar elementos traza como Hg, As y Sn.

Especialmente importante es la metilación de Hg resultando CH_3Hg^+ , un compuesto mucho más tóxico que el mercurio.

El mercurio es un elemento ampliamente utilizado para extraer oro de sedimentos suelos en Brasil, Venezuela, Filipinas e Indonesia. El mercurio se añade a los sedimentos que contienen partículas de oro finamente divididas, tratándose grandes volúmenes de tierra. El oro forma un amalgama que puede ser separada fácilmente (por sedimentación) de la tierra tratada. La amalgama separada, es quemada para volatilizar el mercurio, como resultado, el mercurio entra en la atmósfera. El vapor de mercurio elemental liberado en la atmósfera, durante la tostación de la amalgama Au/Hg y vaporizado durante los distintos procesos de extracción de oro, es oxidado a Hg^{++} mediante ozono, energía solar y vapor de agua. Una vez formado, el mercurio iónico Hg^{++} es arrastrado de la atmósfera por las lluvias y depositado sobre ambientes terrestres y acuáticos donde es convertido en metil mercurio en el suelo. El metil mercurio puede ser fácilmente transportado del suelo al medio acuático. También se pierde mercurio durante todo el proceso y dicho mercurio termina en los ríos, en donde es fácilmente tomado por el pescado y es al menos 100 veces más tóxico que el Hg metálico.

En la bahía de Minamata, en el sur del Japón, se produjo una enfermedad denominada "Enfermedad de Minamata", debida al consumo de pescado y mariscos contaminados con metil mercurio, debido al paso de Hg^{++} a metilmercurio por acción bacteriana. La producción de metil-Hg por bacterias y su liberación en el medio acuático es un mecanismo de defensa que protege a los microbios del envenenamiento de Hg. La metilación bacteriana movilizó el Hg almacenado en los sedimentos de la bahía. Este mercurio procedía de una fábrica de plásticos que utilizaba Hg como catalizador y vertía los residuos en la Bahía. (García I. y Dorronsoro C. 2001).

El caso Peñoles: contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila

El envenenamiento por metales pesados entre los pobladores de la Comarca Lagunera es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para la salud. Sin embargo, los estudios, las denuncias y las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que sea el más tóxico de los tres de hecho ocurre lo contrario- sino a que, es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y, por ende, causa más problemas y más preocupación en el mundo.

El problema de Torreón se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora de plomo más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad. En otros lugares del país se presenta la contaminación por plomo, pero las fuentes son distintas, como en el caso que afecta a los vecinos de la empresa Pigmentos y Óxidos, S.A. en Monterrey, y la reciente denuncia de la presencia de plomo en el agua de Salamanca, Guanajuato.

El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un niño, según la Norma Oficial Mexicana de Emergencia de junio de 1999, es de 10 µg/dL; sin embargo, este nivel no es seguro ni normal, ni deseable, pues aún no se ha identificado el umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. La Academia Americana de Pediatría ubica el nivel deseable de plomo en la sangre de los niños en cero.

La situación en Torreón

En 1962, investigadores de la Secretaría de Salud documentaron un caso de arsenicismo agudo en Torreón atribuido a Peñoles. Este episodio, que causó la muerte de un adulto, fue documentado en la Revista Salud Pública de México en 1964. El doctor Víctor Calderón-Salinas ha realizado diversos estudios en la zona a partir de 1986, incluyendo su tesis de licenciatura. Estos reportes provocaron denuncias de ciudadanos y de organizaciones ambientalistas sin que se les prestara atención oficial. En 1999 se publicó un estudio de Benin y sus colaboradores, de la Escuela de Medicina de Dartmouth, quienes concluyeron que en Torreón hay plomo y arsénico en niveles similares a los de otros sitios contaminados del mundo y superiores a lo que establece la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) para considerarlos seguros. Sin embargo, encontraron que el cadmio está presente en Torreón con los niveles más elevados jamás reportados por la literatura científica (Valdés P. F. 2001).

Contaminación con Elementos Traza Génesis del Conflicto Minero-Agrícola en Chile

Chile posee una extraordinaria riqueza metálica, lo que se ha traducido en el desarrollo de una minería extractiva de gran peso en la economía del país. Baste mencionar que el cobre es el producto que más divisas genera al país, aunque el metal con mayor volumen de producción es el hierro. Por la concentración de sus yacimientos en la II Región de Atacama y la IV Región de Coquimbo, y por su baja toxicidad, el hierro presenta un riesgo ambiental muy inferior al cobre y otros metales. Por su parte, las descargas mineras que incluyen plomo también son de menor riesgo ambiental que las de cobre, no por razones de toxicidad sino porque los principales yacimientos están en la XI Región de Aisén del General Carlos Ibañez del Campo, donde hay más eficientes sistemas naturales de dispersión y dilución.

Se deduce que el escenario potencial para el conflicto minería del cobre-agricultura se extiende desde la I Región de Tarapacá a la VII Región del Maule,

especialmente donde coinciden los valles transversales (con la agricultura más productiva del país) con los mayores yacimientos de cobre o las fundiciones más importantes, como el Valle de Copiapó (fundición en Paipote), Valle del Aconcagua (mina en Saladillo y fundición en Chagres), Valle del Mapocho (minas en Los Bronces, Pudahuel y La Africana) y Valle Cachapoal (mina El Teniente).

Los mayores yacimientos de cobre están en la Cordillera de los Andes o en áreas precordilleras, lo que obliga a los centros de extracción a servirse de los ríos, usados aguas abajo para abastecer a la población y regar los suelos agrícolas. Esto genera el primer conflicto minero-agrícola, ya que los centros mineros devuelven aguas con calidad disminuida, conteniendo relaves y residuos químicos de muy variada naturaleza. Aparte de ello, la expansión minera exige el uso de caudales crecientes, en desmedro también de la actividad agrícola, como ha ocurrido con las comunidades que habitan las riberas del Río Loa.

El segundo conflicto se genera por las emisiones funígenas de fundiciones de minerales, que afectan drásticamente y rápidamente las áreas receptoras en sus recursos biológicos y tecnoestructura. Las fundiciones en Chuquicamata (II Región de Antofagasta), Potrerillos y Paipote (III Región de Coquimbo), Chagres y Ventanas (V Región de Valparaíso) y Caletones (VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins), están emitiendo inmensos volúmenes de anhídrido sulfuroso, arsénico y particulado sólido.

El cobre, un elemento que conjuga abundancia, distribución y toxicidad en Chile, tiene la mayor probabilidad de estar presente en las emisiones mineras. De acuerdo a los niveles de producción minera, otros elementos con potencial de contaminación ambiental son el arsénico, hierro, molibdeno, plomo y zinc (González M. S. 2000).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN