



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**Propuesta de Remediación utilizando la técnica
“Extracción de Vapores en el sitio contaminado”
Para el Valle del Mezquital**

T E S I S

Para obtener Título de Ingeniero Químico

Presenta:

JESÚS DANIEL CANO HERNÁNDEZ

Director de Tesis

M. en I. Echavarieta Albiter Crescenciano



Ciudad México 3 de Noviembre 2017



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.

INDICE

Portada	
Jurado	
Dedicatorias y Agradecimientos	
	Pág.
Resumen.....	1
Introducción.....	2-3
Objetivos.....	4
Capítulo 1 El Suelo	5
1.1 Definición del Suelo.....	6
1.2 Aspectos Edafológicos del Suelo.....	9
1.3 Propiedades Físicas del Suelo.....	13
1.4 Propiedades Químicas del Suelo.....	21
1.5 Degradación del Suelo	28
Capítulo 2 Contaminación en el Suelo	34
2.1 Contaminación en el suelo y los residuos.....	35
2.2 Contaminantes químicos presentes en el suelo.....	40
2.3 Dinámica del suelo.....	47
2.4 Transferencia de los contaminantes.....	50
Capítulo 3 Técnicas Físicas y químicas más comunes para Remediar un Sitio Contaminado	56-59
3.1 Lavado de suelos.....	60
3.2 Oxidación Química.....	64
3.3 Estabilización-Solidificación.....	70
3.4 Electrocinética.....	73
3.5 Extracción de vapores en el sitio contaminado.....	78

Capítulo 4 Propuesta de Remediación y Zona de Estudio.....	84
4.1 Descripción del Sitio “Valle del Mezquital”.....	85
4.2 Propuesta de remediación para el sitio contaminado.....	89
4.3 Método y soporte técnico del tratamiento de remediación.....	91
4.4 Programa de plan de muestreo.....	95
4.5 Diagrama de flujo del proceso de remediación.....	99
4.6 Programa de capacitación	100
4.7 Programa de prevención y atención de contingencias.....	101
4.7 Memoria fotográfica.....	108
Conclusiones y Recomendaciones.....	114
Bibliografía.....	115-117

Resumen

La propuesta de remediación de un suelo contaminado que se presenta a continuación consta de 4 capítulos, donde se abarca el concepto fundamental del suelo pasando por sus propiedades físicas y químicas, así como las causas de su contaminación, técnicas de remediación del suelo y por último una propuesta de remediación para el Valle del Mezquital donde se ubica la presa Endho, que es la principal causa de contaminación para el sector de esta población.

Debido a las necesidades y requerimientos se describe una propuesta de remediación que sea confiable para reparar el sitio contaminado, para lo cual se pretende utilizar la técnica extracción de vapores en dicha zona.

La contaminación en suelos adquiere cada vez más importancia en México, ya que es un país dotado con gran disponibilidad de suelos, que en teoría garantizaría el suministro del sector primario, se diseñó un diagrama de flujo de proceso de acuerdo a la literatura consultada para que el proceso sea eficiente y contribuya a la remediación.

Entre las técnicas físicas y químicas más comunes para remediar un sitio contaminado se presentan: lavado de suelos, oxidación química, estabilización-solidificación, electrocinética.

Se concluye que la técnica propuesta busca reducir una de las problemáticas en el sitio, la elección fue por su costo, por su fácil aplicación, por no dañar recursos naturales en el entorno y la forma de transformar los vapores contaminados en aire libre de contaminantes

Introducción

El suelo constituye un recurso natural no renovable en el corto plazo, desempeña diversas funciones y usos.

En México la contaminación de los suelos deriva básicamente de accidentes en el transporte de materiales y residuos peligrosos, fugas, derrames, disposición inadecuada o clandestina de éstos y otro tipo de residuos. Considerando que el suelo contaminado es un recurso natural afectado, se debe llevar a cabo una remediación que incluye un conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.

La contaminación de suelos es un problema del que no se tenía conocimiento hasta hace pocas décadas, a esta contaminación se le ha denominado “silenciosa”, ya que no es evidente en el momento que se provoca, sino que pueden transcurrir años hasta que aparece en forma de efectos nocivos para la salud humana y el entorno.

Existe una gran diversidad de condiciones para la contaminación de los suelos y, como consecuencia, en los últimos años se ha desarrollado una gran variedad de técnicas aplicables para su remediación. (Volke, 2005)

La creciente oferta y demanda de servicios de remediación de suelos contaminados, sumada a la regulación reciente sobre la contaminación de la naturaleza, requiere de mayor eficiencia de los procesos de gestión y atención por parte de los prestadores de servicios.

Como ya se dijo la contaminación en los suelos manifiesta una problemática de contaminación ambiental, por residuos o materiales presentes en los mismos, a medida que aumenta el uso de materiales químicos en la sociedad y la industria. Su origen es consecuencia de las industrias extractivas, la actividad industrial y agrícola y el vertido de residuos, que se han desarrollado durante años con poca consideración del impacto sobre el ecosistema del suelo, además del depósito de

residuos industriales y rellenos sanitarios generaran la contaminación. (Dennis PG, "Soil Science": 2010)

En la actualidad hay estudios que tratan de encontrar técnicas de remediación, éstas deben ser útiles, eficientes y accesibles, su aplicación en sistemas reales es para la remoción y la degradación de los contaminantes, por ello es de suma importancia establecer medidas ambientales y políticas de actuación que garanticen la protección y conservación de los suelos, esto incluye un plan de trabajo completo sobre la remediación, entre los procesos de tratamiento de remediación se encuentran los de tipo biológico, químico y físicos, entre algunas otras tecnologías.

Objetivo general

Presentar una propuesta de remediación para el Valle del Mezquital con la ayuda de la técnica de “extracción de vapores”, para el tratamiento de suelos contaminados, para su posterior depuración, buscando la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales.

Objetivo particular

Describir brevemente las técnicas físico-químicas más utilizadas para la remediación de suelos contaminados.

Proponer un formato de elaboración propia factible para la autorización del tratamiento de suelos contaminados, utilizando un método físico-químico que contribuya a la remediación de un sitio contaminado.

Capítulo 1

“El Suelo”



1.1 Definición Del Suelo

El hablar del suelo se define como una capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra: sin embargo la SEMARNAT define al suelo como el material no consolidado y está compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad. (NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012)

En la definición de suelo que ofrece el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA,1998), el suelo es un cuerpo natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporte a las plantas con raíces en un medio natural.

Una formación limítrofe (límite con otro territorio), se define como zona en la que se compenetrán la parte sólida, líquida y gaseosa de la tierra, lo mineral inorgánico, seres vivos y restos de la vida, crecimientos y destrucciones, lavados y evaporaciones, una complejidad natural sometida a una complejidad dinámica. (Foth, 1987)

Los componentes del suelo que se observan, pero no pertenecen a un sistema de cuerpos materiales fijos, sino que transitan en el interior, proceden de la atmósfera (agua, nitrógeno, carbono); de la hidrósfera (sodio, potasio, cloro, sulfatos, etc.); y de la litósfera (fósforo, oligoelementos, calcio, magnesio, etc.).

Estas transferencias continuadas, alternadas, cíclicas o episódicas se hacen a velocidades variables y en direcciones variadas. Los constituyentes del suelo son los residuos de la alteración minera que constituía el estado inicial del suelo, pero provienen también de la atmósfera y de los organismos asociados a ellos.

El suelo es el resultado y la interacción de al menos cinco tipos de factores:

- Clima.
- Roca madre.
- Tiempo.
- Relieve.
- Seres vivos, y a veces el agua libre dentro del perfil, de las capas freáticas.

En resumen, el suelo es una estructura de tiempo y espacio, en la cual persisten y transitan:

- Los residuos y productos de la alteración de la capa mineral superficial del globo.
- Las materias orgánicas muertas o vivas de la biomasa asociadas a esta capa superficial.
- Los elementos que provienen de la atmósfera, sea de modo accidental, sea de modo cíclico.

La organización y evolución de esta estructura es el resultado de variaciones de formas de energía de toda clase que se manifiestan en la superficie de la tierra. Estas son permanentes (el peso), cíclicas (calor), acumulativas (seres vivos al comienzo de la evolución del suelo) y accidentales (acción del hombre).

El suelo se origina a partir de una roca o de un sedimento que no está consolidado, pero es difícil identificar cuál es la más importante cuando influyen variables a pesar de que la roca madre ha sido admitida como uno de los clásicos factores de formación del suelo, es evidente que el marco geográfico en que se desarrollan los conceptos básicos de la Edafología no ha favorecido su importancia (Smith, 1949).

Se deben considerar entonces los procesos de formación inducidos por el material de partida, teniendo en cuenta en primer lugar los procesos fundamentales de alteración y disgregación de rocas y posteriormente aquellos más propiamente edafológicos y en los que el tipo de roca influye en algún sentido.

Se menciona que existen elementos consolidados como las rocas que forman parte de las características de los suelos, recordemos que el suelo es un cuerpo natural tridimensional formado por la progresiva alteración física y química, esta última es esencial y de importancia, pues menciona a la meteorización como la respuesta del material que está en equilibrio en la litosfera a las condiciones en o próximas a su contacto con la atmósfera, la hidrosfera y quizá con mayor importancia con la biosfera (Ortiz, 2007).

Los procesos físicos incluyen las causas de la desintegración de la roca, sin cambios químicos o mineralógicos. De ellos podemos citar los procesos de dilatación-contracción de la roca por cambios de temperatura que originan un sistema de grietas y fisuras, una vez establecidas las grietas pueden producirse otros fenómenos de desintegración física, por ejemplo el llamado "efecto de cuña".

En resumen, la meteorización física reduce la masa compacta de roca a una serie de fragmentos todavía de gran tamaño, aquí es donde reside su importancia fundamental: aumentar con ello la superficie expuesta de la roca, lo que facilita los procesos químicos, que se localizan fundamentalmente en las zonas superficiales, en este proceso se obtienen minerales primarios.

Los procesos de alteración química son mucho más potentes que los anteriores, ya que pueden alterar totalmente la naturaleza de la roca. Depende fundamentalmente de la existencia de agua y sobre todo de la presencia en la misma de una serie de agentes como el oxígeno, anhídrido carbónico, ácidos orgánicos, etc., que aumentan considerablemente su poder reactivo.

Se produce una transformación de los minerales primarios, con formación de minerales diferentes a los que había anteriormente que reciben el nombre de minerales secundarios o de neo-formación (principalmente son arcillas), cuyo conjunto constituye el llamado «complejo de alteración».

Los procesos de alteración biológicos son en primer lugar las plantas que con sus raíces pueden ejercer una poderosa acción física de la alteración con la presión

que desarrollan en su crecimiento radicular. Al mismo tiempo el CO₂ que desprende en su respiración incrementa la reactividad química.

También las materias orgánicas del suelo originan toda una serie de productos orgánicos de su metabolismo que contribuyen en la alteración de las rocas.

1.2 Aspectos edafológicos del suelo

El suelo es un elemento frágil del medio ambiente, un recurso natural no renovable puesto que su velocidad de formación y regeneración es muy lenta mientras que los procesos que contribuyen a su degradación, deterioro y destrucción son mucho más rápidos.

El suelo se caracteriza por ser un cuerpo natural, no consolidado, compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que por tiene horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad.

Antonio Jordán en 2010 mencionó que el suelo puede ser considerado como un sistema disperso en el que pueden diferenciarse tres fases (Figura1):

- Fase sólida: agregados minerales y orgánicos.
- Fase líquida: agua de la solución del suelo.
- Fase gaseosa: atmósfera del suelo contenida en el espacio poroso.

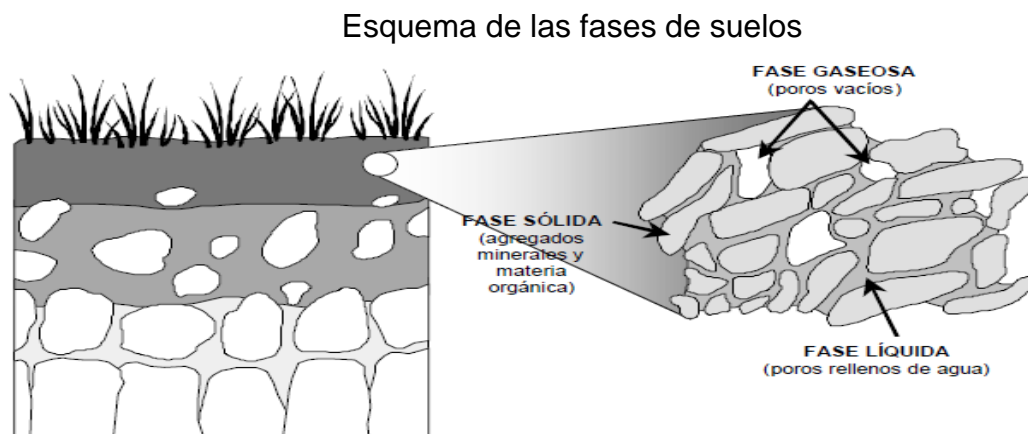


Figura 1.; Fuentes: "MANUAL DE EDAFOLOGÍA" por Antonio Jordán López, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la "Universidad de Sevilla (2009-2010).

Las capas verticales de material que forman el suelo son llamados horizontes constituidos por constituyentes minerales y orgánicos, agua y gases, y caracterizados por propiedades físicas (estructura, textura, porosidad, capacidad de retención de agua, densidad), químicas y físico químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico) que los diferencian entre sí y del material original. (Volke, 2005)

La importancia del suelo radica en que es un elemento natural dinámico y vivo que constituye la interfaz entre la atmósfera, la litosfera, la biosfera y la hidrosfera, sistemas con los que mantiene un continuo intercambio de materia y energía. Esto lo convierte en una pieza clave del desarrollo de los ciclos biogeoquímicos superficiales y le confiere la capacidad para desarrollar una serie de funciones esenciales en la naturaleza de carácter medioambiental, ecológico, económico, social y cultural:

- a) El suelo proporciona los nutrientes, el agua y el soporte físico necesarios para el crecimiento vegetal y la producción de biomasa en general, desempeñando un papel fundamental como fuente de alimentación para los seres vivos.
- b) Es un componente esencial del ciclo hidrológico, actuando como elemento distribuidor de las aguas superficiales y contribuyendo al almacenaje y recarga de las aguas subterráneas.
- c) El suelo, a través de su poder de amortiguación o desactivación natural de la contaminación, filtra, almacena, degrada, neutraliza e inmoviliza sustancias orgánicas e inorgánicas tóxicas, impidiendo que alcancen las aguas subterráneas y el aire o que entren en la cadena alimenticia.
- d) Es el hábitat natural biológico de muchos organismos de todo tipo y constituye un elemento de reserva genética.
- e) Desarrolla un importante papel como fuente de materias primas.
- f) Sirve de plataforma para el desarrollo de las actividades humanas como soporte de la estructura socioeconómica y forma parte del paisaje y del patrimonio cultural.

Un científico del suelo estudia la química, física y propiedades biológicas de los primeros metros de la superficie de la Tierra. La Edafología se centra en el uso del suelo y su influencia sobre los seres vivos, especialmente las plantas, esto incluye la fertilidad del suelo, la gestión de las alcantarillas y vertederos, anticipándose a la escorrentía de inundación, y examinando el proceso por el cual las plantas obtienen los nutrientes y el agua del suelo.

Los científicos también analizan las interrelaciones entre el suelo y los factores que afectan al crecimiento de las plantas tales como la acidez del suelo, salinidad y contaminaciones.

El suelo está compuesto de materia orgánica y de organismos vivos que incorporan en él, los espacios que quedan entre las partículas sólidas se llenan de agua y gases, los organismos que se encuentran en él son plantas ancladas con una fuente de nutrientes para el suelo, también actúa como un gran depósito para el agua, las plantas absorben el agua del suelo. También es una fuente de oxígeno para la respiración de los microorganismos del suelo y las raíces de las plantas superiores.

La parte sólida de la mayoría de los suelos se mantiene bastante constante en el volumen. Sin embargo, el espacio de los poros entre las partículas sólidas puede ser completamente lleno de agua después de la lluvia. La mayoría de las plantas crecen mejor en espacios de los porosos del suelo donde no están ocupadas por agua o aire.

Los suelos se clasifican, en función a su tamaño de partícula, en cuatro principales componentes: arcilla (tamaño de partícula menor a 0.002 mm), limo (0.002-0.05 mm), arena (0.05-2 mm) y grava (partículas mayores a 2 mm). Las cantidades relativas de cada tipo de partícula mineral determinan la textura de un suelo y tienen un impacto directo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Los componentes de los suelos maduros se encuentran dispuestos en una serie de zonas llamadas horizontes (figura 2).

Perfil general de un suelo

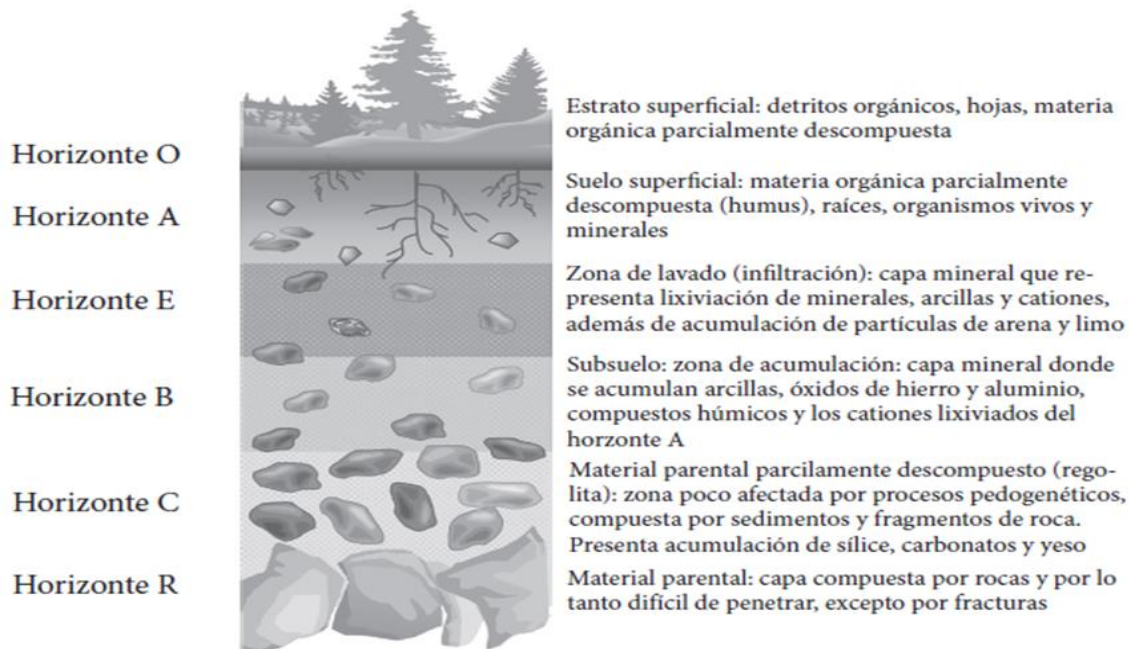


Figura 2. Perfil general de un suelo. El espesor, presencia y composición de los horizontes varía en función del tipo. Fuentes: "Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación" SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología, autores Tania Volke Sepúlveda, Juan A. Velasco Trejo y David A. de la Rosa Pérez (2005).

El arreglo de estos horizontes en un suelo se conoce como perfil del suelo, cada horizonte se caracteriza por diferentes propiedades como color, textura, estructura, espesor y composición (tipo de minerales y elementos químicos presentes), además de su consistencia, todas estas propiedades son utilizadas para definir los tipos de horizontes, de los cuales se han identificado a la fecha 6, simbolizados con las letras mayúsculas O, A, E, B, C y R.

La mayoría de los suelos maduros posee, al menos, tres de los horizontes (A, B y C), pero suelos recientes o poco desarrollados pueden carecer de ellos. Algunos suelos tienen una capa orgánica (horizonte O) compuesta principalmente por hojas, desechos animales, hongos y otros materiales orgánicos parcialmente descompuestos. El horizonte A, comúnmente es una mezcla porosa de materia orgánica descompuesta (humus), organismos vivos y algunas partículas minerales. El horizonte E, es una capa mineral de color claro, en la que ocurren pérdidas de arcillas, minerales y cationes por lixiviación, generándose una acumulación de arena y limo. Los horizontes B (subsuelo) y C (material parental)

parcialmente descompuesto), son los que contienen la mayor parte de la materia inorgánica del suelo. El horizonte B contiene depósitos de arcillas y minerales (aluminio, óxidos de aluminio y carbonato de calcio) que recibe de las capas más superficiales por efecto de escurrimientos; el horizonte C en su mayor parte, es roca disgregada en forma de mezclas variables de arena, arcilla y grava, que contiene un mínimo de material orgánico, el horizonte R, normalmente descansa sobre un lecho de roca (material parental) el cual no es considerado como suelo (Jaramillo, 2001).

1.3 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades del suelo que están directamente relacionadas con su estructura, color, temperatura, textura, porosidad y densidad, además pueden ser evaluadas mediante magnitudes físicas internacionales, se denominan propiedades físicas del suelo.

La porosidad se define como la relación entre el volumen de huecos de cualquier tipo y el volumen total del suelo. Los suelos de textura fina tienen mayor porosidad que los de textura gruesa. Los suelos arcillosos tienen gran número de poros pequeños (microporos), mientras que los arenosos tienen un número escaso de poros grandes (macroporos) entre sí.

Los huecos que se forman en el suelo pueden ser: Poros huecos que están presentes en las partículas y tienen contornos irregulares y están conectados entre ellos, lo que favorece la circulación de agua y aire.

Los poros pueden ser:

- Microporos. Poros de menor tamaño, capaces de retener agua.
- Macroporos. Poros de mayor tamaño, por los que el agua circula pero no es retenida. Normalmente los macroporos están ocupados por aire, excepto cuando el agua está circulando por ellos.

La densidad en el suelo se considera de dos tipos: “Densidad aparente” y “densidad Real”.

Densidad aparente (d_a): Es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo tal y como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Para determinarla, se divide el peso de un determinado volumen de tierra secada a estufa por ese volumen de suelo, y se expresa el resultado en kg/m^3 .

La (d_a) se determina utilizando equipos especiales como el que se observa en la figura 3.



Figura 3. Muestreadores de Densidad Aparente; Fuentes: “Curso de Edafología” en la Universidad de Granada España, Propiedades Físicas de los Suelos, Susana Hang (2014)

La densidad real (d_R): Es la densidad de las partículas sólidas del suelo, se determina dividiendo el peso del suelo secado a estufa por el volumen que ocupan los sólidos.

Para su determinación de la densidad real del suelo se utiliza el Picnómetro: Este Recipiente de vidrio que permitirá determinar el desplazamiento del agua por una masa conocida de suelo. (López, 2010)

El color es una de las propiedades físicas más notorias del suelo. Aunque es una característica cualitativa, existen formas de determinar los matices, la claridad y

los cromos del suelo; mediante el uso de tablas comparativas de referencia llamadas tablas de MUNSELL (Figura 4). Los colores del suelo indican procesos formativos y tipos de materiales presentes. (Foth, 1990)

Tabla de color Munsell para suelos

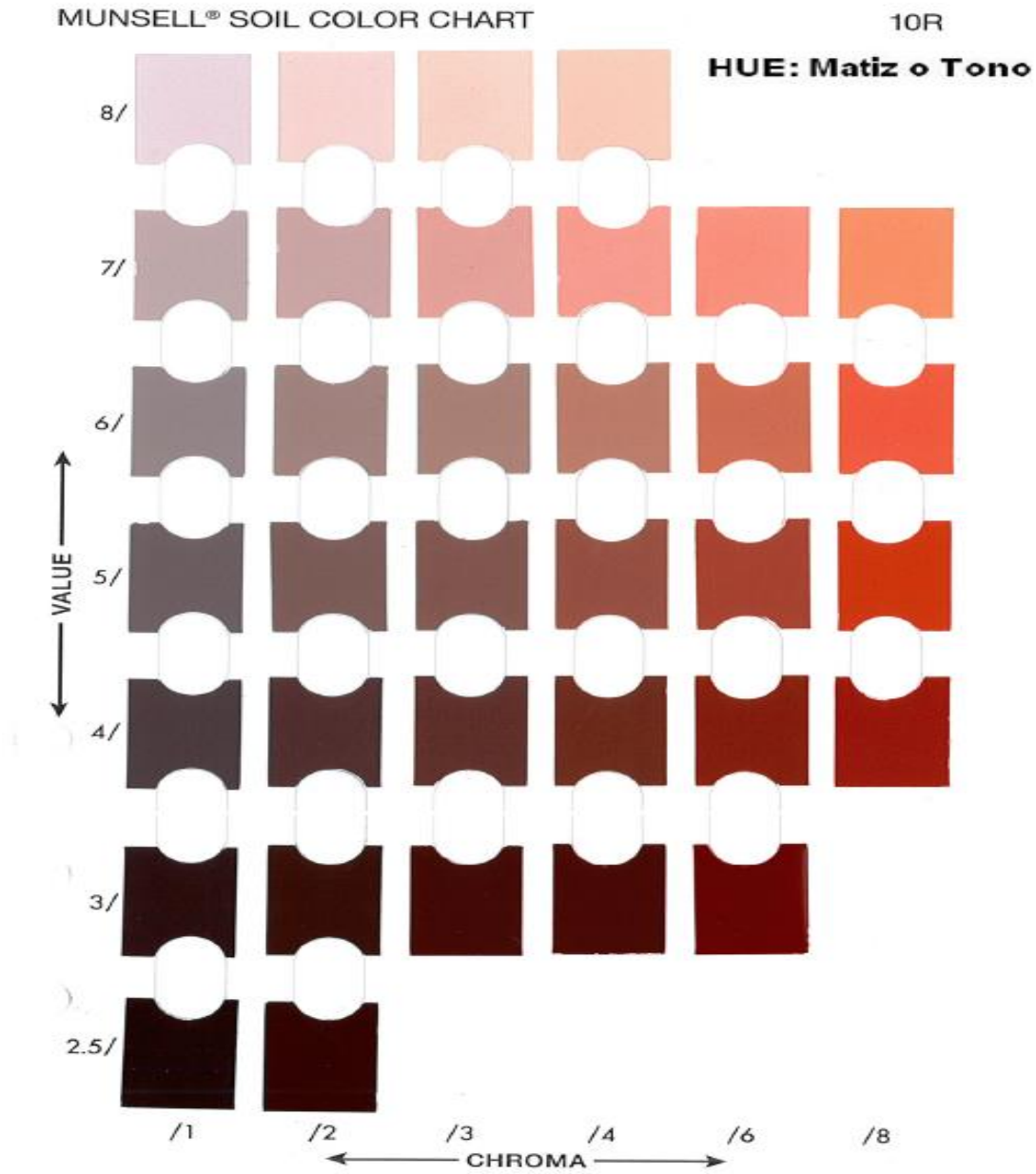


Figura 4. Fuentes: "Curso de Edafología" en la Universidad de Granada España, Propiedades Físicas de los Suelos, Susana Hang (2014)

HUE: Es el color espectral dominante. R representa rojo (red); Y al amarillo (yellow) y YR al naranja. La variación en tonalidad se indica con números preestablecidos que se encuentran en la Tabla de color de Munsell

VALUE: Representa la variación en tintes, pasando desde el oscuro que son los value más bajos, hasta el claro. Se representa como numerador de una fracción.

CHROMA: Determina la mayor o menor fuerza del color espectral. Mayor croma, mayor pureza.

Los colores oscuros en los horizontes superiores del suelo indican buenos contenidos de materia orgánica, debido a la formación de complejos de humus y arcilla en la estructura. Un suelo con un color oscuro puede retener mayor cantidad de la energía radiante del sol mejorando los procesos térmicos e incrementando su actividad biológica.

Suelos con bajos contenidos de materia orgánica y colores oscuros, pueden indicar complejos entre el humus y óxidos de hierro, carbón u óxido de manganeso.

Los colores rojos en los suelos, indican buenas condiciones de drenaje y ventilación así como alto grado de meteorización y la presencia de minerales de óxido de hierro y aluminio. Los colores grises a blancos, reflejan la presencia de contenidos importantes de cuarzo, caolinita u otras arcillas silicatadas, carbonatos de calcio o magnesio, yeso y sales; indicando en la mayoría de los casos mal drenaje y bajos contenidos de coloides como la arcilla y el humus.

Los suelos grisáceos, indican condiciones anaeróbicas debidas a épocas de anegamiento o niveles freáticos muy elevados. Diversos colores en el suelo indican condiciones de mal drenaje, particularmente en suelo de textura arcillosa. (Foth, 1990)

La forma de agregación natural de las partículas se considera **La estructura** del suelo, para formar unidades de mayor tamaño con carácter más persistente. Estas unidades se denominan agregados, su formación se debe a cargas eléctricas en la

superficie de las arcillas, lo que da como resultado unas interacciones físicas y químicas con los demás componentes del suelo.

Los tipos de estructura según el grado de desarrollo de los agregados pueden ser:

- Fuerte: Agregados duraderos, con separación bien definida cuando el suelo se seca.
- Moderada: agregados relativamente bien formados y diferenciados, de duración media.
- Débil: agregados poco diferenciados, que sólo se distinguen cuando el suelo está húmedo.
- Sin estructura: agregados que no se distinguen por falta de aglomeración, como ocurre en los suelos.

Según la forma de los agregados:

– Laminar. Los agregados tienen forma aplanada, con predominio de la dimensión horizontal. Las raíces y el aire penetran con dificultad.

– En bloques. Angulares o sub angulares. Los agregados tienen forma de bloque, sin predominio de ninguna dimensión.

– Prismática. Los agregados tienen forma de prisma, de mayor altura que anchura. Es típico de suelos con mucha arcilla.

– Columnar. Semejante a la estructura prismática, pero con la base redondeada. Ésta estructura es típica de suelos envejecidos.

– Granular. Los agregados son esferas imperfectas, con tamaño de 1 a 10 mm de grosor. Es la estructura más ventajosa, al permitir la circulación de agua y aire.

En la figura 5 se observa la forma de los agregados.

Tipos de estructura según la forma de los agregados

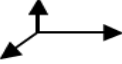

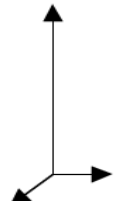

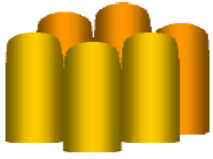
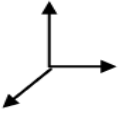



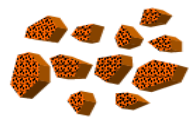
	 LAMINAR Característica de materiales depositados por el agua (como ocurre en llanuras de inundación). Está originada por el impacto de las gotas de lluvia sobre las costras superficiales. Impide la penetración de las raíces, así como el intercambio de aire entre suelo y atmósfera o la infiltración del agua.	
	 PRISMÁTICA Característica de horizontes enriquecidos en arcilla (Bt). Las superficies de debilidad coinciden con las grietas de retracción que se producen tras la desecación. Los agregados son muy duros y las raíces tienen una gran dificultad para penetrar en ellos.	 COLUMNAR Prismas con su parte superior redondeada. Es una estructura típica de horizontes arcillosos enriquecidos en sales (Bt _{na}), muy rara en España, salvo en zonas concretas.
	 POLIÉDRICA ANGULAR Agregados poliédricos, con superficies planas de aristas marcadas y con vértices patentes. Las caras del agregado se ajustan muy bien a las de agregados vecinos. Es una estructura típica de horizontes cámbicos (B _w).	 POLIÉDRICA SUBANGULAR Agregados poliédricos con superficies no muy planas, con aristas romas y sin vértices. Las caras del agregado se ajustan poco a las de los agregados vecinos. Es un tipo de estructura frecuente en horizontes A ócricos y horizontes cámbicos (B _w) o cálcicos de suelos áridos o semiáridos.
	 GRANULAR Agregados poco porosos, con poros distribuidos no homogéneamente por su superficie, que no se ajustan a los agregados vecinos. Estructura propia de medios biológicamente activos, ricos en bases y con materia orgánica. Típica de horizontes superficiales.	 MIGAJOSA Agregados porosos, con los poros distribuidos de manera homogénea por su superficie, que no se ajustan a los agregados vecinos. Es característica de horizontes ricos en materia orgánica bien humificada. Típica de horizontes superficiales.

Figura 5. Fuentes: "MANUAL DE EDAFOLOGÍA" por Antonio Jordán López, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la "Universidad de Sevilla (2009-2010)

La textura de los suelos está formado generalmente por más de una clase textural, el porcentaje de cada una de esas fracciones es lo que se llama textura del suelo.

Las partículas del suelo pueden dividirse según su tamaño, estas pueden ser gravas y piedras o tierra fina.

Las gravas y piedras son partículas minerales sólidas, de diámetro comprendido entre 2 mm y 7 cm (gravas) o mayor (piedras). Cuando son muy abundantes, pueden afectar a las propiedades del suelo y dificultar su manejo.

La tierra fina contiene partículas menores de 2 mm de diámetro por ejemplo:

Arena. Son partículas minerales sólidas de tamaño comprendido entre 2 mm y 0.02 mm. La arena es la fracción más grande del suelo, compuesta principalmente por granos de cuarzo. La arena no tiene capacidad de agregación, de modo que sus partículas no se unen entre sí y aparecen de manera individualizada. Debido a que una gran proporción de arena en el suelo origina poros numerosos y relativamente grandes. Los principales minerales que constituyen la arena son el cuarzo, los feldespatos, las micas, etc. Son visibles y se pueden observar individualmente, su capacidad de intercambio catiónico es baja.

El Limo. Es una clase de partículas minerales de tamaño comprendido entre 0.02 y 0.002 mm, está constituido por partículas de tamaño medio-fino, como el talco. Su composición química es semejante a la de la arena. Al igual que ésta, el limo no tiene capacidad de agregación, sus partículas no forman estructura. No sufren expansión ni contracción su capacidad de intercambio catiónico es baja.

La Arcilla. Se considera la fracción más pequeña. Mientras que la arena y el limo provienen del fraccionamiento físico de la roca, la arcilla proviene de la alteración química del material original. Por lo tanto, se diferencia mineralógicamente de las anteriores fracciones por componer de minerales originados por la meteorización, que no se encuentran en las rocas sin meteorizar. Las partículas de arcilla tienen capacidad de agregación y no se comportan como granos individuales en el suelo.

Su tamaño es inferior a 2 m y poseen unas propiedades físicas y químicas especiales. Su relación superficie/volumen es superior a 3000 m⁻¹ (López, 2010).

En el cuadro 1 se muestran las clases texturales usadas en la actualidad y en la figura 6 se muestra el Triángulo de Texturas.

Sistema internacional	
Sistema internacional	(μm) micras
Arena gruesa	2000 – 200
Arena fina	200 – 20
Limo	20 – 2
Arcilla	< 2

Cuadro 1. Clases texturales

Una de las formas más comunes para determinar la textura del suelo es por el procedimiento de Boyucos, la textura del suelo define la porción relativa de grupos dimensionales de partículas, los resultados obtenidos proporcionan una idea general de las propiedades físicas del suelo, el fundamento de esta metodología es separar los agregados y analizar sólo las partículas, el tiempo de lectura es aproximado de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena), y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0.002 mm (limo y arena), estos límites han sido establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, estos límites se han usado para construir el triángulo de texturas (Figura 6) (Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000).

Clases Texturales en los Suelos

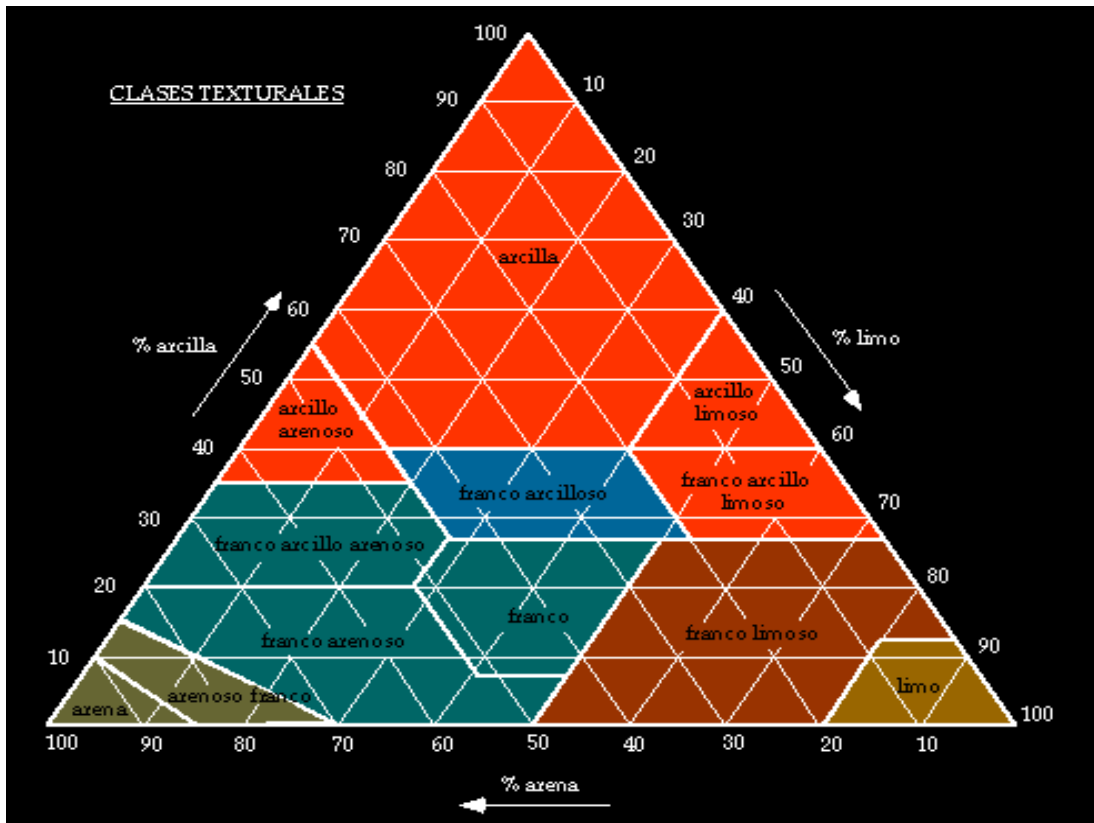


Figura 6. Clases Texturales en los Suelos “Curso de Edafología” Propiedades Físicas de los Suelos, Susana Hang (2014)

1.4 Propiedades químicas del suelo

Las Propiedades Químicas son las que dependen de la parte más íntima del suelo las más importantes son la alteración mineral y la formación de nuevas especies así como lo relativo a la destrucción de la materia orgánica fresca y la formación de las sustancias húmicas.

Como se dijo con anterioridad en el apartado 1.2 (Aspectos Edafológicos del Suelo), el suelo es considerado como un sistema de tres fases, fase sólida: agregados minerales y orgánicos, fase líquida: agua de la solución del suelo. Fase gaseosa: atmósfera del suelo contenida en el espacio poroso.

La fase sólida del suelo proviene de la descomposición de las rocas y de los residuos vegetales, y es relativamente estable en cuanto a su composición y organización. Dicha estabilidad suele servir para la caracterización de un suelo.

Para la fracción sólida los componentes minerales constituyen la mayor parte de la estructura de un suelo en orden de abundancia, los elementos más comúnmente encontrados en los minerales son: O, Si, Al, Fe, C, Ca, K, Na, Mg, Ti. Los minerales se dividen en primarios y secundarios; los primeros se encuentran constituidos principalmente por O y Si y forman silicatos de estructuras "Si-O" (grava y arena). Los minerales secundarios, provenientes de procesos de disolución y precipitación, son de suma importancia debido a su superficie de reacción, y a que sirven como depósitos de agua, nutrientes y materia orgánica, lo que le confiere la parte activa de un suelo (arcillas) (Volke, 2005).

En 1929, mediante la aplicación de técnicas de rayos X, Grim y Holding determinaron la naturaleza cristalina de las arcillas. Las arcillas son un conjunto de minerales de origen secundario, formado en el proceso de alteración química de las rocas, poseen un tamaño coloidal, con estructura cristalina bien definida y un gran desarrollo superficial, con propiedades físico químicas responsables en gran parte del suelo (Foth, 1990).

La fase sólida constituye el esqueleto o matriz del suelo, la fracción orgánica está constituida por desechos vegetales, animales y cantidades de materia orgánica amorfa llamada humus, la fracción orgánica en general, tiene un contenido de materia orgánica entre 0.5 y 5%.

La materia orgánica constituye un conjunto de múltiples sustancias, en constante transformación y difíciles de definir, frente a los componentes inorgánicos de la fase sólida del suelo. El hecho de su constante transformación sirve como criterio de clasificación, atendiendo a su grado de evolución. De este modo, se puede agrupar el conjunto de la materia orgánica del suelo de la siguiente forma:

1) **Vegetales y animales vivos**, que viven en el suelo e influyen directamente sobre sus propiedades. La falta de precisión terminológica hace que algunos

autores excluyan a este grupo de la materia orgánica del suelo, así como los productos de su descomposición inicial. De una manera muy general, en este grupo se incluyen básicamente las plantas (raíces), así como la biomasa microbiana, la fauna del suelo, etc. Este grupo constituye aproximadamente el 5 % de la materia orgánica del suelo (López, 2010)

2) **Materia orgánica muerta.** Constituye la mayor parte de la materia orgánica del suelo (95 %). Contribuye tanto a la fertilidad química como a la fertilidad física del suelo.

A: Materia orgánica fresca, o materia orgánica lábil compuesta por los restos animales y vegetales que se incorporan al suelo y transformados de manera incompleta, junto a otros materiales incorporados por el hombre, como los restos de cultivos enterrados, compost, estiércol, basuras, abonos verdes, purines, etc. La materia orgánica fresca es atacada por organismos del suelo de tipo animal (gusanos, insectos, protozoos, etc.), vegetal y hongos, su composición química es la misma que los tejidos vivos de los que procede.

B: Materia orgánica transformada. Productos procedentes de la descomposición inicial de la materia orgánica.

✓ **Sustancias no húmicas.**

- I. **Compuestos hidrocarbonados** (formados por C, H y O), tales como azúcares solubles, almidón, celulosa, lignina, grasas, resinas, taninos, etc. El grupo más abundante es el de los polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, almidón, etc.).
- II. **Sustancias nitrogenadas**, sobre todo en forma de aminoácidos, péptidos, proteínas, amino azúcares, etc. Son sustancias que se componen de C, H, O, N, P y S, básicamente. Se trata de sustancias complejas, constituidas por macromoléculas que difieren en su distinta velocidad de descomposición. Los azúcares, el almidón, la celulosa y las proteínas son sustancias muy fácilmente degradables, y sirven como fuente de energía para los microorganismos del suelo. Por el contrario, la lignina, las grasas,

las resinas, los taninos, etc., son sustancias que se degradan muy lentamente y de forma incompleta, dejando residuos. La lignina o los taninos son macromoléculas aromáticas, con una tasa de descomposición muy lenta. Los lípidos provienen de la descomposición de restos vegetales, animales y microbianos.

III. **Productos transitorios.** Son sustancias resultantes de la degradación y la descomposición de las moléculas orgánicas complejas, que originan productos químicos sencillos. Corresponden a los eslabones de esta cadena de transformaciones, desde los materiales orgánicos frescos hasta los compuestos minerales, así como sustancias resultantes de la reorganización bioquímica de algunos de estos productos químicos sencillos. Algunas de las sustancias más importantes de este grupo son polisacáridos. Los polisacáridos tienen gran número de grupos -OH, así como grupos amino, carboxilos, fenoles y otros. Se producen en gran cantidad cuando los restos de materia orgánica fresca son degradados por la fauna microbiana del suelo. Pero con la misma velocidad con que son producidos, también son degradados. Pueden considerarse productos transitorios en el ciclo de la materia orgánica, dependiendo su velocidad de producción y descomposición de las condiciones ecológicas que afectan la actividad microbiana y de las características de los restos vegetales

- ✓ **Sustancias húmicas.** Se originan a partir de los productos transitorios mediante reacciones bioquímicas de síntesis que ocurren en el suelo, sustancias como el humus y las huminas, estas sustancias no están presentes en la materia orgánica viva, sino que aparece exclusivamente en el suelo.

En general, la composición química y la estructura física del suelo están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por el tiempo en que ha actuado la meteorización (desintegración por la acción de agentes atmosféricos), por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas.

Otra de las propiedades químicas del suelo es el pH, los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH. A pH bajos los hidrogeniones están fuertemente retenidos en las superficies de las partículas, pero a pH altos los H de los grupos carboxílicos primero y de los OH después, se disocian y los H⁺ pueden ser intercambiados por cationes.

El valor de pH varía entre 0 y 14, en los suelos naturales el valor de pH oscila entre 3 (suelos con sulfatos ácidos) y 12 (suelos alcalinos), los suelos aptos para la agricultura tienen un pH comprendido entre 5.5 y 8.5. Figura 7.

Clasificación de los suelos según el valor del pH

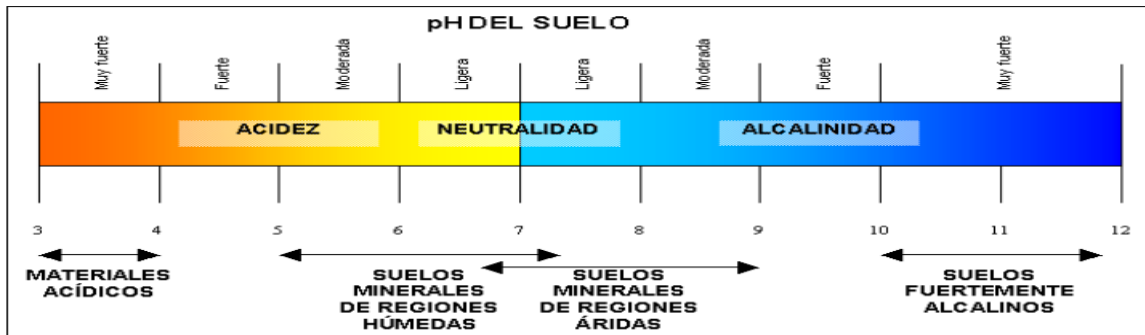


Figura 7. Fuentes: “MANUAL DE EDAFOLOGÍA” por Antonio Jordán López, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la “Universidad de Sevilla (2009-2010).

Una de las propiedades químicas fundamentales del Suelo es la “Capacidad De Intercambio de Cationes” (CIC), en el suelo las arcillas pueden cambiar cationes, las causas de la capacidad de cambio de cationes de las arcillas son: Sustituciones atómicas dentro de la red y Existencia de bordes (superficies descompensadas).

La CIC está estrechamente relacionada con la fertilidad del suelo, ya que una elevada “CIC” significa una elevada capacidad de almacenar nutrientes, y una disminución del riesgo de pérdida por lavado de los nutrientes. Si el contenido en cationes asimilables es demasiado bajo, estos pueden quedar retenidos en el complejo de cambio y no estar disponibles para las plantas.

Cuando la concentración en el suelo de un determinado catión disminuye por lavado o por absorción de las raíces, parte de los cationes retenidos en el

complejo de cambio pueden desplazarse hacia la solución del suelo para restaurar el equilibrio. Del mismo modo, los cationes dominantes en la solución del suelo pueden competir con éxito frente al resto por los lugares de unión a la arcilla: en los suelos ricos en Ca^{2+} este catión puede saturar el complejo de cambio, lo que produce pérdidas por lavado de otros cationes (Figura 8).

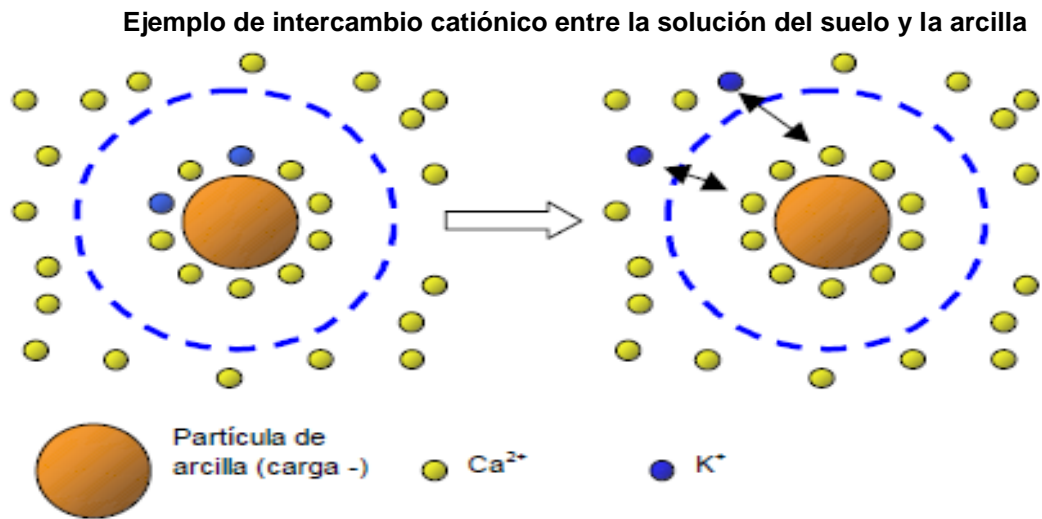


Figura 8. Fuentes: "MANUAL DE EDAFOLOGÍA" por Antonio Jordán López, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la "Universidad de Sevilla (2009-2010).

La Figura 9 muestra la representación gráfica de la relación entre la composición de los cationes de cambio y el grado de saturación o desaturación (acidez / basicidad) de los suelos y se establecen tres tipos de suelos:

- 1) Suelos desaturados, con presencia importante de cationes ácidos (H^+ y Al^{3+}). La presencia de aluminio indica una elevada acidez y fitotoxicidad.
- 2) Suelos poco saturados a saturados, neutros a ligeramente básicos, con presencia mayoritaria de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el complejo de cambio. No existe aluminio, y los protones ocupan sólo el 12 – 30 % del complejo.
- 3) Suelos muy saturados, donde el porcentaje de H^+ oscila entre el 4 y el 15 % En los suelos más básicos, el sodio de intercambio llega a representar hasta el 75 % del complejo.

Relación entre la composición catiónica del complejo de cambio y la acidez del suelo

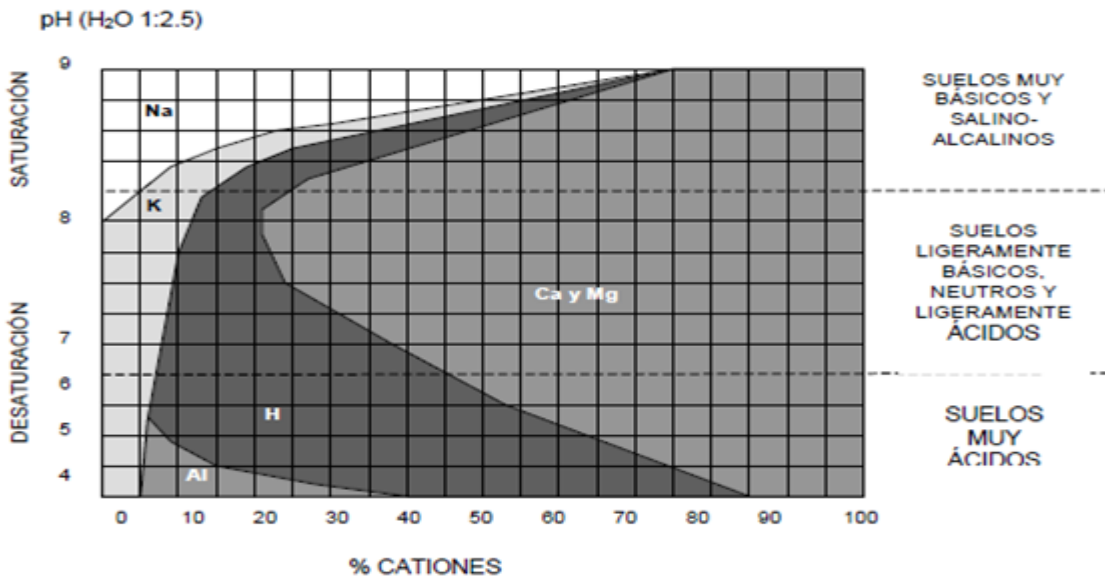


Figura 9. Fuentes: "MANUAL DE EDAFOLOGÍA" por Antonio Jordán López, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la "Universidad de Sevilla (2009-2010).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que un valor elevado de CIC también significa que, en el caso de un suelo desaturados, inmediatamente tras el abonado, los nutrientes pueden encontrarse adsorbidos en el complejo de cambio, de modo que no estarán disponibles para la planta.

La capacidad de intercambio catiónico tiene gran importancia a la hora de evaluar la fertilidad química. (López, 2010)

El Suelo tiene un determinado valor de pH los factores son diversos, fundamentalmente: naturaleza del material original, factor biótico, precipitaciones, complejo adsorbente (saturado en cationes ácidos o básicos).

Los pH neutros son los mejores para las propiedades físicas de los suelos. A pH muy ácidos hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. En pH alcalino, la arcilla se dispersa, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico.

1.5 Degradación del suelo

La degradación del suelo se define como un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios. Los suelos degradados contienen un estado de salud que no pueden proporcionar los bienes y servicios normales del suelo en cuestión en su ecosistema.

Se entiende por procesos de degradación del suelo el conjunto de reacciones de tipo físico, químico o biológico y sus interacciones que afectan a la capacidad de autorregulación de los suelos y a su productividad.

Una vez iniciada la degradación, hay diversos procesos que intervienen con posterioridad: erosión, salinización, contaminación, degradación física, degradación biológica y degradación química. El que actúe uno u otro y la intensidad relativa de cada uno depende de los factores ambientales, de forma análoga a lo que ocurre durante su formación (Mataix, 1999).

La degradación del Suelo es progresiva debido a influencia del clima y la vegetación, así como microorganismos del suelo que hacen cambiar sus propiedades, como consecuencia se obtiene la pérdida de la calidad de la estructura del suelo. La degradación estructural puede ser observada en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo la capa arada, donde surgen capas compactadas, con esa degradación, las fases de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan.

Las principales causas de la degradación del suelo son:

- Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, la acción de lluvias como consecuencia ocurre el colapso estructural formándose costras con espesor medio de un milímetro que reducen drásticamente la infiltración del agua.
- Pérdida de la materia orgánica del suelo, el manejo inadecuado lleva a una reducción del contenido de materia orgánica del suelo, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de

agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la pérdida de su calidad y de la estabilidad de su estructura.

- La excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a cabo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión: las pérdidas absolutas de suelo de la capa superficial y nutrientes del suelo). La reducción de la rugosidad provocada por la labranza induce a la elevación de la velocidad de escurrimiento y a la disminución de la tasa de infiltración, aumentando los efectos erosivos por la mayor energía cinética del agua en la superficie del suelo, a su vez la utilización de equipo inadecuados y pesados y el pesaje de maquinaria sobre el suelo, provocando el surgimiento de capas compactadas sub superficiales, normalmente entre 10 y 30 cm de profundidad y con un espesor de 10 a 15 cm, estas capas ofrecen una fuerte resistencia y restringen la capacidad de infiltración de agua y aireación.

Las etapas del proceso de degradación del suelo pueden ocurrir por tres etapas (Friedrich, 2000)

ETAPA 1: Las características originales del suelo son destruidas gradualmente, la degradación es poco perceptible debido a la poca intensidad de los procesos y al mantenimiento de la productividad por el uso de correctivos y fertilizantes.

ETAPA 2: Ocurren pérdidas acentuadas de la materia orgánica del suelo, con fuerte daño de la estructura, hay además de encostramiento superficial, compactación sub-superficial que impide la infiltración del agua y la penetración de raíces, de esta forma la erosión se acentúa y los cultivos responden menos eficientemente a la aplicación de correctivos y fertilizantes.

ETAPA 3: El suelo está intensamente dañando con gran colapso del espacio poroso, la erosión es acelerada y hay dificultad de operación de maquinaria agrícola. La productividad cae a niveles mínimos.

El tiempo para llegar a esta tercera etapa de degradación depende de la intensidad de uso de prácticas inadecuadas de labranza y manejo, de la pendiente de la tierra, de la estructura del suelo y la resistencia del suelo a la erosión hídrica.

Se entiende por procesos de degradación del suelo el conjunto de reacciones de tipo físico, químico o biológico y sus interacciones que afectan a la capacidad de autorregulación de los suelos y a su productividad.

Como se señaló anteriormente, el factor inicial de los procesos de degradación es, en la mayor parte de los casos, una actuación humana inadecuada, pero hay también ciertas situaciones naturales que propician el desarrollo de Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados determinados por procesos degradativos como puede ser la acidificación, la pérdida de materia orgánica, la salinización, el agotamiento de nutrientes por lixiviación, o la acumulación de sustancias tóxicas, son todos procesos que se pueden clasificar como agentes e indicadores de la degradación química del suelo (Mirsal, 2004).

Los indicadores para la degradación del suelo que se utilizan pueden ser indicadores físicos, medidos mediante la investigación de algunas de las características físicas fundamentales de suelo, la densidad, la infiltración del agua o en el campo de la capacidad de retención de agua. Los indicadores químicos de suelos se evalúan normalmente a través de valores de pH o la concentración de ciertos iones tales como nitratos.

Debido a la diversidad de aproximaciones que pueden usarse para estudiar la degradación del suelo, es muy difícil desarrollar un sistema único para medirla. En el caso de México, se han realizado distintos estudios que por sus diversas aproximaciones, metodologías y definiciones, dificultan la comparabilidad de sus resultados. Ejemplos de esta divergencia son las recientes estimaciones publicadas en 2013 por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) como parte del estudio para delimitar la Línea Base Nacional de Degradación de Tierras, y en el cual estimaron en 61.7% la superficie nacional afectada por erosión hídrica, eólica y degradación química y física.

La degradación causada por la erosión eólica depende de la intensidad del viento que se ejerce con fuerza sobre el suelo que afecta a partículas de un tamaño específico (limo, arcilla y arena), ya que estas son fácilmente transportadas si no están unidas entre sí.

El motivo de la degradación química específicamente fue la disminución de la fertilidad, mientras que en el caso de la física fue la compactación. Tanto en la erosión hídrica como en la eólica, el tipo dominante fue la pérdida de suelo superficial, caracterizada por la remoción uniforme del material superficial por las escorrentías o el viento.

La degradación del suelo en el aspecto químico se interpreta como la alteración estructural de los compuestos químicos por algún proceso, como las reacciones redox o la hidrólisis, que conllevan a la oxidación o reducción química del compuesto contaminante.

Las reacciones redox son aquellas en que los estados de oxidación cambian por que implican una transferencia completa de electrones de especies químicas, que son agentes reductores, el tipo de reacciones que se presentan en el suelo es debido al vínculo que hay entre la aireación edáfica y el pH condicionando a la actividad microbiana, los electrones sueltos en el suelo no existen, estos son transferidos desde reductores a oxidantes, algunos ejemplos de este tipo de procesos es la reducción del Fe (III) y SO_4^{2-} en sedimento. (Iturbe, 2014).

Como se mencionó en párrafos anteriores la degradación del suelo también se ve afectada en sus propiedades físicas como la compactación del suelo, la compactación es la reducción de la masa de suelo y se expresa generalmente en la densidad aparente en seco, porosidad y resistencia a la penetración.

Los suelos compactados son normalmente de una densidad aparente más alta que los no compactados el valor de los suelos no compactados es 1.5 g/cm^3 mientras que los compactados su valor es de SC (Suelos compactado) $> 1.5 \text{ g/cm}^3$.

Esto conduce a una reducción tanto de la infiltración de agua y problemas de aireación, los cambios físicos derivados de compactación puede tener consecuencias de largo alcance para las condiciones biológicas y químicas que prevalecen en el suelo, como por ejemplo el descenso de la temperatura para reducir la actividad de los organismos del suelo (Mirsal, 2004).

La compactación puede ejercer presiones verticales y son controladas por muchos factores como puede ser el contenido de arcilla, su textura, sus estructuras laminares de las arcillas y la reducción de volumen, cuando se lleva a cabo la compactación en el suelo con las condiciones mencionadas se les conoce como conocidos sartenes de cultivo impidiendo el drenaje y obstaculizando la formación de redes de raíces de las plantas también retrasando su germinación.

La superficie afectada por erosión Hídrica es provocada producida por distintos procesos como la erosión laminar, que consiste en la eliminación de una capa delgada relativamente uniforme de suelo superficial, debida a la lluvia y a la escorrentía superficial no canalizada, otro tipo de este tipo de erosión es la de cárcavas proceso en el cual el agua se acumula y se crean canales estrechos, arrastrando en un corto periodo el suelo hasta profundidades considerables, estas cárcavas son inestables porque suelen concentrar el agua de drenaje del terreno circulante (Imenson, 1995).

Algunas de las causas de la degradación del suelo son provocadas por el hombre en México, se muestra en la figura 10 y 11 donde se explican algunas afectaciones.

Degradación del suelo causada por el hombre erosión Hídrica y eólica

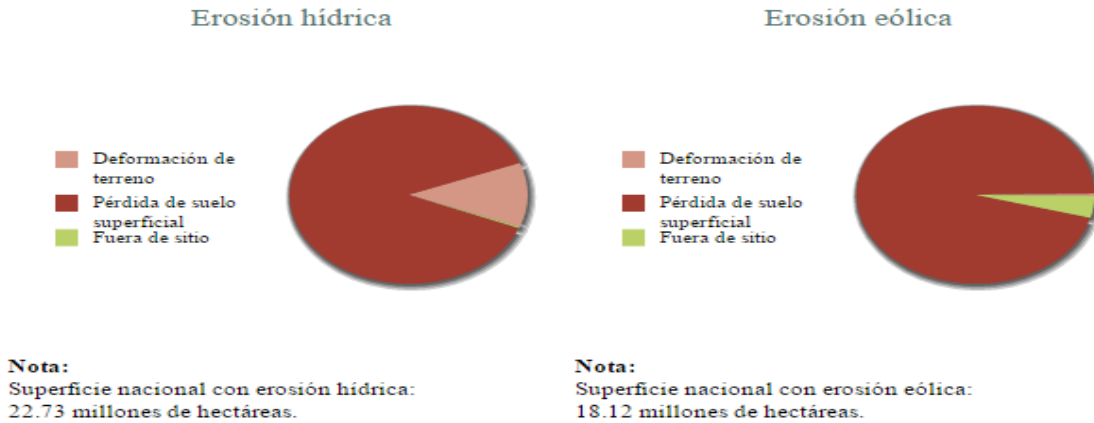


Figura 10. Fuente: Elaboración propia con datos de: Semarnat y CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000

Degradación del suelo causada por el hombre química y física

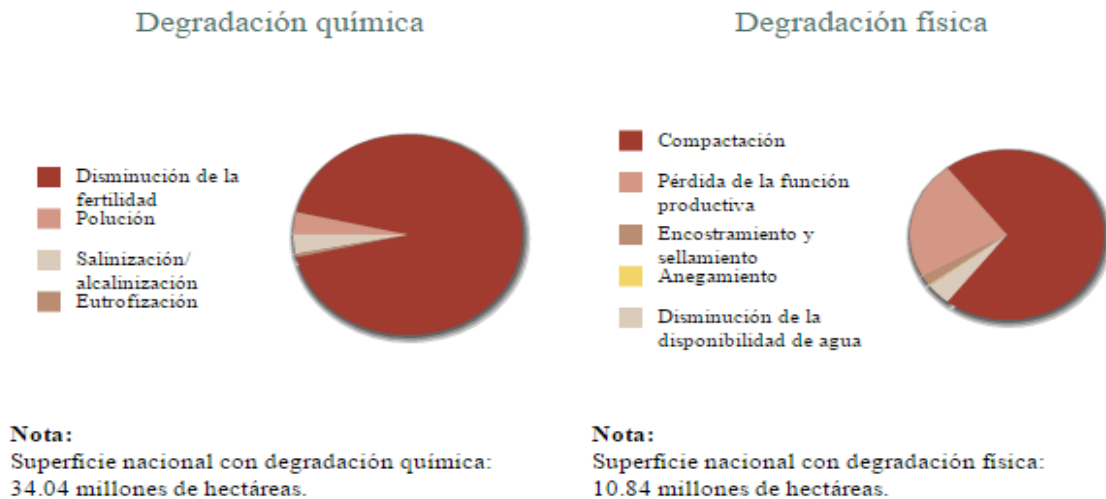


Figura 12. Fuente: Elaboración propia con datos de: Semarnat y CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana,

Capítulo 2

“CONTAMINACION EN EL SUELO”



2.1 Contaminación en el suelo y los residuos

El rápido crecimiento demográfico a nivel mundial demanda necesidades de alimentación, salud y educación, lo cual nos obliga como ciudadanos a realizar un adecuado uso y manejo de los recursos naturales.

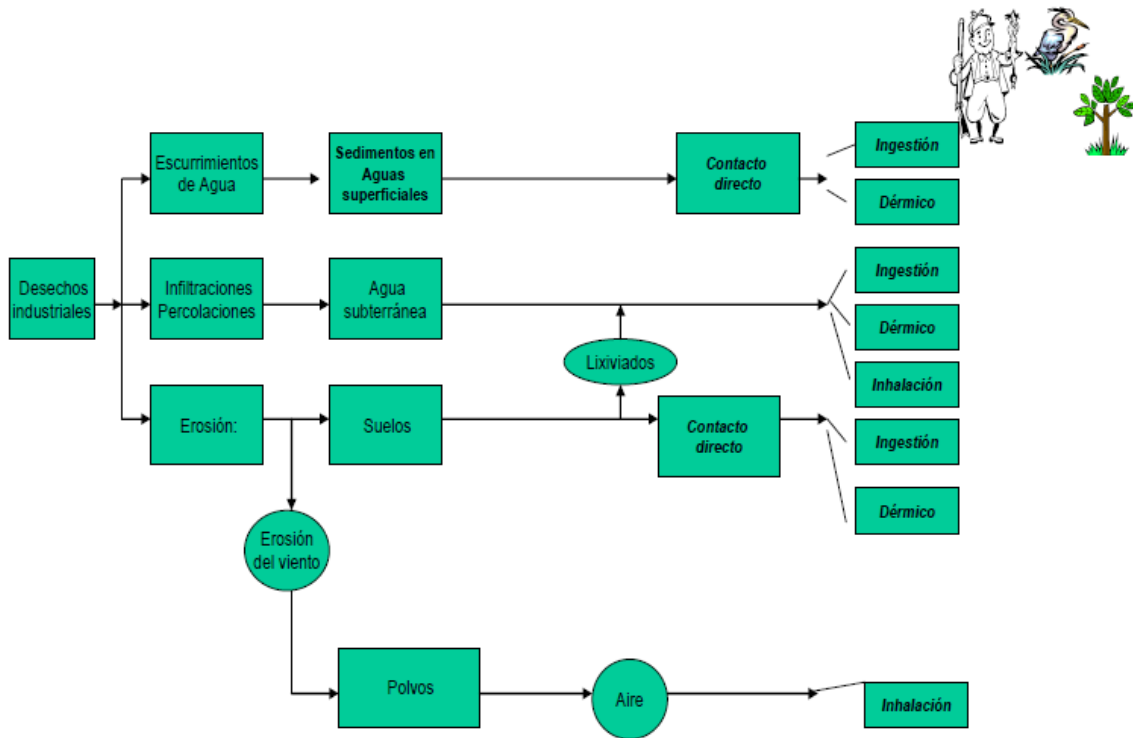
Desde tiempos muy remotos la contaminación ha sido un factor que perjudica el desarrollo de proyectos, construcciones y planes de crecimiento social o según sea el caso, hay diferentes tipos de contaminación, cada uno de estos tipos tiene sus propias causas y consecuencias distintivas, el estudio de la contaminación ambiental ayuda a entender los conceptos básicos con mayor detalle y producir protocolos para los tipos específicos, en consecuencia, los principales tipos de contaminación son:

- ❖ Contaminación del Agua
- ❖ Contaminación del Aire
- ❖ Contaminación del Suelo
- ❖ Contaminación Térmica
- ❖ La Contaminación radiactiva
- ❖ Contaminación Acústica

El suelo es una capa muy fina que cubre la mayor parte de la superficie terrestre y es uno de los recursos indispensables para el sustento de la humanidad, su contaminación surge cuando se ha superado la capacidad de amortiguar una o varias sustancias, y como consecuencia pasa actuar como una línea de paso a la contaminación de mantos acuíferos, en la superficie y para los organismos presentes en el suelo.

El Esquema Conceptual 1 se describe el contenido de la potencialidad de los riesgos a la salud o al ambiente en un evento de contaminación de suelo.

Potencialidad de riesgos a la Salud o al Ambiente



Esquema 1. Ejemplo de un Modelo Conceptual conteniendo la potencialidad de riesgos a la salud o al Ambiente en un evento de contaminación de suelo. Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (Pag. 52)

La contaminación del suelo consiste en una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo, como consecuencia el almacenamiento incorrecto de residuos, su vertido intencionado o accidental, la acumulación de basuras en su superficie o el enterramiento de los mismos, así como fugas en tanques superficiales, subterráneos o infraestructuras deficientes son algunas de sus principales causas.

Sin embargo, la lista es mucho más larga, existen otras causas no menos importantes, como las fugas radiactivas, el uso intensivo de pesticidas o abonos químicos, la minería, las actividades de la industria química, la acumulación de sustancias tóxicas en unas concentraciones que superan el poder de amortiguación natural del suelo, provocando la disminución de la calidad del suelo y que modifican negativamente sus propiedades. (Mirsal, 2004).

Esta acumulación de contaminantes se realiza generalmente como consecuencia de actividades humanas aunque también se puede producir de forma natural las rocas pueden ser uno de estos casos, los elementos químicos contenidos en las rocas pueden llegar a concentrar niveles tóxicos, hay ejemplos donde los suelos evolucionan formando rocas serpentizadas con altos contenidos en metales pesados como el Cr, Ni, Cu y Mn, entre otros. Conforme se desarrolla esta concentración residual metálica, estos elementos que inicialmente eran constituyentes no asimilables de los minerales primarios pasan a formas más activas, solubles y biodisponibles que influyen negativamente sobre la actividad biológica.

Las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas del suelo controlan en gran medida los ciclos biogeoquímicos superficiales, estas reacciones están estrechamente controladas por propiedades del suelo como su textura, estructura, porosidad, capacidad de intercambio catiónico, pH y la actividad microbológica, hay que tener presente que el poder de amortiguación de un suelo no es ilimitado y cuando se rebasa ese nivel el paso entre la atmosfera y la hidrosfera los contaminantes producen un desequilibrio y la contaminación en el suelo será un medio circulante (Ortiz,2007).

Los factores influyentes en la contaminación del suelo pueden tomar diferentes aspectos, como:

*** *Movilidad***

Este factor regula la distribución del contaminante y por tanto su posible transporte a otros sistemas.

*** *Vulnerabilidad***

El grado de vulnerabilidad de un suelo frente a la contaminación depende de la intensidad de afectación, del tiempo que debe transcurrir para que los efectos indeseables se manifiesten en las propiedades físicas y químicas de un suelo y de la velocidad con que se producen los cambios secuenciales en las propiedades de los suelos en respuesta al impacto de los contaminantes.

*** Poder de amortiguación**

El suelo actúa como una barrera protectora de otros medios más vulnerables, como los hidrológicos y los biológicos, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc. Pues presentan los suelos una elevada capacidad de depuración.

Cuando un suelo ha rebasado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias, se dice que es un suelo contaminado, y consecuencia de ello, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera, y los organismos (Mackenzie, 2005).

La destrucción y el deterioro del suelo son muy frecuentes en las ciudades y sus alrededores, un caso silencioso que se presentan es la basura doméstica, ésta es arrojada al aire, al agua o al suelo produciendo contaminación, con el hecho de amontonar la basura al aire libre ésta permanece en un mismo lugar durante mucho tiempo, parte de la basura orgánica se fermenta, además de dar origen a mal olor y gases tóxicos, al filtrarse a través del suelo en especial cuando éste es permeable, contamina con hongos, bacteria, y otros microorganismos patógenos, no sólo ese suelo, sino también las aguas superficiales y subterráneas que están en contacto con él, interrumpiendo los ciclos biogeoquímicos y contaminando las cadenas alimenticias.

Dada la facilidad de transmisión de contaminantes el suelo es el responsable indirecto del daño, estos efectos tóxicos dependerán de las características toxicológicas de cada contaminante y de la concentración del mismo (Mackenzie, 2005).

Cuando las sustancias son bioacumulables el riesgo se amplifica al incrementarse las concentraciones de contaminantes a medida que asciende en la cadena trófica, en cuya cima se encuentra el hombre.

En México se tiene presente la gran actividad minero-metalúrgica, estos procesos dan elementos para la fabricación de nuevos equipos y tecnologías, pero a gran escala puede causar daños ambientales y en casos extremos destruir el

ecosistema, algunas industrias que se dedican a estos procesos pueden llegar a emitir partículas de dimensiones micrométricas, que son fácilmente transportables por el viento a grandes distancias y causar problemas de salud a la población.

Para (Volke,2005) el impacto de la minería y la metalúrgica sobre el ambiente y la salud se relaciona con la composición del mineral, el tipo de explotación, el proceso de beneficio, la escala de las operaciones y características del entorno, la composición de los residuos puede variar de acuerdo con las condiciones particulares de la mina.

Otra fuente de contaminación de este tipo (industria minera) es por el drenaje pluvial, descargas y drenajes industriales, rellenos sanitarios y la combustión de combustibles fósiles.

La contaminación del suelo conduce pequeños materiales que son llamados residuos estos pueden tener diferente origen, un residuo se define como un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final. Algunos de sus efectos tóxicos que llegan a provocar como contaminación es alteración en el sistema nervioso y renal, los residuos se clasifican en:

Cuadro 2. Clasificación de Residuos

RESIDUO PELIGROSO	RESIDUO DE MANEJO ESPECIAL	RESIDUO SÓLIDO URBANO
Son aquellos que posean algunas de las características de reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad; así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.	Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.	Son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen de sus envases y empaques; los residuos que provienen de otra actividad como establecimientos en la vía pública donde genera residuos en lugares públicos.

Fuente: Artículo 5º, fracción XXIX, XXXII y XXX de la LGPGIR (LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS)

El principal objetivo de la clasificación de los residuos es dar a conocer a los generadores el estado físico, las propiedades y las características inherentes de los residuos, dicha clasificación se lleva a cabo atendiendo a dichos aspectos, para que en función de sus volúmenes, formas de manejo y concentración, anticipen su comportamiento en el ambiente, la probabilidad de que ocasionen o puedan ocasionar efectos adversos a la salud y/o al ambiente.

2.2 Contaminantes químicos presentes en el suelo

Las actividades industriales han provocado serios daños al medio ambiente afectando casi a la totalidad de los ecosistemas. En algunos casos el suelo presenta un ecosistema donde, actualmente, se puede encontrar una gran variedad de contaminantes entre los cuales destacan los hidrocarburos que son derivados de las actividades petroleras y suelos contaminados por metales.

Por la gran importancia que representa el suelo para la vida del hombre y de todos los seres vivos, este recurso se debe conservar. Sin embargo, en la actualidad está seriamente amenazado por la práctica de sistemas de producción inadecuados o mal aplicados, que incluso han acelerado los procesos de erosión y

desertificación de grandes zonas, de igual forma, la industrialización y urbanización han generado una gran cantidad de desechos que son incorporados al suelo, lo cual ocasiona tanto la reducción de su fertilidad como la modificación de sus procesos naturales.

El estudiar las características particulares del suelo es importante para determinar su grado de contaminación y, consecuentemente, aplicar alguna de las tecnologías de remediación existentes.

Existe una cadena amplia de contaminantes presentes en el suelo, los contaminantes no provocan grandes alteraciones importantes pero están presentes, los detergentes son contaminantes utilizados como productos de limpieza e higiene, el uso puede ser doméstico o agrosanitario en defensa de la salud, estos contaminantes pueden ser arrastrados por las aguas al interior del suelo, sus efectos de estos contaminantes pueden ser: Alteraciones las características de la micro flora y micro fauna, provocan la formación de espumas en charcos y arroyos, modificación de la porosidad del suelo, modificaciones de características físicas del suelo y llegan a transferirse en los mantos acuíferos cuando los detergentes no son biodegradables.

En el suelo pueden estar presentes contaminantes como lo son los Hidrocarburos, su comportamiento de estos contaminantes orgánicos está en función de las características físicas y químicas, además de las características del medio, estructura del suelo, permeabilidad, contenido de humedad y de materia orgánica, así como la profundidad del manto freático, factores climatológicos y la precipitación pluvial, estas variables en conjunto pueden dar una aproximación de la distribución del contaminante para estar presente en una zona específica. (Brito, 2003).

Los compuestos orgánicos ligeros como las gasolinas, aceites y petróleo crudo tienden a formar una capa en forma de nata en el nivel freático y se mueven horizontalmente en dirección al flujo de agua subterránea y los compuestos orgánicos densos migran hacia la base de los acuíferos creando una columna a

partir de moverse en dirección del flujo del agua subterránea de esta manera buscando llegar a los acuíferos en su máxima profundidad.

Para Oscar Ortínez Brito (2003) las propiedades físicas del suelo más afectadas por derrames de hidrocarburos son, El aumento de la retención de agua en la capa superficial, su estructura del suelo debido a la ruptura de los agregados y el potencial hídrico (magnitud empleada para expresar y medir el estado de energía libre del agua), estas propiedades afectadas repercuten en la arcilla principalmente esto debido a la persistencia de sustancias tóxicas.

Las propiedades químicas del suelo más afectadas por la contaminación por hidrocarburos son: Aumento de carbono orgánico, ya que el 75% del carbono del petróleo crudo es oxidable y la disminución del pH, debido a la acumulación del carbono orgánico y generación de ácidos orgánicos, estos efectos en el suelo dependerá de la cantidad del contaminante, las características del sitio donde sucedió el derrame, composición del contaminante y variables ambientales como temperatura, humedad y tiempo de exposición.

La figura 12 muestra la obtención de algunos productos del petróleo que termina en siendo contaminantes en el suelo, como la gasolina, queroseno, diésel y etc.

Los plásticos presentes en el suelo y en su entorno como pueden ser zonas industriales o áreas próximas a las carreteras, muestran una estética desagradable produciendo alteraciones en el suelo, este tipo de material en ocasiones puede estar en la superficie o enterrado provocando una difícil degradación.

La mayoría de residuos plásticos están formados por polietileno o poli-estireno mencionando que su duración de vida es muy prolongada en años, por lo que ya existen solución que es la existencia de plásticos biodegradables esto favoreciendo al enfoque medio ambiental para su conservación.

Columna de fraccionamiento

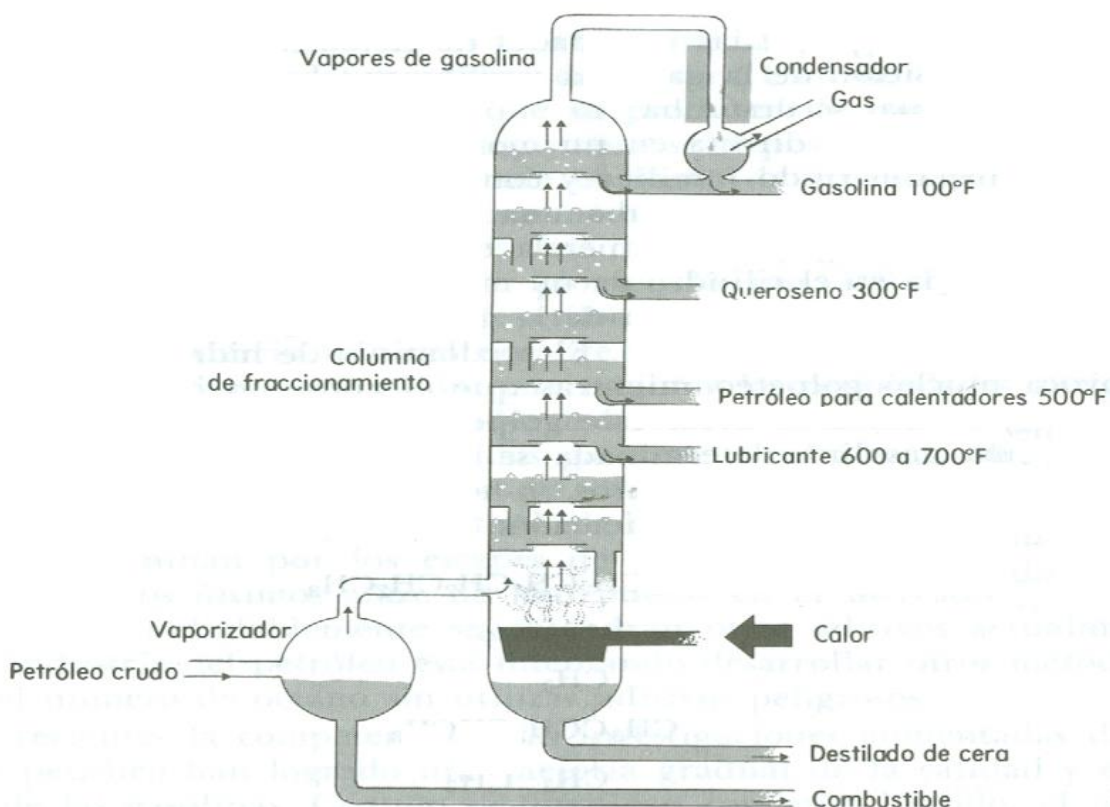


Figura 12. Esquema de una columna de fraccionamiento que muestra los diversos niveles de los cuales se obtiene fracciones del petróleo. Fuentes: "Química Orgánica y Bioquímica" por Roberto Espinoza Zarza, México, D.F., 2011

Existen un medio para su degradación y procesamiento de estos componentes, el añadir aditivos para poder llevar a cabo el proceso de foto degradación, se recomienda el uso de Copolímeros (es una macromolécula compuesta por dos o más monómeros o unidades repetitivas distintas, que se pueden unir de diferentes formas por medio de enlaces químicos). La falta de degradación de polímeros traerá consecuencias al Suelo, la evolución de los polímeros es influido por los rayos UV del sol reduciéndolos a polvo o a pequeñas partículas, los polímeros ejercen básicamente una acción mecánica sobre el suelo siendo diferente según sea el tipo de polímero en lo que se refiere a su configuración final, así los efectos serán distintos (Espinoza, 1999).

Desde tiempos remotos, los seres humanos han utilizado recursos naturales para su desarrollo, las minas se utilizaron como un recurso, que aprovecho el hombre para realizar trabajos y elaboración de herramientas y armas; posteriormente,

con la evolución continua y el conocimiento de diversos procesos, inventaron la metalurgia, logrando los principales beneficios minero metalúrgicos y tecnológicos asociados de la humanidad

Actualmente, el desarrollo de nuevas tecnologías de toda índole depende de los elementos que se obtienen por actividades minero metalúrgicas o del reciclaje de otros materiales, ya que muchos de los componentes de los nuevos equipos (computadoras, instrumentos analíticos y teléfonos celulares, entre otros) están fabricados de metales como el hierro, cobre, cadmio, oro, plomo, plata y otros elementos.

La excavación de minas, la remoción de minerales y el proceso y la extracción de metales puede causar daños ambientales y, en casos extremos, se puede dañar tierras de cultivo, favorecer la erosión y contaminar cuerpos de agua con sales solubles de elementos potencialmente tóxicos (EPT), como As, Se, Pb, Cd y óxidos de S, entre otros. Por otro lado, las industrias especializadas en el proceso de metales (siderurgias y metalúrgicas) pueden emitir partículas de dimensiones micrométricas, que son fácilmente transportables por el viento a grandes distancias y causar problemas en la salud de poblaciones (Volke, 2005).

La obtención de minerales consiste en su separación por algunos procesos como la pirometalurgia (proceso en seco y a través de calor) e hidrometalurgia (proceso húmedo).

Los primeros, incluyen operaciones como calcinación, tostación, fusión, volatilización, mientras los procesos hidrometalúrgicos abarcan operaciones como lixiviación, purificación y flotación/precipitación.

Como en ningún proceso logra una recuperación de 100%, los desechos mineros siempre contienen residuos del mineral, sin embargo, era común que muchas empresas descartaran sus desechos en ríos o los dispusieran en grandes pilas provocando contaminación en el medio ambiente (disposición de residuos al aire, agua y suelo, daños a otros recursos naturales), la composición de los residuos puede variar de acuerdo con las condiciones particulares de cada mina.

Algunas otras fuentes subestimadas, que generan la contaminación por metales son:

- a) Drenaje pluvial: en muchas ocasiones el drenaje pluvial de las ciudades puede contener muchos metales, dependiendo del tipo de camino y material de construcción de los mismos, de la cantidad de tráfico, planeación urbanística y uso de suelo.
- b) Descargas y drenajes industriales: actualmente en México, existe normatividad que regula las descargas de industrias; sin embargo, ciertas industrias pueden generar residuos con concentraciones mayores de metales por las características de sus procesos.
- c) Drenaje doméstico: transporta metales desechados por el metabolismo y lixiviados de los materiales de construcción de las tuberías (Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Bo y As). Los tratamientos convencionales para aguas residuales, remueven hasta 50% de los metales contenidos, dejando una carga considerable de metales en el agua tratada, además de concentrar los metales removidos en los lodos de tratamiento.
- d) Rellenos sanitarios: el lixiviado que se produce en los rellenos sanitarios normalmente contiene metales como Cu, Zn, Pb y Hg.

El ejemplo más común de la contaminación de suelos por actividades mineras en México es la generada durante el beneficio del oro y la plata, realizado comúnmente por amalgamación con Hg y por cianuración, en los procesos sin mucho valor para la obtención de algunos minerales producen contaminación que son llamados EPT (elementos potencialmente tóxicos) más comunes derivados de estos procesos, en el caso de México, son Pb, Cd, Zn, As, Se y Hg (Gutiérrez, 1997).

Otra fuente importante de contaminación por EPT (Elementos Potencialmente Tóxicos) en México es la actividad industrial, desde el inicio de la industrialización y hasta la actualidad, este tipo de actividades genera diversos tipos de residuos peligrosos que, ante la falta de una regulación jurídica adecuada que los identificara como tales, se dispusieron en sitios inadecuados como terrenos aledaños a las plantas industriales especialmente adquiridos para ese propósito, patios de las propias instalaciones industriales o bien se depositaron indiscriminadamente en barrancas, ríos, basureros, terrenos baldíos y cañadas, entre otros, provocando sitios contaminados que hoy en día repercuten en la sociedad, esta actividad realizada por las empresas a provocando que el contaminante más presente en dichos sitios sean los metales pesados, a su vez, el Pb es el más común de los metales pesados, la contaminación de suelos por metales es un problema persistente en muchos sitios, los contaminantes más frecuentes en las zonas mineras del país (México) son el As y el Pb, además del Cd en algunas de ellas. (Volke, 2005).

Los contaminantes en el suelo pueden también tienen procedencia de fuentes de contaminantes agroquímicos que incluyen fertilizantes, abonos y pesticidas, el principal efecto de la contaminación, causado por los fertilizantes y el estiércol, es la introducción de metales pesados y sus compuestos en el suelo.

Ejemplos de estos son la introducción de arsénico, cadmio, manganeso, uranio, vanadio y zinc por parte de algunos fertilizantes de fosfato, o la contaminación del suelo con zinc, arsénico y cobre cuando se utilizan aves de corral o de cerdos materiales de estiércol. Compuestos orgánicos se utilizan como plaguicidas, sin embargo, tienen efectos de mayor alcance para toda la comunidad dependiendo de la ecología del suelo (Mirsal, 2004).

Se define un plaguicida como: "Toda sustancia o preparado o preparada utilizado para cualquiera de los fines siguientes":

- Destrucción de los organismos nocivos para los vegetales o de madera u otros productos vegetales
- La destrucción de plantas no deseadas

- La destrucción de las criaturas nocivas

Los plaguicidas se clasifican generalmente en los siguientes grupos de acuerdo con su modo de acción y los organismos específicos que se utilizan para el combate:

- ✓ Insecticidas. Estos son compuestos químicos utilizados para matar insectos, ya sea específicamente para un tipo particular o en general para una variedad de insectos.
- ✓ Herbicidas. Productos químicos utilizados para combatir o reprimir el crecimiento de todos o ciertos tipos de las plantas.
- ✓ Fungicidas. Productos químicos utilizados para matar o suprimir el crecimiento de todo tipo o de un cierto tipo de hongo.

2.3 Dinámica del suelo

El aire presente en el suelo está en continuo intercambio con el aire atmosférico y gracias a esta constante renovación la atmósfera del suelo no se vuelve irrespirable. Este movimiento puede realizarse por movimiento en masa o por difusión.

El movimiento en el suelo se produce debido a variaciones de temperatura y de presión entre las distintas capas del suelo y entre este y la atmósfera. Estos gradientes hacen que entre y salga aire del suelo. El viento impulsa el aire dentro del suelo y succiona aire de la atmósfera. También la lluvia al penetrar dentro de los poros expulsa al aire del suelo.

La superficie del suelo actúa como una membrana permeable que permite el paso de los gases. Se intercambian selectivamente los gases del suelo con los de la atmósfera para tratar de equilibrar su composición, los intercambios de gases entre el suelo y el aire exterior y, por tanto, el causante principal de la renovación de la atmósfera del suelo, la difusión depende de cada tipo de gas y de la porosidad del suelo.

La permeabilidad representa la facilidad de circulación del agua en el suelo, es un parámetro muy importante que influirá en la velocidad de edificación y en la

actividad biológica que puede soportar un suelo, estas condiciones favorecen fundamentalmente a la textura y la estructura. (López, 2010)

La velocidad de infiltración que representa el caudal de agua que puede pasar por unidad de tiempo. Valores de dm/hora corresponden a suelos muy permeables, cm/hora dan suelos permeables y mm/hora para suelos poco permeables.

La velocidad de infiltración no es siempre la misma para un mismo suelo, pues depende de las condiciones de humedad que presente. Cuando el suelo se encuentra seco la infiltración tiene sus máximos valores y luego conforme cada vez está más húmedo su capacidad de admitir más agua es cada vez menor hasta que en condiciones de saturación total alcanza.

El agua presente en el suelo está sometida a dos tipos de clasificación en una serie de términos diferentes, ya sea desde un punto de vista físico o desde el punto de vista agronómico.

La clasificación del punto de vista físico se clasifica en:

- **Agua higroscópica.** Es aquella agua absorbida directamente de la humedad atmosférica, forma una fina película que recubre a las partículas del suelo, no está sometida a movimiento, no es asimilable por las plantas (no absorbible).
- **Agua capilar.** El agua contenida en los tubos capilares del suelo, dentro de ella se distingue el agua capilar absorbible y la no absorbible.
 - ✓ Agua capilar no absorbible. Se introduce en los tubos capilares más pequeños <0.2 micras. Está muy fuertemente retenida y no es absorbible por las plantas; la fuerza de succión es de 31-15 atmósferas.
 - ✓ Agua capilar absorbible. Es la que se encuentra en tubos capilares de 0.2-8 micras. Es un agua absorbible por las plantas. Es un agua útil para la vegetación, constituye la reserva durante los períodos secos. Está fuertemente absorbida; la fuerza de retención varía entre 15 a 1 atmósfera.

- **Agua gravitacional.** No está retenida en el suelo. Se habla de agua gravitacional de flujo lento y agua gravitacional de flujo rápido en función de su velocidad de circulación.

Tipo de agua higroscópica y agua capilar.

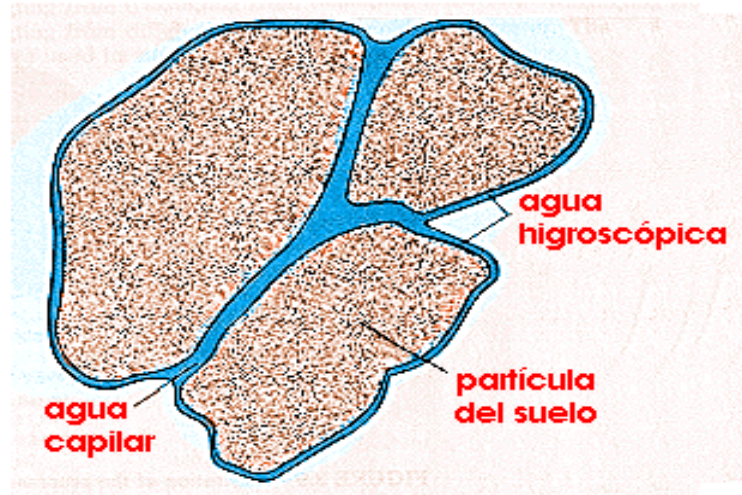


Figura 13 <http://www.edafologia.net/introeda/tema03/imagenes/aguaabs.gif> 02/10/16

Desde el punto de vista agronómico el agua presente en el suelo se clasifica :

- **Capacidad máxima.** Momento en el que todos los poros están saturados de agua. No existe fase gaseosa. La porosidad total del suelo es igual al volumen total de agua en el suelo.
- **Capacidad de retención.** Cantidad máxima de agua que el suelo puede retener. Representa el almacenaje de agua del suelo. Se produce después de las precipitaciones atmosféricas cuando el agua gravitacional abandona el suelo; no obstante, durante ese período se producen pérdidas por evaporación, absorción de las plantas, etc.
- **Punto de marchitamiento.** Representa cuando el suelo se deseca a un nivel tal que el agua que queda está retenida con una fuerza de succión mayor que las de absorción de las raíces de las plantas. Es el agua que queda a una presión de 15 atmósferas.

2.4 Transferencia de los contaminantes

Los mecanismos de transferencia de contaminación deben ser considerados como una interacción y un comportamiento de diversos procesos biológicos, físicos y químicos, por lo general estos procesos pueden llevarse dentro del cuerpo del suelo (Mirsal, 2004).

Los mecanismos considerados para el transporte de contaminantes en el suelo son:

1. Difusión: Moléculas contaminantes se propagan de zonas de mayor a menor concentración.
2. Dispersión: Movimiento del contaminante a través del medio poroso.
3. Adsorción: Adherencia de un contaminante a la superficie de un sólido.
4. Advección: El contaminante adquiere movimiento por acción del medio líquido de transporte.
5. Absorción: Penetración del contaminante al interior de un sólido.

El proceso de transporte como es la difusión es considerado como el de mayor migración de los contaminantes debido a la existencia de la gradiente de concentración, que presenta un movimiento de la zona de mayor concentración a la de menor concentración y deja de presentarse si no hay gradiente (Iturbe, 2014).

El flujo del material se expresa por el coeficiente de difusión, que depende tanto de las características de la molécula que se difunde, tamaño y temperatura (siendo mayor cuanto menos voluminosa sea y mayor sea su temperatura) como de las del medio por el cual se difunde la molécula y en concreto de su viscosidad, de tal manera que, en medios viscosos se observan valores bajos de difusión. Por ejemplo, en el aire una molécula tiene un coeficiente de difusión del orden de $10^{-5} \text{m}^2 \text{seg}^{-1}$, mientras que en medio más viscoso como el agua toma un valor de aproximadamente $10^{-9} \text{m}^2 \text{seg}^{-1}$.

Otra forma habitual de movimiento en el medio edáfico es la dispersión, mediante el cual el fluido sigue un camino tortuoso alrededor de las partículas del suelo en

el que, en último término, se produce un transporte neto de material de zonas de altas concentraciones a zonas de bajas concentraciones. En líneas generales el desplazamiento del fluido y, por consiguiente, el de las moléculas de compuesto, se puede asimilar a un movimiento de tipo difusivo.

Para medir la difusión de un compuesto en el suelo hay que considerar la interacción conjunta de parámetros tales como la porosidad, el factor tortuosidad, los procesos de adsorción, la naturaleza del compuesto, etc. (Fernández, 2006)

Normalmente existen diversos adsorbentes en el medio del suelo; Algunos ejemplos de éstos son dado por minerales de arcilla, zeolitas, hierro y óxidos hidratados de manganeso, hidróxido de aluminio, sustancias húmicas, sustancias mucosas bacterianas, y restos vegetales.

Algunos minerales se consideran como buenos adsorbentes de moléculas contaminantes, la capacidad de los minerales de arcilla y coloides en general en la adsorción moléculas extrañas en sus superficies se atribuye en parte a su alta energía superficial, y parcialmente a la existencia de una carga superficial neta que puede ser causada por algunos grupos funcionales (por ejemplo, M-OH).

Estos normalmente poseen los cargos que dependen de signo y la magnitud de la composición de la fase líquida ambiente, así como las cargas netas atrae a los contaminantes iónicos a las superficies del material adsorbente. Sin embargo, los contaminantes no iónicos también pueden ser adsorbidos por los granos del suelo; esto ocurre principalmente a través de fuerzas electrostáticas.

La advección se refiere al transporte del soluto a una velocidad equivalente a la del movimiento del agua subterránea, dicho transporte ocurre por el movimiento bruto del agua que fluye.

El transporte de un contaminante en términos prácticos se estima por la velocidad promedio del agua subterránea, sin embargo a nivel microscópico la velocidad real del agua es variable de un punto a otro debido a diversas condiciones, como pueden ser:

- a) Fricción en las partículas del suelo. El agua que fluye cerca de las partículas del suelo presenta velocidades menores a causa de la fricción.
- b) El tamaño de porosidad del suelo.
- c) Distribución de partículas. La velocidad del flujo es mayor a medida que la trayectoria de flujo es menor.

En condiciones de flujo la transferencia del contaminante por el mecanismo de Adveccion está dada por la siguiente:

$$V = \frac{K \partial h}{n_e \partial z} \dots\dots\dots Ecuación 1$$

Donde:

V = Velocidad lineal del agua subterránea

n_e = Porosidad efectiva

$$i = \frac{\partial h}{\partial z} = \text{Gradiente Hidraulico}$$

K = Conduktividad hidraulica

La advección puede tener una dispersión causando la dilución del soluto, la ecuación 1 que se mencionó con anterioridad se considera en términos de Advección y dispersión, esta ecuación se utiliza para modelar la mancha o pluma contaminante que se forma en la zona saturada cuando la contaminación está presente en dicha zona. La pluma contaminante siempre va en dirección del agua subterránea y la migración es de forma vertical como lo podemos observar en la figura 14 (Iturbe, 2014).

Formación de una pluma contaminante

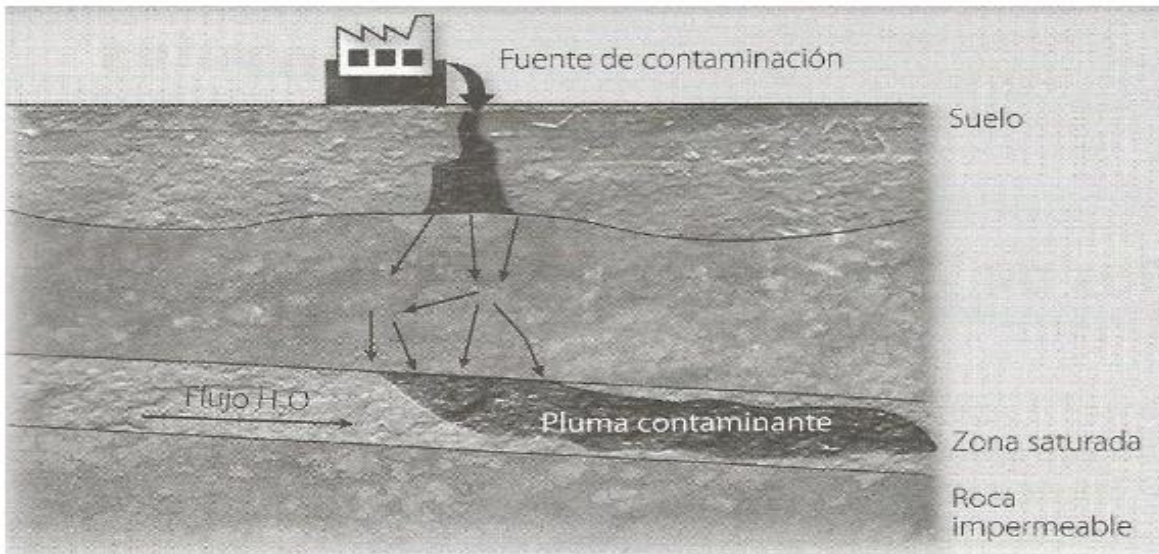


Figura 14. Fuente: "Suelos y Acuíferos contaminados" Evaluación y limpieza, Rosario Iturbe Arguelles (2014)

Los contaminantes pueden ser transportados en el suelo por la Dispersión, que se define como el efecto neto de una variedad de microscópico, macroscópico, en la figura 15, se puede ver el tipo de transferencia que se lleva a cabo con los contaminantes, puede ser de manera horizontal o vertical la interacción dependerá de las condiciones del suelo, se muestra de manera esquemática los diferentes mecanismos implicados en la propagación procesos de contaminantes a través de la dispersión (Mirsal, 2004).

Dispersión Horizontal y Vertical

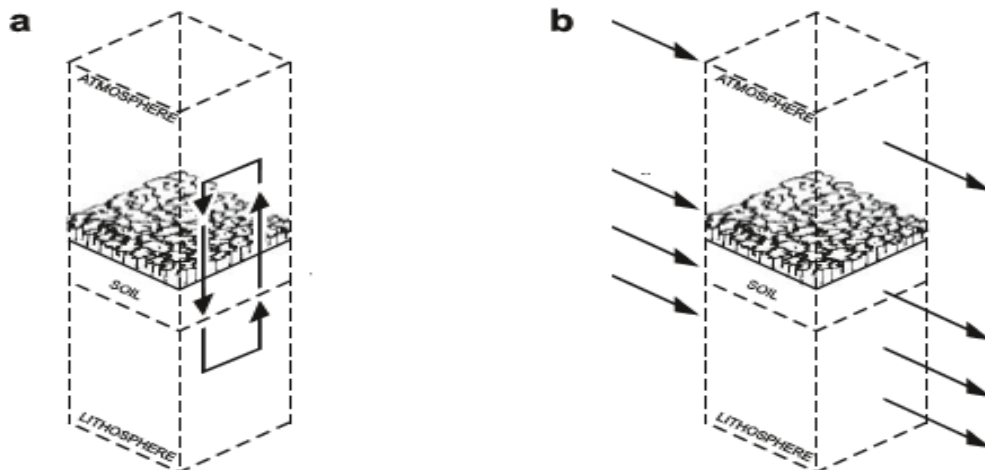
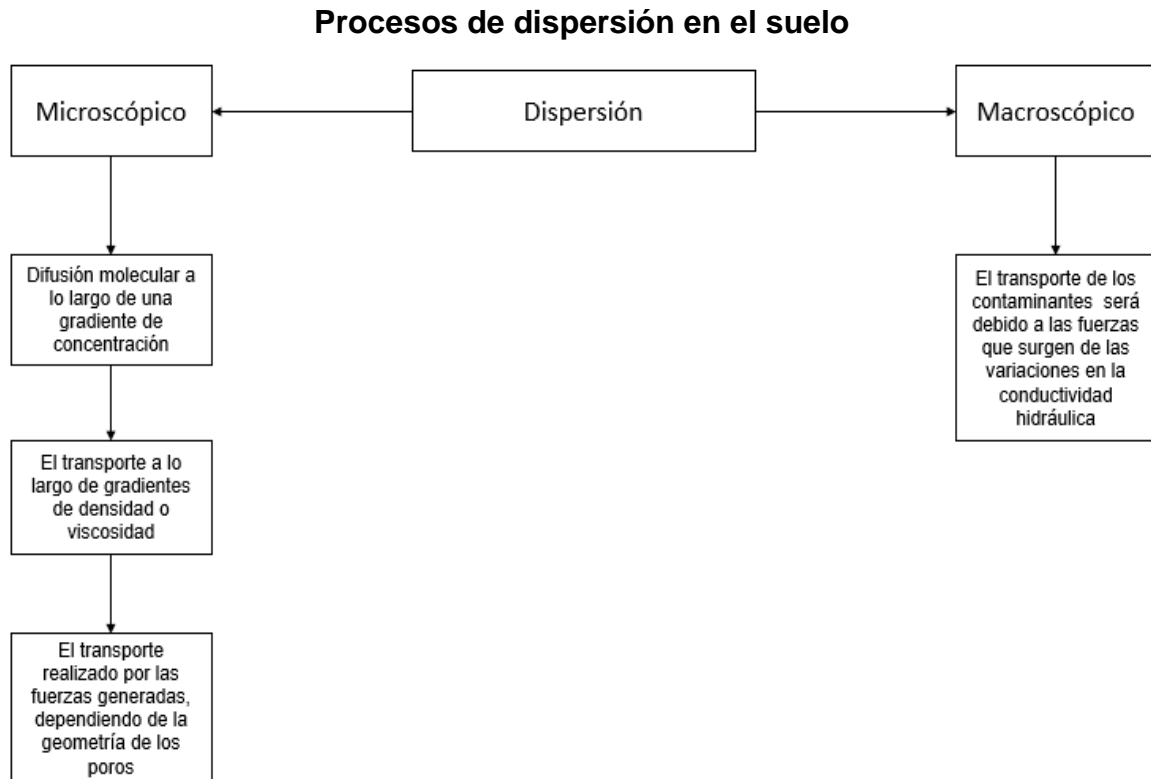


Figura 15. Fuente: "Soil Pollution Origin, Monitoring & Remediation" por Ibrahim A. Mirsal, 1st Edition 2004

En el Esquema 2 muestra el mecanismo de contaminación por dispersión sobre el suelo.



Fuente: "Soil Pollution Origin, Monitoring & Remediation" por Ibrahim A. Mirsal, 1st Edition 2004

Existen pruebas por dispersión en laboratorio para ello se utilizan columnas empacadas con suelo saturado, la columna tiene ambos extremos libres, de manera que el gasto del agua que ingresa es el mismo que sale por la parte inferior de la columna, una vez que se tiene condiciones de flujo permanente, se inyecta en la entrada de la columna un trazador (Un trazador puede ser un contaminante de todo tipo que puedan entrar en un sistema de flujo, algunos iones naturales que son considerados trazadores se encuentra el ion Br^- o Cl^-) no reactivo a una concentración conocida.

Se debe recolectar la solución que saldrá por la parte inferior de la columna para analizar la muestra, conocer la concentración y compararla con la inicial (C/C_0), así mismo se debe llevar la contabilidad del volumen acumulado, la prueba termina cuando la concentración de salida es igual a la de entrada, $C = C_0$ y en ese momento se deja de agregar el trazador. (Iturbe, 2014).

Columna experimental para dispersión

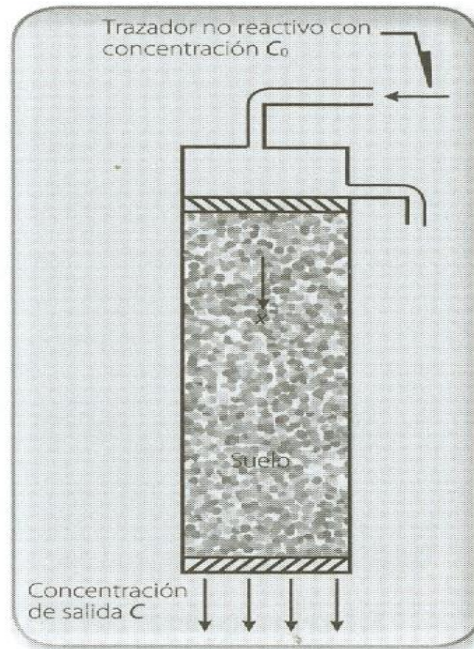


Figura16. Fuentes: "Suelos y Acuíferos contaminados" Evaluación y limpieza, Rosario Iturbe Arguelles (2014)

Capítulo 3

**“Técnicas físico-químicas
Más comunes para
remediar un sitio
contaminado”**



3. Técnicas físico-químicas más comunes para Remediar un Sitio contaminado

En los últimos años muchas investigaciones han ido encaminadas a tratar de recuperar los suelos contaminados y no destruirlos como en algún momento se pretendió, en la actualidad se dispone de un amplia gama de tecnologías de recuperación de suelos contaminados, diseñadas para aislar o destruir las sustancias contaminantes alterando su estructura química mediante procesos generalmente físicos, químicos, térmicos o biológicos (Volke, 2005).

Existen 3 estrategias básicas que se pueden usar, separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de los sitios contaminados:

- I. Aislamiento o inmovilización del contaminante: Se estabilizan o se solidifican mediante agente físicos o químicos con el fin de evitar la movilidad de estos.
- II. Destrucción o modificación de los contaminantes: Se busca alterar la estructura química del contaminante para transformar la molécula en otras más simples e inocuos o menos toxicas para la salud y el ambiente.
- III. Extracción o separación: Los contaminantes se extraen o se separan del medio contaminado, aprovechando sus propiedades Físicas o Químicas (Iturbe, 2014).

Su aplicación depende de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia esperada con cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo.

Un sitio contaminado es un Lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido contaminado con materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, a los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas.

Antes de considerar la aplicación de cualquier tecnología de remediación, es fundamental conocer ciertas características, tanto del suelo (ambientales), como

del contaminante y de los organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) presentes en el sitio, de esta manera, los procesos de remediación dependen de estos tres factores que deben encontrarse en equilibrio como se muestra en la figura 17 (Volke, 2005).

Factores interrelacionados entre sí que inciden en la remediación de un suelo

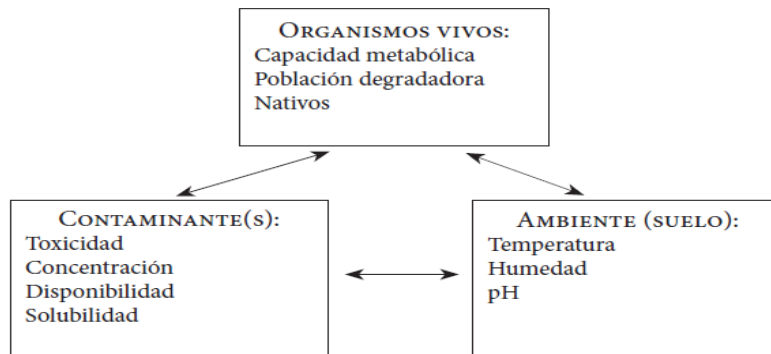


Figura 17. Fuente: "Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación" SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología, Tania Volke Sepúlveda (2005).

La clasificación de las técnicas de remediación se basa en el tipo de tratamiento que se desea aplicar, existen 3 tipos de tratamientos estos pueden ser Biológicos, Físicos y químicos y Térmicos (Iturbe, 2014).

- **Tratamientos Biológicos (Biorremediación):** Se realizan actividades metabólicas de microorganismos presentes en el suelo para degradar, transformar o remover los contaminantes a productos inocuos.
- **Tratamientos Físicos y químicos:** Se emplean propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.
- **Tratamientos Térmicos:** Usan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes en el suelo.

Las principales técnicas de tratamiento para la recuperación de suelos se observan en la figura 18

Tipo de Tratamiento		Tratamiento	Aplicación
Descontaminación	Físico-Químico	Extracción	In situ
		Lavado	Ex situ
		Flushing	In situ
		Electrocinética	In situ
		Adición de enmiendas	In situ
		Barreras permeables activas	In situ
		Inyección de aire comprimido	In situ
		Pozos de recirculación	In situ
		Oxidación ultravioleta	Ex situ
		Biológico	Biodegradación asistida
Biotransformación de metales	In situ		
Fitorrecuperación	In situ		
Bioventing	In situ		
Landfarming	Ex situ		
Biopilas	Ex situ		
Compostaje	Ex situ		
Térmico	Incineración	Ex situ	
	Desorción térmica	Ex situ	

Figura 18. Principales técnicas de recuperación de suelos. Fuente: "Técnicas de recuperación de suelos contaminados" Irene Ortiz Bernad, Universidad de Alcalá (CITME) (2007).

Para la el saneamiento de sitios contaminados existen 3 formas en México según la SEMARNAT para su aplicación:

- 1) En el Sitio Contaminado: Cuando el tratamiento se realiza en el sitio en donde se encuentran los suelos contaminados sin remoción, excavación y transferencia del suelo para ser tratado en un sitio diferente al original.
- 2) Aun lado del sitio: Cuando el tratamiento se realiza sobre un área adyacente al sitio contaminado o sobre un área dentro del sitio contaminado, previa remoción del suelo y materiales semejantes a suelos.
- 3) Fuera del sitio contaminado: Cuando se remueve el suelo y los materiales semejantes a suelos contaminados a un lugar fuera de aquél donde se ubican, para someterlos a tratamiento en instalaciones fijas autorizadas.

3.1 Técnica lavado de suelos

El lavado de Suelos es una Técnica que puede ser aplicada fuera del sitio contaminado y a un lado del sitio contaminado, consiste en la excavación del suelo contaminado, pasa a ser lavado con extractantes químicos que permitan disolver, solubilizar y precipitar los contaminantes, este proceso debe ser llevado a cabo en una unidad de lavado con el fin de lograr su transferencia a la fase acuosa (Ortiz, 2007).

El proceso consiste de tres etapas mezclado, lavado y enjuagado, este proceso puede llevarse a cabo en lote o continuo, al finalizar el lavado del suelo, la fase líquida se envía a una planta de tratamiento de aguas, mientras que la fase sólida se enjuaga nuevamente con agua limpia para eliminar los contaminantes y agentes residuales que pudieran seguir presentes, después el suelo debe ser devuelto a su lugar de origen.

El uso de agua como solución de extracción es efectivo para la remoción de compuestos orgánicos solubles de bajo peso molecular (alcoholes y fenoles), sales inorgánicas (sulfatos y cloruros) y metales solubles (Cr (VI)). Para aumentar la eficiencia de lavado en un suelo con metales, pueden emplearse soluciones con características como Agentes quelantes (una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados, la aplicación de los quelantes es evitar la toxicidad de los metales pesados para los seres vivos.), uno de los más usados es el ácido etilendiamino tetracético (EDTA) otros ácidos usados como agentes quelantes son los ácidos cítrico o ácido acético, además de otras sustancias extractantes utilizadas para el lavado de suelos están los ácidos, bases, surfactantes (Los surfactantes son agentes químicos activos, los surfactantes se disuelven en agua se concentran en interfaces, como agua-aire o agua-aceite, y ahí ejercen diversas funciones, humedecen, emulsifican, dispersan y solubilizan) (Volke, 2005).

La eficacia de esta técnica depende del grado de adsorción del contaminante, controlado por una serie de propiedades del suelo como el pH, la textura, la capacidad de intercambio catiónico, la mineralogía o el contenido en materia orgánica y otros factores, la figura19 muestra el proceso de Lavado de Suelos.

Proceso de lavado de suelos

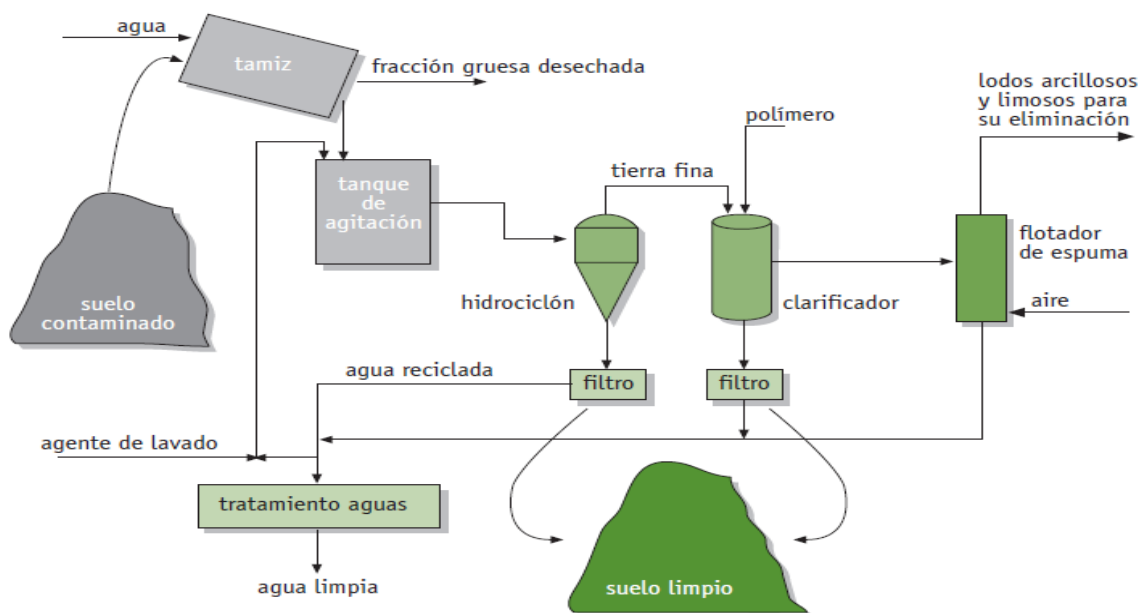


Figura 19. Fuente: “Técnicas de recuperación de suelos contaminados” Irene Ortiz Bernad, Universidad de Alcalá (CITME) (2007).

Cuadro 3 ventajas y limitaciones en la Técnica de lavado

Ventajas	Limitaciones
*Bajos costos	* Se requiere excavar y manipular el suelo
*Efectivo para tratar suelos arenosos o muy permeables	*No es eficiente para tratar mezclas complejas
*Son sistemas cerrados, en donde se pueden controlar las condiciones del sistema y las emisiones al ambiente	*Altas cantidades de materia orgánica dificultan el proceso de separación
* No requiere de infraestructura sofisticada	*Requiere de grandes cantidades de agua
*Disminuye la cantidad de material contaminado	*Se necesitan procesos secundarios para tratar aguas residuales y partículas finas de suelo

Cuadro 3 Fuentes: “Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación” SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología, Tania Volke Sepúlveda (2005).

Para una efectiva aplicación de la técnica deben cumplirse con los requisitos siguientes de acuerdo a la SEMARNAT (Criterios Técnicos en Materia de Tecnologías/Técnicas de tratamiento para la remediación de suelos contaminados y materiales semejantes a suelos contaminados):

Se construyen una o más celdas de tratamiento de la siguiente manera:

- ✓ Con dimensiones de acuerdo con el volumen de suelo o material contaminado a tratar.
- ✓ Con una pendiente suficiente para captar los lixiviados generados durante el proceso.
- ✓ La base y los bordos de la celda se construyen con una capa de arcilla o material compactable de 0.20 m. de espesor, compactada por lo menos al 80% de la prueba Proctor o de la prueba de compactación AASHTO estándar, la cual deberá demostrarse con las pruebas de laboratorio correspondientes.
- ✓ Sobre la base y bordos de material compactado, se coloca una geomembrana de polietileno de alta densidad con espesor de, al menos, 40 milésimas de pulgada (1 mm de espesor) soldada, en su caso, por termofusión, con el traslape recomendado por el fabricante para garantizar un sellado que no permita fugas.
- ✓ Se construye un cárcamo para la captación de lixiviados con, al menos, la capacidad suficiente para captar los escurrimientos que se generen durante el proceso de tratamiento.
- ✓ El bordo perimetral de la celda no deberá exceder una altura de 1.5 m.
- ✓ En caso de que las actividades de tratamiento requieran del uso, dentro de la celda, de maquinaria (retroexcavadoras, bulldozer, tractores, etc.), se colocará sobre la geomembrana una capa de arcilla o material compactable de 0.20 m. de espesor compactada por lo menos al 80% de la prueba Proctor o de la prueba de compactación AASHTO estándar (consiste en un proceso repetitivo, cuyo objetivo es conseguir una densidad específica para una relación óptima de agua, al fin de garantizar las características mecánicas necesarias del suelo), la cual deberá demostrarse con las pruebas de laboratorio correspondientes.

Para el tratamiento.

- ✓ Se extrae el suelo o material contaminado y se deposita en la celda de tratamiento.

- ✓ Sobre el suelo o material en tratamiento, se aplica una solución de agua-Quantum Clean Surfox hasta saturar y exceder su capacidad de campo y se continúa el mezclado y homogeneización de los mismos.
- ✓ Se deja en reposo a fin de permitir la separación de las fases.
- ✓ Se extraerá la fase líquida para ser enviada a tratamiento.
- ✓ A la fase sólida que permanece en la celda, se le aplicará una solución acuosa de nutrientes comerciales PolyPetroSolve, previamente activados y de los nutrientes Triple 17 (N, P, K), Urea o Sulfato de Amonio y se procede a homogenizar.
- ✓ La cantidad, concentración y frecuencia de aplicación de los insumos dependerá de las características de los suelos o materiales a tratar, del hidrocarburo a remover y la concentración de éstos.
- ✓ Esta actividad puede llevarse a cabo de manera continua durante el proceso de tratamiento hasta alcanzar los niveles de limpieza requeridos.
- ✓ Se realizará el monitoreo de las concentraciones de hidrocarburos presentes en la mezcla, empleando para ello equipo de campo (analizador de hidrocarburos tipo Petroflag o equivalente), con base en los resultados obtenidos se evalúa si se requiere o no, un nuevo ciclo (o varios) de aplicación de los insumos enunciados.
- ✓ Sí los valores de hidrocarburos analizados se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles de acuerdo a la norma (NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación) se considera concluido el tratamiento y se procede al muestreo final.
- ✓ La toma de muestras y las determinaciones analíticas de los parámetros se realizará de acuerdo a lo establecido en la normatividad aplicable y conforme a la propuesta de remediación que al efecto se apruebe.
- ✓ La geomembrana se podrá reutilizar, sin contaminantes, para otros tratamientos o enviarla a disposición final.

3.2 Técnica oxidación química

La oxidación química típicamente implica reacciones de reducción/oxidación (redox) que convierten químicamente contaminantes peligrosos en compuestos no peligrosos o menos tóxicos que son más estables, menos móviles o inertes.

Las reacciones de redox implican la transferencia de electrones de un producto químico a otro, hay varios oxidantes capaces de degradar contaminantes, los oxidantes utilizados para esta técnica comúnmente incluyen permanganato de potasio o sodio, peróxido de hidrógeno, ozono y persulfato de sodio, cada oxidante tiene ventajas y limitaciones, y aunque es aplicable a la contaminación del suelo, se han aplicado principalmente a la recuperación de aguas subterráneas (EPA (Environmental Protection Agency), 2006).

La Técnica Oxidación química es aplicable a un lado del sitio contaminado (OXIQ-LS) y fuera del sitio contaminado (OXIQ-FS).

Los agentes oxidantes pueden causar la descomposición de los contaminantes orgánicos en cuestión de minutos y con una eficacia > 90%. El resultado final de este proceso es mineralizar a los contaminantes orgánicos a CO₂ y agua.

Proceso de mineralizar los contaminantes orgánicos a CO₂ y Agua

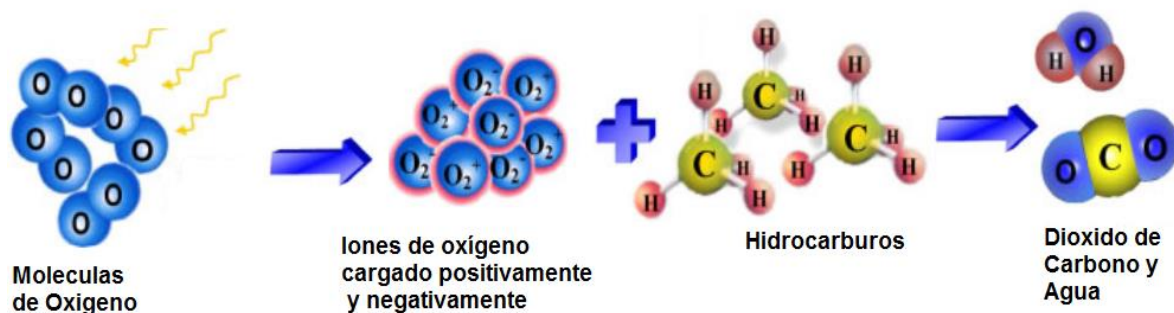


Figura 20. Fuentes: Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología, Tania Volke Sepúlveda (2005).

Los reactivos oxidantes para esta técnica de remediación son diversos:

H₂O₂. Para la oxidación la utilización de agua oxigenada (H₂O₂) junto a hierro ferroso constituye el reactivo de Fenton que actúa como un poderoso oxidante que degrada rápidamente a los contaminantes orgánicos.

El reactivo de Fenton es muy efectivo en condiciones muy ácidas (pH de 2 a 4) y se vuelve inactivo bajo condiciones de alcalinidad moderadas a fuertes. El agua oxigenada en presencia de hierro ferroso (Fe^{2+}) reacciona dando radicales hidróxidos ($\text{OH}\cdot$), hierro férrico (Fe^{3+}) e iones hidroxilos (OH^-). Estos iones hidroxilos son fuertemente oxidantes y pueden romper los enlaces hidrocarbonados de los constituyentes del petróleo, como el benceno, tolueno etilbenceno y xileno (BTEX) y también ataca a los hidrocarburos aromáticos (PAHs).

O₃. Ozono. Actúa muy rápidamente y su acción es más rápida en suelos ácidos.

Permanganato. Normalmente se usa permanganato de K, pero también puede ser de Na, Ca o Mg, las reacciones de oxidación del KMnO_4 son mucho menos energéticas y más lentas que las de los dos reactivos anteriores, aunque su rango de actuación es mucho más amplio (pH de 3,5 a 12), también tiene la ventaja de no produce calor ni vapores y al estar más tiempo en el suelo permite una mayor infiltración y un mayor tiempo de contacto con los contaminantes (Fernández, 2006).

En México se tiene la autorización para la aplicación de la técnica oxidación química *In Situ* o ISCO por sus siglas en inglés, la EPA (Environmental Protection Agency) describe que cuando se agregan los oxidantes al suelo contaminado, resulta una reacción química que destruye los contaminantes y produce subproductos. Para el tratamiento *in situ* de tierras y aguas subterráneas, los oxidantes normalmente se inyectan al subsuelo por bombeo a través de pozos. Los pozos se instalan a diferentes profundidades en la zona de origen para llegar a la mayor cantidad posible de contaminación tanto disuelta como no disuelta. Una vez que se bombea el oxidante a los pozos, se difunde en la tierra y las aguas subterráneas circundantes, donde se mezcla y reacciona con los contaminantes. Para mejorar la mezcla, se puede recircular las aguas subterráneas y los oxidantes entre los pozos. Esto consiste en bombear oxidantes por un pozo y luego extraer por bombeo las aguas subterráneas mezcladas con los oxidantes por otro pozo. Después de extraer la mezcla por bombeo, se añade más oxidante, y se inyecta de nuevo por el primer pozo. La recirculación ayuda a tratar una zona

más grande con más rapidez. Otra opción es inyectar y mezclar oxidantes mediante barrenas mecánicas o equipos de excavación. Esto puede ser particularmente útil para un suelo arcilloso (EPA 542-F-12-011S septiembre 2012).

Oxidación Química *In Situ*

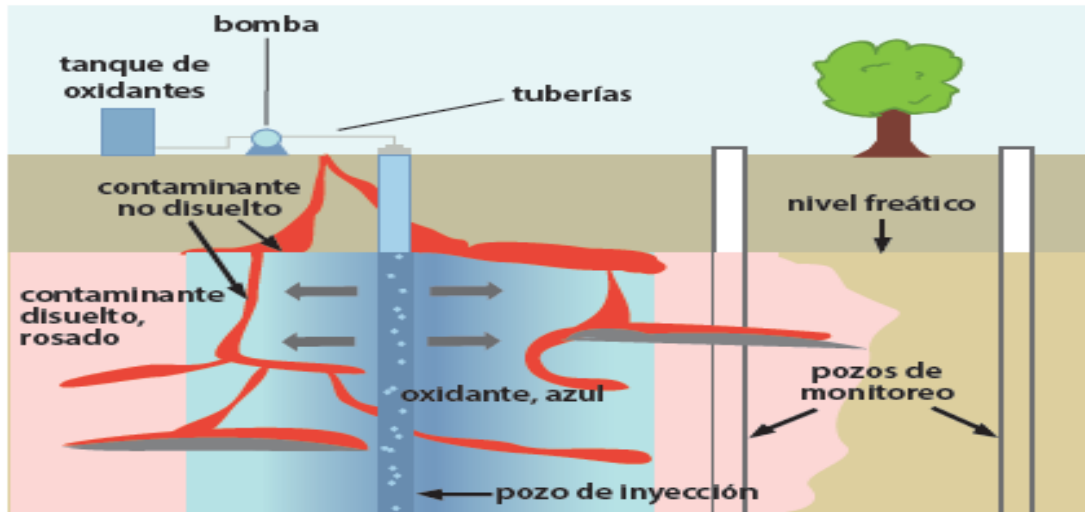


Figura 21. Fuentes: Guía del ciudadano sobre la oxidación química *in situ*, United States Office of Solid Waste and Emergency Response, EPA 542-F-12-011S Septiembre de 2012 Environmental Protection Agency.

La oxidación química a un lado del sitio contaminado debe de tener el siguiente tratamiento para los suelos contaminados con hidrocarburos.

Se construyen una o más celdas de tratamiento de la siguiente manera:

1. Con dimensiones de acuerdo con el volumen de suelo o material contaminado a tratar.
2. Con una pendiente suficiente para captar los lixiviados generados durante el proceso.
3. La base y los bordos de la celda se construyen con una capa de arcilla o material compactable de 0.20 m. de espesor, compactada por lo menos al 80% de la prueba Proctor o de la prueba de compactación AASHTO estándar, la cual deberá demostrarse con las pruebas de laboratorio correspondientes.
4. Sobre la base y bordos de material compactado, se coloca una geo membrana de polietileno de alta densidad con espesor de, al menos, 40 milésimas de pulgada (1 mm de espesor) soldada, en su caso, por termo

fusión, con el traslape recomendado por el fabricante para garantizar un sellado que no permita fugas.

5. Se construye un cárcamo para la captación de lixiviados con, al menos, la capacidad suficiente para captar los escurrimientos que se generen durante el proceso de tratamiento.
6. El bordo perimetral de la celda no deberá exceder una altura de 1.5 m.
7. En caso de que las actividades de tratamiento requieran del uso, dentro de la celda, de maquinaria (retroexcavadoras, bulldozer, tractores, etc.), se colocará sobre la geo membrana una capa de arcilla o material compactable de 0.20 m. de espesor compactada por lo menos al 80% de la prueba Proctor o de la prueba de compactación AASHTO estándar, la cual deberá demostrarse con las pruebas de laboratorio correspondientes.

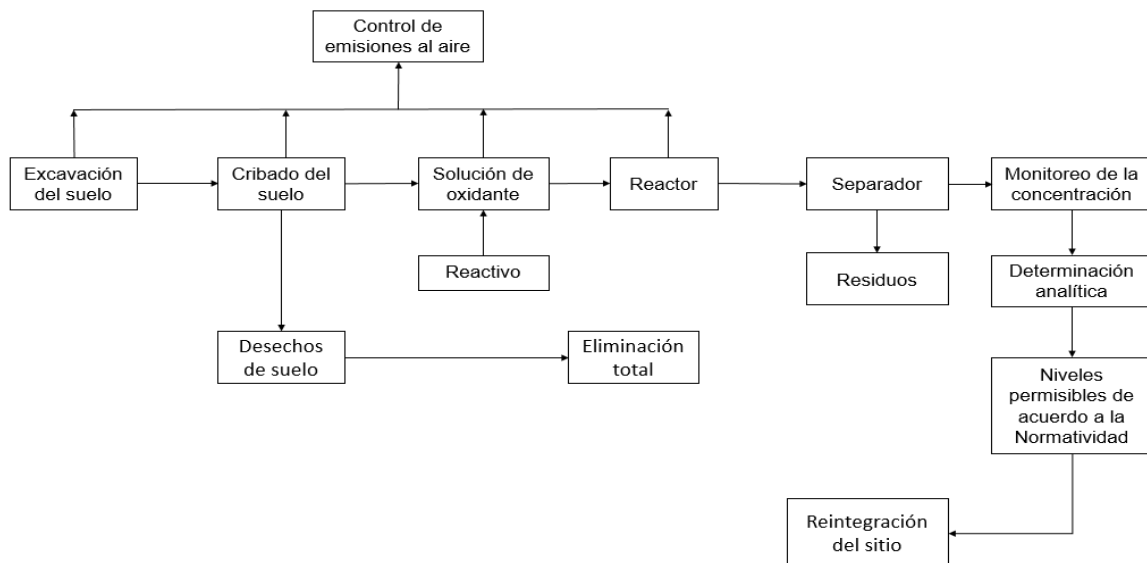
Para el tratamiento:

- a) Se transfiere el suelo o material semejante a suelo contaminado a la celda de tratamiento, se distribuye uniformemente sobre la celda.
- b) Sobre el suelo o material en tratamiento se aplica una disolución agua-Peróxido de Hidrógeno, Permanganato de Potasio o Quantum Clean Surfox (marca registrada), mezclando simultáneamente para favorecer la reacción de oxidación.
- c) En caso de requerirse, se podrá agregar una solución de sulfato de hierro como catalizador de la reacción de oxidación.
- d) La aplicación de la solución de oxidante se realizará de manera continua durante todo el proceso de tratamiento hasta alcanzar los niveles de limpieza requeridos.
- e) La cantidad y concentración de la solución oxidante dependerá de las características del suelo o material en tratamiento, el tipo de hidrocarburo a remover y la concentración de éstos.
- f) Los lixiviados generados serán recolectados y reincorporados al proceso de tratamiento.

- g) Se realizará el monitoreo de las concentraciones de hidrocarburos presentes en la mezcla, empleando para ello equipo de campo (Petroflag (es un sistema de análisis de hidrocarburos que abarca un amplio espectro de tipos de hidrocarburos hasta una concentración máxima de 10.000 ppm.) o equivalente), con base en los resultados obtenidos se evalúa si se requiere o no, un nuevo ciclo (o varios) de aplicación de los insumos enunciados.
- h) La toma de muestras y las determinaciones analíticas de los parámetros se realizarán de acuerdo a lo establecido en la normatividad aplicable y conforme a la propuesta de remediación que al efecto se apruebe.
- i) Una vez alcanzados los niveles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012) aplicables, o los establecidos en la propuesta del programa de remediación autorizada, deberá acondicionar el suelo con materia orgánica y nutrientes agrícolas (Triple 17) a fin de favorecer su reintegración al sitio del cual fue extraído.

El esquema 3 explica cómo se realiza la oxidación química de fuera del sitio contaminado.

Oxidación química de fuera del sitio contaminado.



Esquema 3. Fuente: Carlos Dorrnsoro Fernández, Dpto. Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

La oxidación química tiene normalmente aplicación en el agua contaminada, el proceso de oxidación química para el agua se muestra en la figura 22, el agua es introducida por una zona del tanque y el agua tratada sale por la parte opuesta, el agente oxidante es inyectado al interior del agua contaminada, buscando una mezcla completa entre el agua y el oxidante, debe aplicarse esta mezcla una agitación mecánica para que el agente oxidante en un periodo mínimo de tiempo este en contacto y reducir la contaminación, después deberá realizarse muestreos para saber la concentración del agua contaminada. Como en los suelos el principal oxidante es el Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y para esta técnica generalmente se utiliza la luz UV.

Dispositivos del equipo para un sistema UV/ H_2O_2

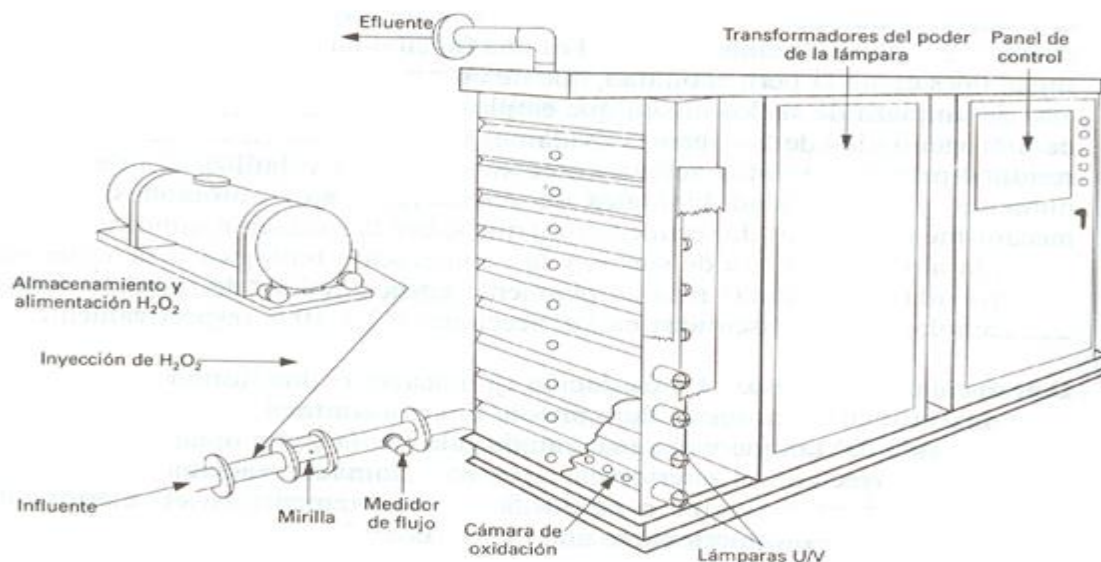


Figura 22. Fuentes: "Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos". . Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans. Editorial McGraw Hill., Madrid, España 1996. pp. 1316

3.3 Estabilización-Solidificación

Una de las técnicas que se ha utilizado ampliamente en la gestión de remediación de suelos contaminados es la técnica de “Estabilización- Solidificación”, la estabilización es un proceso donde se mezclan los aditivos con los residuos para minimizar la velocidad de migración y reducir la toxicidad de este.

Con la solidificación se busca es originar una masa solidificada mediante la adición de reactivos que aumentaran la resistencia, disminuirán la compresibilidad y disminuir la permeabilidad del residuo presente en el sitio contaminado.

La estabilización está especialmente indicada para aquellos sitios donde el peligro atañe a grandes cantidades de suelo con bajo nivel de contaminación.

El potencial de pérdida de contaminantes de una masa estabilizada generalmente se determina mediante ensayos de lixiviación (lixiviación: Es el proceso por el cual los contaminantes se transfieren de una matriz estabilizada a un medio líquido como el agua) (Buckingham, 1996).

Entre los sitios más contaminados en México son los pozos, lagos y lagunas ya que contienen una gran variedad de residuos industriales orgánicos e inorgánicos, la solidificación mejora las propiedades mecánicas y puede reducir la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente.

Las metodologías de S/E (Solidificación-Estabilización) surgieron como respuesta a la necesidad de tratar residuos radioactivos y, con el tiempo, se han utilizado para estabilizar y/o solidificar contaminantes inorgánicos principalmente metales, el proceso de solidificación debe de ser irreversible para evitar que los contaminantes escapen de la matriz solidificada. (Volke, 2005)

Para lograr una estabilización se utilizan una o más de las siguientes técnicas:

- ✓ Macro encapsulación
- ✓ Micro encapsulación
- ✓ Adsorción
- ✓ Absorción

La macro encapsulación es el mecanismo por el cual los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados físicamente en una matriz estructural de mayor tamaño, reteniéndose en poros del material estabilizante, durante el paso del tiempo debido a las tensiones medioambientales (tensión física de carga), los contaminantes estabilizados únicamente por macro encapsulación pueden aparecer en el medio ambiente si no se conserva la integridad de la masa. Se observar (figura 23) un residuo aceitoso estabilizado, en parte como resultado de macroencapsulación, los residuos aceitosos se quedan encapsulados en el interior de la matriz grisácea de cenizas volantes, cal y cemento aglomerante.

Residuo orgánico encapsulado en matriz

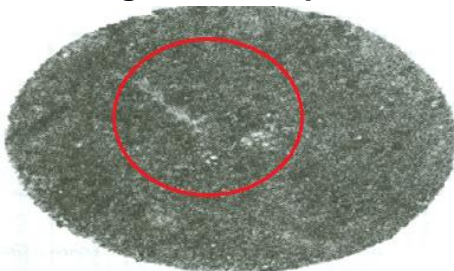


Figura 23. Fuentes: "Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos". . Michael D. LaGrega, Madrid, España 1996. pp. 1316

En la micro encapsulación, los contaminantes quedan atrapados en el interior de la estructura cristalina de la matriz solidificada a nivel microscópico, sin embargo como sucede con la macroencapsulación el contaminantes debe permanecer atrapado de no ser así la liberación del contaminante de la masa estabilizada puede aumentar el riesgo de estar expuesta en la superficie.

La interpretación de la microencapsulación debe mencionarse que los poros son pequeños y el contaminante debe permanecer en la matriz estabilizadora, esta técnica puede realizarse en un laboratorio, buscando mayor energía por unidad de masa para la compactación, esto conduce a un mayor grado de micro encapsulación en el laboratorio que en el área de campo.

La absorción es el proceso por el cual los contaminantes son tomados por el sorbente de manera similar como una esponja toma al agua, para la estabilización la absorción precisa de un material solido que empaque o absorba los líquidos

libres de manera que se mejoren sus características y solidificar el contaminante, los absorbentes más comunes son, cenizas volantes, polvos de horno de cal, serrín y polvo de hornos de cemento (Buckingham, 1996).

La adsorción es un fenómeno por el cual los contaminantes quedan ligados de manera electroquímica a los agentes de estabilización de la matriz, estos fenómenos de unión puede ser por fuerzas de Van der Waals, los contaminantes adsorbidos en la matriz tiene una menor probabilidad de quedar libres en el medio ambiente (Buckingham, 1996).

Para la inmovilización de los contaminantes se ha usado una amplia gama de cementantes, podemos mencionar algunos como:

- I. Cemento: El cemento más común es el cemento Portland que se obtiene por la cocción en horno a alta temperatura de una mezcla de caliza y arcilla, el horno produce una escoria llamada clínquer, es molido con polvo que es una mezcla de óxidos de calcio, silicato, aluminio y hierro, para la técnica de estabilización el cemento se mezcla con el contaminante, si el contaminante no contiene agua suficiente, si es necesario se añade agua para su hidratación, la hidratación origina una estructura cristalina de aluminio-silicato cálcico, dando como resultado una masa dura con aspecto rocoso. Cabe mencionar que los contaminantes orgánicos interfieren en la hidratación y son difíciles de estabilizar, la Técnica de estabilización es aplicada y se adapta mejor a contaminantes inorgánicos, especialmente los metales pesados.
- II. Puzolanas: Son un material que reacciona con la cal en presencia de agua para producir un material de cementación, entre los materiales pulzolánicos se encuentra las cenizas volantes, escorias de incineración y polvo de hornos de cemento, la reacción que se lleva a cabo entre el material aluminio-silíceo, cal y agua se obtiene la formación de un producto del tipo del hormigón denominado "Hormigos Pulzolánico". Al igual que la estabilización con cemento, la mayoría de las aplicaciones de la estabilización con puzolanas es para material inorgánico.

- III. Cal: Producto que se obtiene calcinando la piedra Caliza por debajo de la temperatura de descomposición del Óxido de calcio, en ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga someténdola al tratamiento de Agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio). La cal es uno de los materiales conglomerantes más utilizado a lo largo de la historia tanto en el campo de la Construcción como en el de la creación artística (sobre todo por su empleo en la pintura mural).

3.4 Electrocinética/Electro remediación

El fenómeno del electro remediación comenzó hacer aplicado en suelos iniciando la década de 1930, pero su investigación en suelos poco permeables es más reciente, como se mencionó la técnica empezó a ser aplicada en la segunda mitad del siglo XX y se remarcó en el último cuarto de siglo, estas investigaciones fueron aplicadas con la finalidad de descontaminar suelos en los Estados Unidos de América y Países Bajos, hoy en día su expansión ha sido a nivel mundial.

La técnica de Electro remediación fue empleada en suelos industriales de Europa y Estados Unidos de América saneando cerca de 2 millones de toneladas de suelo; los contaminantes removidos fueron Hidrocarburos aromáticos, pesticidas y compuestos clorados.

Estos son algunos de los avances que se aplicaron en el siglo pasado y es una técnica considerada como innovadora para la remediación de suelos contaminados, los principales contaminantes a remover son compuestos inorgánicos (Metales pesados) y compuestos orgánicos (Hidrocarburos) (Iturbe, 2014).

El principio del electro remediación se basa en la aplicación de una corriente directa de baja intensidad a través del suelo contaminado, con el uso de electrodos divididos en extremos anódicos y catódicos (figura 25). El campo eléctrico moviliza las especies cargadas hacia los electrodos, de manera que los iones metálicos, el amonio y los compuestos orgánicos cargados positivamente se moverán hacia el cátodo, mientras que los aniones (cloro, cianuro, fluoruro,

nitratos y compuestos orgánicos cargados negativamente) se moverán hacia el ánodo.

La corriente eléctrica genera la formación de un frente ácido en el ánodo y uno básico en el cátodo a partir de la disociación de algunas moléculas de agua; esta generación de condiciones ácidas puede ayudar a la desorción, disolución y transporte de algunos contaminantes metálicos hacia sistemas de recolección ubicados en el cátodo, en la figura 24 se hace una breve explicación de la Electroremediación en un suelo contaminado, durante el proceso los iones con carga positiva (cationes) migran hacia el cátodo y los de carga negativa (aniones), hacia el ánodo (Volke, 2005).

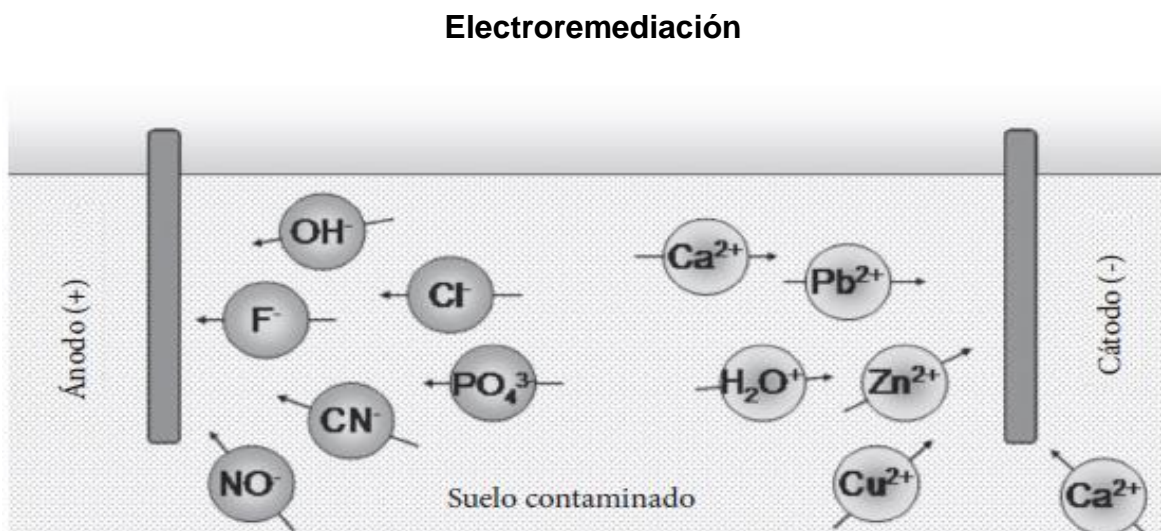


Figura 24. Fuentes: "Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación" SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología, autores Tania Volke Sepúlveda, Juan A. Velasco Trejo y David A. de la Rosa Pérez (2005).

La electroremediación es una tecnología para restaurar suelos contaminados que se basa en la generación de un campo eléctrico a partir de imponer corriente directa. Para la aplicación de una diferencia de potencial, o una corriente directa, se requiere el empleo de electrodos (ánodo y cátodo), los cuales son colocados en pozos excavados en el suelo, usualmente estos se humectan con un electrolito para mejorar las condiciones de conducción del campo eléctrico. La acción del electrolito permite transportar el contaminante hacia los pozos en donde será extraído. Al contrario del arrastre de fluidos, esta técnica permite establecer una

migración dirigida, la cual evita la dispersión del contaminante fuera de la zona de tratamiento.

Existen factores que influyen en el proceso de electroremediación es una técnica que aparenta ser sencilla, sin embargo existen varios factores fisicoquímicos que influyen en el transporte de los contaminantes son:

PH: Los cambios de pH promueven reacciones de los metales con otras sustancias que se encuentran en el suelo de forma natural, este factor regula la movilidad de los contaminantes en el proceso de electroremediación, la hidrólisis del agua produce una disociación que genera iones hidrógeno (H^+) en el ánodo e iones hidroxilo ($-OH$) en el cátodo, liberando oxígeno e hidrógeno respectivamente. La disociación genera un pH ácido cerca del ánodo y alcalino cerca del cátodo. Debido a la mayor movilidad del ión H^+ sobre el ión $-OH$, el frente ácido viaja con mayor velocidad y por lo tanto el flujo electroosmótico se dirige preferencialmente hacia el cátodo.

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica es diferente para cada tipo de suelo, está definida como la capacidad de un medio o espacio físico de permitir el paso de la corriente eléctrica. Para conocer la conductividad eléctrica de un suelo, es necesario ponerlo en suspensión acuosa y medirla con un conductímetro. En la electroremediación, los cambios de pH del suelo modifican la conductividad global del medio por lo que se forman perfiles de voltaje. En algunos experimentos con suelos industriales contaminados, la conductividad del suelo se incrementa con el tiempo, debido a la penetración de los frentes ácido y alcalino, así como en la solubilización de las especies iónicas ya sea como resultado de los cambios de pH o por un aumento de temperatura

Potencial zeta (ζ). Es la medida que determina la carga de un coloide (volts), en función de la superficie cargada y la naturaleza y composición del medio en el que está suspendido; las sales iónicas que pueden solubilizarse totalmente en medios acuosos no pueden ser clasificadas como coloides ya que se encuentran en la fase continua y por lo tanto su ζ es muy pequeño. En la mayoría de los suelos el potencial ζ es negativo debido a que la superficie del suelo generalmente tiene

carga negativa. Con el incremento de la acidez ζ disminuye su negatividad y, en algunos casos, pueda alcanzar valores positivos. Estos cambios afectan la velocidad del flujo electro osmótico, ya que se ha observado que la tasa de flujo decrece cuando el pH del electrolito se acerca a la neutralidad o se incrementa la alcalinidad.

Naturaleza del contaminante. La especie química de los contaminantes es un factor que influye fuertemente sobre la eficiencia de la técnica. Los contaminantes pueden existir como sólidos precipitados, solutos disueltos, adsorbidos a partículas del suelo o sorbidos en materia orgánica. En la actualidad las especies químicas son evaluadas por extracción secuencial o lixiviación y se ha demostrado que las formas intercambiables migran con mayor rapidez que las absorbidas en la materia orgánica o en la fracción residual

Contenido de agua. El movimiento del electrolito por electroósmosis es función del contenido de agua; por lo tanto, el grado de saturación del suelo es un factor indispensable para llevar a cabo el proceso electrocinético. Una distribución irregular de humedad en el suelo contaminado puede observarse durante el electro remediación, ya que el electrolito (cualquier sustancia que contiene en su composición iones libres, que hacen que se comporte como un conductor eléctrico) se mueve hacia uno de los electrodos, incrementando la humedad en este y disminuyéndola en el electrodo contrario. Por tanto es necesario mantener una humedad adecuada agregando electrolito a la misma tasa electro osmótico a la que es drenado del sistema. Por otro lado, un contenido bajo de agua puede generar la sequedad del suelo debido a efectos de calentamiento.

Los mecanismos principales por los cuales el campo eléctrico conduce los contaminantes hacia los electrodos son: electromigración y electroósmosis.

Electroósmosis. Es un fenómeno de transporte en el cual el líquido saturante junto con las sustancias que se suspenden fluye hacia uno de los electrodos, la tasa de este flujo es proporcional al producto de la fuerza del campo eléctrico aplicado y al potencial ζ de la Interfase sólido-líquido. El valor del potencial ζ es función de las propiedades del suelo, así como de la fuerza iónica y el pH del

electrolito. Por ejemplo, con un gradiente de potencial eléctrico de 100 V m⁻¹, los valores típicos de potencial ζ están entre -10 y -100 mV, algunas de estas condiciones han sido pruebas de laboratorio donde se ha demostrado una eficiente remoción de compuestos orgánicos insolubles, los cuales tienen cargas iónicas parciales, por lo que las cargas iónicas totales resultan ser muy débiles y no lograrían moverse solo por electromigración.

Electromigración. Es un fenómeno en el cual los iones en solución y los coloides que tienen carga eléctrica se mueven a través del campo eléctrico con una velocidad que es proporcional al producto de la fuerza del campo eléctrico y la movilidad del ión o partícula, la electromigración de iones a través de un capilar se describe en la ecuación 2:

$$U_m = vE \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

v = movilidad iónica [m² s⁻¹ V⁻¹]

U_m = la velocidad de un ión [m /s]

E = fuerza del campo eléctrico (negativo de la diferencia de potencial), V m⁻¹

En el cuadro 4 se resumen las principales ventajas y limitaciones de la electroremediación (Volke, 2005).

Ventajas	Limitaciones
Es una tecnología disponible comercialmente	Las reacciones redox pueden disminuir su eficiencia y formar productos indeseables
El contaminante puede separarse con facilidad del suelo, incluso en forma pura.	El suelo tratado pierde ligeramente su fertilidad
Es una alternativa eficiente para la remediación in situ de sitios contaminados con metales	Valores extremos de pH y reacciones redox pueden disminuir su eficiencia y formar productos indeseables
Se puede aplicar eficientemente en suelos arcillosos (poco permeables)	No es aplicable en todo tipo de suelos

Cuadro 4 Principales ventajas y limitaciones de la electroremediación. Fuentes: "Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación" SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología, autores Tania Volke Sepúlveda, Juan A. Velasco Trejo y David A. de la Rosa Pérez (2005).

Para concluir la electrocinética es una tecnología que, dependiendo de la extensión y profundidad del sitio contaminado, puede llevar de unas cuantas semanas hasta 6 u 8 meses. Sus costos varían dependiendo de la extensión del terreno, del material de los electrodos, de la conductividad del suelo, de las metas propuestas para el tratamiento, y del costo de la energía.

3.5 Extracción de vapores en el sitio un contaminado

La Técnica de Extracción de Vapores aplicada al suelo contaminado, es un método que se aplica en suelos contaminados por Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) también se le conoce como Venteo del suelo o Sistema de extracción con vacío, el proceso consiste en el paso de una corriente de aire a través del suelo, produciéndose así la transferencia de los contaminantes desde la matriz del suelo la corriente de aire (Buckingham, 1996).

El procedimiento consiste en la instalación de pozos de extracción de vapor o tuberías perforadas en la zona de contaminación y en la aplicación de vacío que induce el movimiento de los gases del suelo, como se muestra en la figura 26 (Buckingham, 1996).

Técnica Extracción de vapores en el sitio un contaminado aplicada

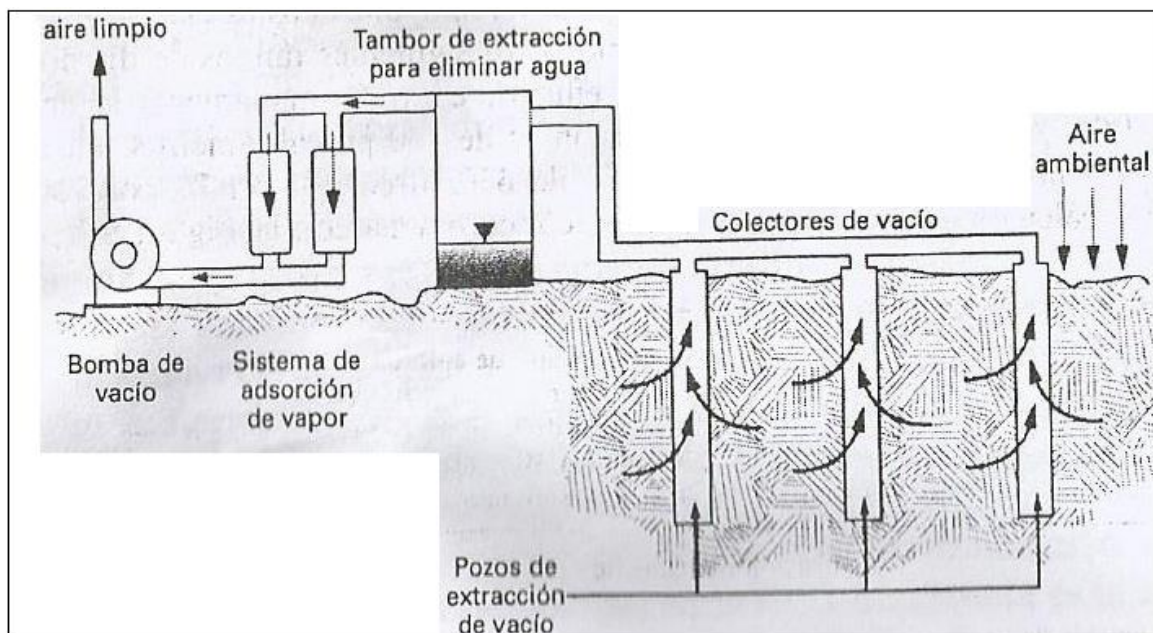


Figura 26. Fuentes: "Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos". Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans., Madrid, España 1996. pp. 1316

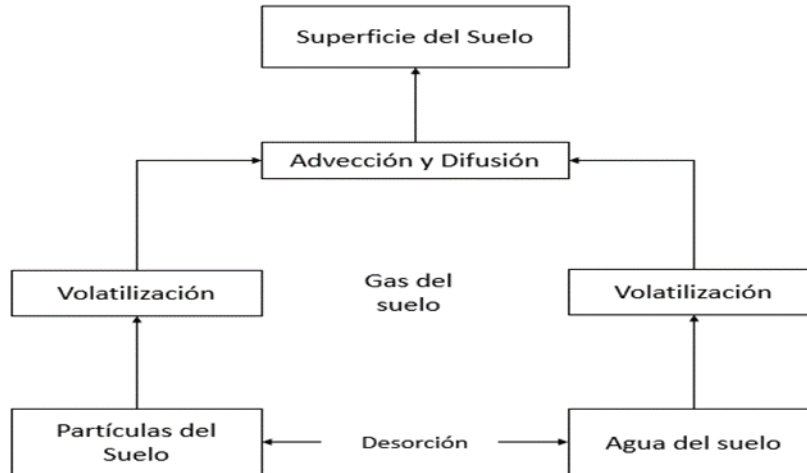
La técnica aprovecha la volatilidad del contaminante para permitir la transferencia de masa de la fase adsorbida y disuelta en el suelo a la fase de vapor, en el cual se remueve extrayéndolo por vacío. Los principios de operación de estos sistemas consisten en que el suelo contaminado se lava con aire mediante un pozo de extracción en el que se aplica un vacío, los compuestos volátiles son arrastrados del suelo y pasan a la fase vapor, el vacío desorbe los compuestos de la zona y a la vez incrementa la aireación del suelo, con lo cual aumenta las posibilidades de biodegradación de los contaminantes (Iturbe, 2014).

Los COV (compuestos orgánicos volátiles) pueden estar presentes como contaminantes en el suelo y puede ser representado en un modelo de 3 fases en una zona: la matriz del suelo, la humedad del suelo localizada entre los huecos y en la superficie de la matriz del suelo y el gas del suelo que constituye la porción remanente de los huecos existentes entre las partículas del suelo (propiedad gas).

El movimiento de los contaminantes en la zona se prolonga a través de varias fases, con el movimiento del sistema de aguas subterráneas hacia las condiciones de equilibrio, la localización de distribución y equilibrio de los contaminantes puede dirigir una distribución de masa, sin embargo las condiciones de equilibrio están distribuidas en una amplia escala de áreas para facilitar un diseño de tratamiento correctivo.

Los contaminantes presentes en el suelo de este tipo COV pueden ser descritos mediante dos procesos advección y difusión, la Advección es el movimiento con la masa del flujo de aire del contaminante en fase vapor a través del medio del suelo, la difusión es el proceso mediante el cual los contaminantes llevan a cabo un movimiento en el medio del suelo mediante el gradiente de concentraciones.

Un sistema de EVS elimina la contaminación orgánica volátil mediante la evacuación de los gases del suelo, incrementando los movimientos de los contaminantes desde la fase sólida y líquida de la fase gas como se muestra en el esquema 3.



Esquema 3. Modelo esquemático del suelo/vapor del suelo. Fuentes: “Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos”. . Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingham, Jeffrey Madrid, España 1996. pp. 1316

El transporte de los contaminantes entre las diferentes fases está influenciado por los aspectos físicos, el medio ambiente y por las propiedades químicas que aparecen en la cuadro 5.

Propiedades del Suelo	Propiedades de los contaminantes	Propiedades medioambientales
Permeabilidad	Constante de la Ley De Henry	Temperatura
Porosidad	Solubilidad	Humedad
Distribución del aire	Coefficiente de Adsorción	Velocidad
Contenido de Humedad	Concentración de COV en el Suelo	Radicación
pH	Polaridad	Precipitación
Contenido Orgánico	Presión de Vapor	Terreno
Densidad de la masa	Coefficiente de Difusión	Vegetación

Cuadro 5. Propiedades que influyen en los sistemas de aireación del suelo Fuentes: “Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos”. . Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans. Editorial McGraw Hill., Madrid, España 1996. pp. 1316

La utilización de modelos empíricos es una práctica corriente para seleccionar el sistema mecánico más apropiado y la posterior utilización de datos de campo para perfeccionar el diseño del sistema, para describir la forma de transporte del vapor a través del suelo se puede describir con la Ley de Fick:

$$J = -D_v \frac{dc}{dz} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

J : Flujo de vapor ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{seg}$)

D_v : Coeficiente de difusión en la zona (cm^2/seg)

dc : Concentración de vapor en el aire del suelo (mol/cm^3)

dz : Distancia en la dirección de la difusión (cm)

Para la aplicación del sistema extracción de vapores se requiere (Rosario Iturbe, 2014):

- Pozos de extracción, bomba de vacío, unidad de tratamiento para los vapores en el exterior, separador de aire, tuberías, válvulas.
- Condiciones de operación, como niveles de extracción de vacío, velocidad de flujo de extracción, medición de concentraciones de vapores.

Para el sistema de operación los parámetros a tomar en cuenta deben ser:

- a) Velocidad de extracción de vacío
- b) Radio de influencia de los pozo de extracción
- c) Concentración de contaminantes

Los componentes del sistema incluyen:

- Localización y numero de pozos
- Construcción de pozos (profundidad, intervalo de perforaciones)
- Bomba de extracción
- Separador de aire
- Medidores de flujo, presión de vapor
- Unidad de tratamiento de los vapores que serán expulsados al exterior

Para el tratamiento del sitio contaminado utilizando esta técnica se deben seguir las siguientes condiciones para una eficiente remediación:

- El tratamiento se realizará en el sitio en donde se encuentran los suelos contaminados, por lo que no se deberán remover o transferir a un sitio diferente al original.
- Este proceso únicamente podrá aplicarse al tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de fracción ligera (Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10).) fracción media (Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y veintiocho átomos de carbono (C10 a C28).) y BTEX (B, benceno; T, tolueno; E, etilbenceno; X, xilenos).Sólo podrá aplicarse en suelos cuya composición granulométrica sea en su mayoría grava, arena o limo y con baja humedad.
- Con barreno helicoidal (es un dispositivo o herramienta utilizado para realizar agujeros o pozos cilíndricos extrayendo el material sólido perforado) se perforan pozos de 4” a 8” de diámetro a diferentes profundidades, dependiendo de la extensión de la pluma contaminante y de los requerimientos específicos del sitio.
- Terminada la perforación, se instala dentro del pozo tubería de PVC hidráulico cédula 40 de 2” a 4” de diámetro, con tramos ranurados y tramos lisos, dependiendo de las características específicas del sitio, dejando un diámetro que permita tener 2” de espacio anular libre entre la tubería y la pared del pozo de extracción.
- En el extremo inferior de la tubería se instala un tapón capa de PVC hermético.
- En el extremo superior de la tubería se instala una conexión tipo Cruz o tipo “T”, en la parte superior de la Cruz o “T” se instala un tapón de hule hermético y en un extremo lateral de la Cruz o “T” se instala una válvula de paso o de cierre para interconectar cada pozo a un cabezal.
- El espacio anular se rellena con gravilla de media pulgada o arena sílica No. 6-9, seguido de un sello de bentonita y a nivel de piso se coloca un sello de bentonita-cemento.

- Los pozos se conectan entre sí a través de un ramal de interconexión superficial, construido con tubería de PVC hidráulica de 2" a 4" de diámetro con accesorios necesarios (TES, coples, codos, válvulas, etc.).
- Se interconectan los pozos a través de un ramal externo.
- El sistema contará con trampas de humedad y condensación de vapores.
- A la salida de la trampa de humedad se ubicará un soplador (extractor o bomba de vacío) para extraer los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) de los pozos.
- Los COV extraídos pasarán por filtros de carbón activado granular previo a su descarga a la atmósfera.
- Esta actividad se realizará de manera continua durante todo el proceso de tratamiento hasta alcanzar los niveles de limpieza requeridos.
- El número de pozos será variable y dependerá del área y volumen de suelo contaminado y del radio de influencia de los mismos.
- Se realizará el monitoreo de las concentraciones de hidrocarburos presentes en el suelo, empleando para ello equipo de campo (analizador de hidrocarburos tipo Petroflag o equivalente).
- La toma de muestras y las determinaciones analíticas de los parámetros se realizará de acuerdo a lo establecido en la normatividad aplicable y conforme a la propuesta de remediación que al efecto se apruebe.
- Si los valores de hidrocarburos analizados se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles se considera concluido el tratamiento y se procede al muestreo final.
- Este proceso de tratamiento no incluye el uso de oxidantes, surfactantes químicos o microorganismos comerciales exógenos.
- El agua extraída por los pozos durante el proceso deberá someterse a tratamiento previo a su reúso o descarga, debiendo cumplir con la normatividad aplicable en la materia.

Capítulo 4

Propuesta de

Remediación

y Zona de

Estudio



4.1 Descripción del Sitio “Valle del Mezquital”

Existen problemas de aspecto relevante que enfrenta México algunos pueden ser sociales, estabilidad economía, la contaminación entre muchas otras, hablar de la contaminación es desglosar muchos medios por los cuales afectan a un lugar, ya que existen distintos factores que provocan una contaminación.

El suelo es un medio sensible que adquiere contaminación, tal es el caso del Valle del Mezquital donde en un tiempo atrás fue una zona semiárida, hace casi ya un siglo las aguas residuales de la Ciudad de México tuvieron la finalidad de ser descargadas y utilizadas sin tener un tratamiento para el riego del Valle del Mezquital, provocando que parte de esta agua se infiltrara y recargara al acuífero, aspecto por el cual este valle se ha vuelto una zona ampliamente contaminada en muchos aspectos.

La mayoría de los cultivos en el Valle del Mezquital son regados con aguas negras los cultivos que destacan en la zona son hortalizas, frijol y maíz que se consumen en el centro de la república, incluso se ha estudiado la cantidad de metales en leche de vacas que se alimentan con pastura irrigada con las aguas residuales en el valle del Mezquital (Lesser,2011), un aspecto relevante de esta zona es que la Ciudad de México drena sus aguas residuales hacia el Valle del Mezquital a través de los llamados Gran Canal del Desagüe, Interceptor Poniente y Emisor Central. Los dos primeros cruzan la divisoria entre las cuencas de México y Mezquital a través de los túneles de Tequisquiac y el tajo de Nochistongo, para incorporarse a los ríos Salado y El Salto respectivamente (Figura 27).

En la zona de la presa se encuentran 14 comunidades las cuales son: Santa María Daxtho, El Retiro, San Pedro Nextlalpan, La Loma, Pedro María Anaya, Santa Ana Ahuehuepan, Benito Juárez, San Francisco Bojay Colonia, San Francisco Bojay Pueblo, Xijay de Cuauhtémoc, Santa María Michimaltongo, Xiteje de Zapata, Michimaloya y San Miguel de las Piedras, donde viven alrededor del 20 mil habitantes.

Flujo de aguas negras de la Ciudad de México hacia el Valle del Mezquital

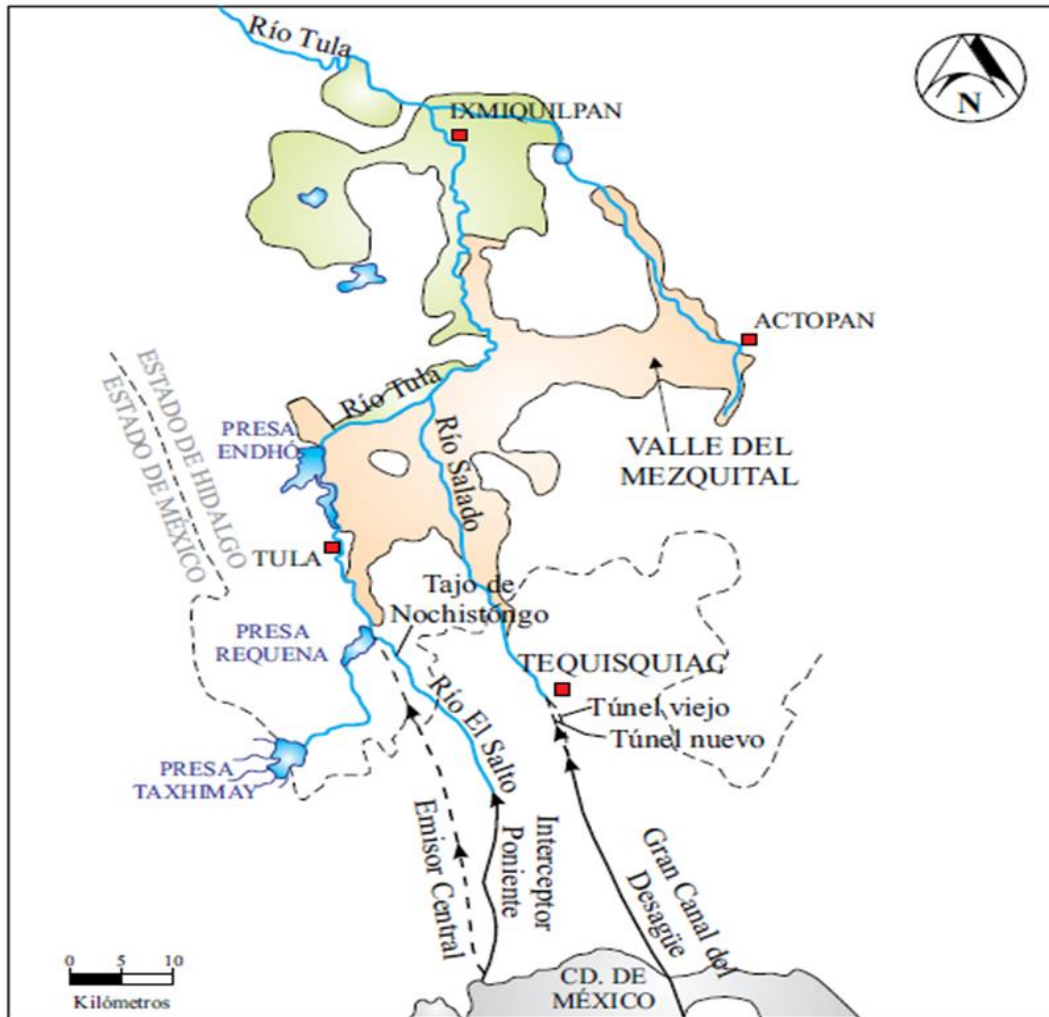


Figura 27. Fuentes: Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central, Luis E. Lesser y Asociados, Hidalgo, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol.28,núm3 2011.

En la zona de Tula (occidente del valle del mezquital) se encuentran un corredor industrial donde están establecidas la Refinería PEMEX “Miguel Hidalgo”, la Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” de la CFE, las plantas de tres cementeras (Cruz Azul, Tolteca-CEMEX, Lafarge) que surten a todo el país con cal y cemento, Clarimex, entre otras, estas industrias han contribuido a la contaminación y afectado el entorno físico-ambiental en amplias zonas del Mezquital.

A 140 kilómetros al noreste de la Ciudad de México, apenas a 15 minutos detrás de las ruinas arqueológicas de los toltecas, se extiende sobre mil 263 hectáreas la

presa “Endho” que nació en 1957, en la presa lograba tener fauna marina como peces como lobina, trucha, mojarra y pez víbora.

La zona de estudio se localiza en la proporción central del estado de Hidalgo y en límite con el Estado de México, geográficamente se encuentra entre los paralelos 19°30´ y 20°22´de latitud norte y entre los meridianos 98°56´ y 99°37´de longitud oeste, Figura 28.

Localización de la zona contaminada



Figura 27. Fuentes: Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central, Luis E. Lesser y Asociados, Hidalgo , México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas , Vol.28,núm3 2011.

Una mañana de 1975 la luz del sol iluminó la muerte de toneladas de esos peces. A través del río Tula, llegaban las primeras aguas del Emisor Central. En un principio era el agua de lluvia que arrastraba la mugre de una ciudad que creció y se extendió sin control.

Todos los días, cada habitante de los más de 20 millones que habita en la Zona Metropolitana de México genera un promedio de 0.91 kilogramos de basura, pero además, por las cañerías dejan deslizar residuos de las casas. Por las alcantarillas que el agua de lluvia se lleva también basura, agua residual de los mercados y de las empresas viaja rumbo al Valle del Mezquital.

Las aguas negras ricas en materia orgánica mejoraron las tierras y los pobladores la declararon oro negro. Actualmente se riegan 85 mil 970 hectáreas, en beneficio de 57 mil 341 agricultores, tan sólo de la presa Endho, ninguno de los agricultores vive alrededor del embalse, en la figura 29 se observan cultivos regados con aguas negras.

El agua negra que se encuentra estancada en la presa Endho posee un olores fétidos, olores a petróleo ya refinado, excremento, cochambre, en casos extremos animales muertos y hasta las personas que han quedado sumergidas en esta llamada la cloaca más grande del mundo, a donde llegan las aguas del Valle de México (Trejo, 2014).

Además, la grave contaminación ambiental ha deteriorado gravemente la salud de la población debido a las altas concentraciones de cianuros, metales pesados y toda clase de contaminantes industriales y orgánicos que se vierten en la presa. En la zona hay una grave incidencia de enfermedades tales como leucemia, cáncer, hepatitis, infecciones de la piel muy por arriba de la media nacional y estatal, reconocido por la propia Secretaria de Salud en diversos estudios. (Secretaría de Salud México. Programa Nacional de Salud 2007-2012 Por un México Sano: construyendo alianzas para una mejor salud.)

Cultivos regados con Aguas negras



Figura 29.. Fuentes: Autores: Calixto Rojas Alejandro A., Capula Huerta Isaías, Castillo Ramírez Américo C. y López Báez Absalón. Universidad Autónoma Chapingo, carr. México-Texcoco Km. 38.5. 7 de noviembre de 2007.

Por otro lado, la Comisión Nacional del Agua ha declarado en los estudios respectivos hechos en el año 2007 que los pozos del sistema de agua potable de Tepetitlán se encuentran contaminados con metales pesados y que esto es causa directa de las enfermedades que padece la población.

Una cuestión central es que las enfermedades, los riesgos sanitarios y la contaminación del agua han eliminado o limitado las actividades productivas agropecuarias de la zona llevando a las comunidades a la pobreza, baste recordar que las comunidades de alta marginación de la región se concentran en la ribera de la presa Endhó y el Occidente de Tula.

4.2 Propuesta de remediación para el sitio contaminado

Se propone la técnica Extracción de vapores en el sitio un contaminado para la remediación de un sitio que posee características contaminación, la elección de esta técnica es debido a su bajo costo a comparación de técnicas que se encuentran ofrecidas por algunas empresas, realizando un sondeo se obtuvieron los siguientes datos:

Técnica	Costo por m²
Biorremediación	\$1400
Lavado de suelos	\$1800
Solidificación	\$2600
Electroremediación	\$9500

Los costos anteriores muestran una gran diferencia entre la Técnica que deseamos utilizar su costo aproximado es de \$1000 por m², lo que se busca es dar un bajo costo y un beneficio a la zona contaminada, la remediación requiere de una autorización, se diseñó una propuesta basándonos en un formato oficial de Solicitud para la remediación del Sitio Contaminado en donde se proponen puntos sobresalientes:

**Propuesta del Formato de Solicitud para la Remediación de un Sitio
Contaminado**

Lugar de Solicitud	Fecha de Solicitud (DD-MM-AAAA)
Ciudad de México	01-10-2017

DATOS GENERALES DEL SOLICITANTE	
Entidad federativa	Estado de México
Nombre completo del solicitante:	Jesús Daniel Cano Hernández
Nombre de la empresa / sociedad de remediación	SISTEMA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL y CONTROL S.A. DE C.V.
Nombre del representante Legal:	José de Jesús Cano Luna
Domicilio de la Empresa/ sociedad de remediación	Prolongación de Nicolás Bravo, Colonia Niños Héroes, cerrada Francisco Márquez N°# 56 , Texcoco Estado de México

Metodología /Procesos de tratamiento a aplicar	
Nombre del Técnica de tratamiento	Clave
Extracción de Vapores en un Sitio Contaminado	EXVA-S

Características del Lugar	
Lugar contaminado	La presa Endho
Ubicación	“Valle del Mezquital “Tula. Hidalgo
Insumos a utilizar	Carbón activado Aire comprimido
Metros cuadrados a utilizar para técnica/proceso a aplicar	400 m²

(Formato de elaboración propia)

4.3 Método y soporte técnico del tratamiento de remediación

La extracción de vapores es una Técnica de Remediación reconocida para remediar suelos contaminados con compuestos volátiles y semivolátiles, también esta técnica puede recibir el nombre de venteo del suelo y sistema de extracción con vacío. La técnica aprovecha la volatilidad del contaminante para permitir la transferencia de masa de la fase absorbida y disuelta en el suelo a la fase de vapor en la cual se remueve extrayéndolo por vacío.

Los principios de operación de estos sistemas consisten en que el suelo contaminado se lava con aire mediante un pozo de extracción en el que se aplica un vacío, el vacío absorbe los compuestos de la zona saturada y a la vez incrementa la aireación del suelo, con el que aumenta las posibilidades de biodegradación de los compuestos más pesados que no pueden ser arrastrados durante el sistema de vacío (Iturbe, 2014).

Para el tratamiento del sitio contaminado utilizando esta técnica se deben seguir las siguientes condiciones para una eficiente remediación:

- El tratamiento se realizará en el sitio en donde se encuentran los suelos contaminados, por lo que no se deberán remover o transferir a un sitio diferente al original.
- Este proceso únicamente podrá aplicarse al tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de fracción ligera (Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10).) fracción media (Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y veintiocho átomos de carbono (C10 a C28).) y BTEX (B, benceno; T, tolueno; E, etilbenceno; X, xilenos).Sólo podrá aplicarse en suelos cuya composición granulométrica sea en su mayoría grava, arena o limo y con baja humedad.
- Con barreno helicoidal (es un dispositivo o herramienta utilizado para realizar agujeros o pozos cilíndricos extrayendo el material sólido perforado) se perforan pozos de 4" a 8" de diámetro a diferentes profundidades,

dependiendo de la extensión de la pluma contaminante y de los requerimientos específicos del sitio.

- Terminada la perforación, se instala dentro del pozo tubería de PVC hidráulico cédula 40 de 2" a 4" de diámetro, con tramos ranurados y tramos lisos, dependiendo de las características específicas del sitio, dejando un diámetro que permita tener 2" de espacio anular libre entre la tubería y la pared del pozo de extracción.
- En el extremo inferior de la tubería se instala un tapón capa de PVC hermético.
- En el extremo superior de la tubería se instala una conexión tipo Cruz o tipo "T", en la parte superior de la Cruz o "T" se instala un tapón de hule hermético y en un extremo lateral de la Cruz o "T" se instala una válvula de paso o de cierre para interconectar cada pozo a un cabezal.
- El espacio anular se rellena con gravilla de media pulgada o arena sílica No. 6-9, seguido de un sello de bentonita y a nivel de piso se coloca un sello de bentonita-cemento.
- Los pozos se conectan entre sí a través de un ramal de interconexión superficial, construido con tubería de PVC hidráulica de 2" a 4" de diámetro con accesorios necesarios (TES, coples, codos, válvulas, etc.).
- Se interconectan los pozos a través de un ramal externo.
- El sistema contará con trampas de humedad y condensación de vapores.
- A la salida de la trampa de humedad se ubicará un soplador (extractor o bomba de vacío) para extraer los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) de los pozos.
- Los COV extraídos pasarán por filtros de carbón activado granular previo a su descarga a la atmósfera.
- Esta actividad se realizará de manera continua durante todo el proceso de tratamiento hasta alcanzar los niveles de limpieza requeridos.
- El número de pozos será variable y dependerá del área y volumen de suelo contaminado y del radio de influencia de los mismos.

- Se realizará el monitoreo de las concentraciones de hidrocarburos presentes en el suelo, empleando para ello equipo de campo (analizador de hidrocarburos tipo Petroflag o equivalente).
- La toma de muestras y las determinaciones analíticas de los parámetros se realizará de acuerdo a lo establecido en la normatividad aplicable y conforme a la propuesta de remediación que al efecto se apruebe.
- Si los valores de hidrocarburos analizados se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles se considera concluido el tratamiento y se procede al muestreo final.
- Este proceso de tratamiento no incluye el uso de oxidantes, surfactantes químicos o microorganismos comerciales exógenos.
- El agua extraída por los pozos durante el proceso deberá someterse a tratamiento previo a su reúso o descarga, debiendo cumplir con la normatividad aplicable en la materia.

Algunos criterios y observaciones que se deben tomar en cuenta para esta técnica son:

- No deberá aplicarse en procesos de tratamiento alguno en el que se involucren soluciones de agentes químicos o biológicos que permita la transferencia de contaminantes de un medio a otro.
- No deberán rebasar la capacidad de campo (evitar filtraciones y/o migración de lixiviados)
- Se deberá recomendar el uso de una geomembrana (figura 30) que cubra la superficie del suelo para evitar el corto circuito por el contacto de agua que se tendrá cercanamente, el flujo de aire deberá ser incrementado así como el radio de influencia de los pozos de extracción.
- Uso del carbón Activado ya que es capaz de purificar el aire y el agua, como es una sustancia muy porosa tiene la capacidad de atrapar las toxinas presentes en el agua, por ejemplo los pesticidas, residuos químicos o impurezas, por otro lado, también se utilizan en los filtros de aire para evitar los olores desagradables y mohos.

- Deberá realizarse el control y tratamiento de los filtros utilizados con Carbón activado o similar

Geomembrana

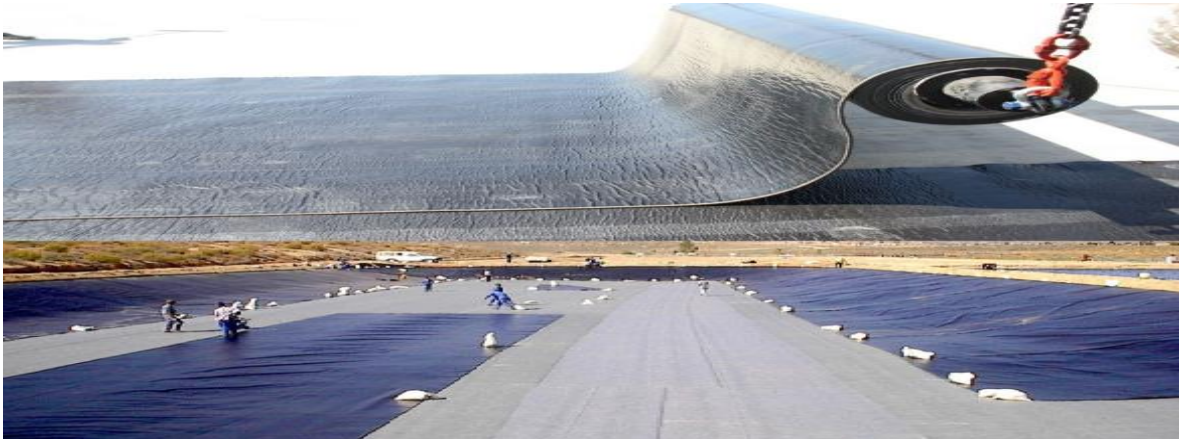


Figura 30. http://ferstrepresentacoes.com.br/portfolio_item/geomembrana-nortente/

Costos de Geomembrana

CALIBRE	GROSOR EN mm	MEDIDAS ROLLOS (MTS)	RENDIMIENTO KG/M2	GARANTIA	PRECIO USD
1000	0.25 mm	8m x 50m	0.25	3 Años	\$441.00
1500	0.375 mm	8m x 50m	0.375	3 Años	\$614.25
2000	0.50 mm	7m x 35m	0.5	5 Años	\$520.93
2400	0.60 mm	7m x 35m	0.6	5 Años	\$601.97
3000	0.75 mm	5.8m x 30m	0.75	8 Años	\$554.95
3800	0.95 mm	5.8m x 30m	0.95	8 Años	\$676.90
4000	1.00 mm	5.5m x 30m	1.0	8 Años	\$675.68

4.4 Programa de plan de muestreo

Las muestras de suelo deben ser recolectadas del sitio contaminado para ser analizadas, las muestras recolectadas en cada punto de muestreo serán abarcando de manera horizontal y vertical, las muestras se tomaran de inicio en los primeros 30 cm del suelo que representan el estrato superficial.

El material que se utilizara el siguiente:

- Frasco de vidrio de 40, 450 y 990 ml
- Jeringas de plástico de 20 ml
- Hielera
- Hielo
- Espátulas
- Para film
- Tapas con una contratapa de teflón del mismo diámetro que la tapa del frasco
- Tapón de hule estéril del diámetro de la abertura de la jeringa

El procedimiento inicia cuando una vez colectado el suelo se homogeniza, posteriormente, las muestras se transfieren a dos tipos de frasco uno de vidrio de color ámbar, limpio y con tapa cubierta de teflón (540 y 990ml), para determinación de hidrocarburos totales (HTP) e hidrocarburos poli cíclicos aromáticos (HPA's), y otro en vidrio ámbar de 40 ml para las muestras microbiológicas.

Las muestras se conservan dentro de una hielera durante el transporte al laboratorio, si la muestra no va ser procesada de inmediato se deberá almacenar a 4°C hasta la realización del análisis, el tiempo máximo de almacenamiento en función del análisis por realizar se establece en el la cuadro 7 (Fernández, 2006):

Tipo de Recipientes para las muestras

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	TEMPERATURA DE PRESERVACIÓN (°C)	TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN (DÍAS)
Hidrocarburos Fracción Ligera	Cartucho con contratapa o sello de PTFE, que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis	4	14
BTEX		4	14
Hidrocarburos Fracción Media	Frasco de vidrio boca ancha, con contratapa o sello de PTFE, o Cartucho con sello que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis	4	14
Hidrocarburos Fracción Pesada		4	14
HAP		4	14

Cuadro 7. Tipo de Recipientes para las muestras, temperatura de preservación y tiempo máximo de conservación por tipo de parámetro. (Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación)

Algunas de las técnicas descritas en capítulo anteriores el análisis del suelo se lleva a cabo con muestras húmedas, tal como provienen del sitio y otras requieren estar libres de humedad, lo que se recomienda es que se coloque la muestra a una temperatura de 30 °C durante 48 horas, considerando peso inicial y el peso final de la muestra para diferencia de contenido de humedad, después de 48 horas el análisis puede realizarse.

Aproximadamente se producen 2 millones de toneladas métricas de petróleo en el mundo, una gran cantidad de estos productos contaminan ambientes marinos y terrestres, los accidentes más comunes que se presentan son derrames de tanques, extracción de pozos o rupturas de tuberías estas consecuencias presenta el 10 % de descarga de contaminación el otro 90% es debido a descargas menores de las actividades industriales que contaminan el suelo y son arrastradas por las aguas continentales.

En México existe un gran número de sitios contaminados, principalmente con hidrocarburos del petróleo, el conocimiento del tipo de contaminación y su concentración es fundamental para establecer las condiciones del sitio, el riesgo que representa y la selección de posibles tecnologías de recuperación, los límites de limpieza para hidrocarburos en suelos es administrado por criterios o normas vigentes en México donde se establecen los límites permisibles en función de las condiciones del contaminantes para los hidrocarburos existe una división como se muestra cuadro 8 (Fernández, 2006):

Fracción de hidrocarburos	Uso del suelo predominante ¹ (mg kg-1 base seca)		
	Agrícola ²	Residencial ³	Industrial
Ligera	200	200	500
Media	1200	1200	5000
Pesada	3000	3000	6000

Cuadro 8. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo (NOM-SEMARNAT/SS-2012).

¹ Para usos de suelos mixtos, deberá aplicarse la especificación al menor de los valores de usos de suelo involucrados.

² Incluye suelo forestal, recreativo y de conservación.

³ Incluye comercial.

En el área del valle del Mezquital tiene como antecedente olores desagradables lo que para las investigaciones y literatura han determinado que es gas butano uno de los contaminantes predominantes, para saber si esto es confiable se recolectarán muestras en el área delimitada para después ser analizadas en un laboratorio, las muestras que recolectaran en puntos estratégicos se analizaran en un laboratorio que este acreditado por parte de la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación)

Se deberá llevar a cabo el siguiente método para determinación de hidrocarburos

Material y equipo

- ✓ Equipo de reflujo Soxhlet de 250 ml.
- ✓ Perlas de ebullición.
- ✓ Cartuchos de celulosa o fibra de vidrio.
- ✓ Balanza analítica.
- ✓ Vaso de precipitados 250 ml.
- ✓ Viales.
- ✓ Espátula.

Reactivos

- ✓ Sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4).
- ✓ Diclorometano (cloruro de metileno, CH_2Cl_2)

- 1) Colocar de 5 a 10 g de suelo seco y finamente molido en un cartucho de celulosa o fibra de vidrio.
- 2) Adicionar sulfato de sodio anhidro en una relación suelo: sulfato 1:1 y mezclar.
- 3) Colocar cada cartucho conteniendo las muestras dentro de la camisa o columna extractora del equipo Soxhlet.
- 4) Adicionar 125 ± 5 ml de diclorometano en el matraz de bola y colocar suficientes perlas de ebullición para evitar la proyección del solvente al calentarse.
- 5) Ensamblar el equipo Soxhlet e iniciar calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 45°C .
- 6) Mantener el reflujo en estas condiciones durante 8 horas, de tal manera que se efectúen entre 6 y 8 reflujos por hora.
- 7) Después de 8 horas, el extracto orgánico contendrá todos los hidrocarburos solubles en diclorometano. Pasar el matraz bola a un rota vaporador y concentrar el extracto orgánico a sequedad.
- 8) Recuperar el concentrado en un vial de 40 ml con tapón de teflón para su cuantificación por alguno de los métodos como puede ser cromatografía de gases.

4.6 Programa de capacitación

La construcción y aplicación de la propuesta de remediación del sitio contaminado, se contratará con personal quien recibirá capacitación para realizar funciones de trabajo, la capacitación se llevará de manera continua en las instalaciones provisionales instaladas cerca del área de trabajo, con lo que se busca garantizar que los conocimientos obtenidos sirvan para aplicarlos en este tipo de proyectos, así como también para garantizar la seguridad en la ejecución de los mismos. Por lo que están programados cursos cada tres meses, para la oportuna actualización.

Los programas impartidos al personal de la compañía abarcarán conocimientos que servirán de apoyo para su desarrollo durante su estancia en el proyecto; en el cuadro 9 se especifican cursos, fechas y periodicidad.

Programas de contenido que recibirá el personal contratado:

- La normatividad vigente, tanto nacional como las normas utilizadas en el extranjero.
- Los primeros auxilios, los procedimientos de seguridad, procedimientos de emergencias, así como las instrucciones para usar y operar el equipo de seguridad.
- Las características de los materiales que van a contribuir, su función dentro del proceso, sus formas de aplicación y los cuidados en el manejo y almacenamiento.
- Procedimientos en caso de presentarse contingencias meteorológicas.
- Procedimientos que la empresa utiliza para su administración.

***Nota:** Al ingreso de nuevo personal se le capacitará, en el área correspondiente, antes de laborar con la finalidad de que todo el personal esté capacitado y tenga el conocimiento sobre el proyecto que se está realizando.

Curso, Fechas y periodicidad de impartición de curso para el personal

Curso	Periodicidad	Fechas
Normatividad Vigente	Una vez al personal técnico	Enero 24 horas
Primeros Auxilios	Una vez por año a todo el personal	Enero 24 horas
Contingencia Meteorológica	Una vez por año a todo el personal	Febrero 40 horas
Tecnología Utilizada	Una vez por año al personal técnico	Febrero 40 horas
Procedimientos Administrativos	Una vez por año a todo el personal administrativo	Marzo 24 horas

Cuadro 9

Cuando el proceso de remediación se lleve a cabo los programas de capacitación sobre procedimientos ante contingencias y seguridad industrial, el personal acudirá oportunamente a dichas capacitaciones.

4.7 Programa de prevención y atención de contingencias

Inicialmente hay que tener en cuenta el conocimiento previo a cualquier construcción (almacén de insumos o materiales de aporte, de combustibles, cárcamos de recuperación, bioceldas, etc.), de las condiciones climáticas regionales. Así la orientación de las construcciones y las acciones de contingencia estarán encaminadas a contrarrestar los efectos de estas.

Los factores climáticos monitoreados son aquellos que representan mayor interés para la prevención de contingencias durante el desarrollo del proyecto, como son: precipitación pluvial, Temperatura, Humedad ambiente, Vientos Dominantes, Radiación Solar, Presión Barométrica; así como los máximos y mínimos históricos de cada uno de estos, en una recopilación de datos de por lo menos cinco años anteriores.

Estos conocimientos serán transmitidos hacia el personal que labora y opera, de esta manera se asegura que al presentarse una contingencia ambiental, sabremos como desempeñarnos y evitar oportunamente que los problemas de contaminación se expandan.

El personal será capacitado para actuar antes, durante y después de contingencias ambientales, por lo menos estará compuesto de cuatro personas

asignadas con las siguientes funciones, un coordinador o responsable, un encargado del mantenimiento de los equipos de seguridad, evacuación y transporte y dos encargados del celaje y mantenimiento de instalaciones.

Se construirá un almacén provisional donde se localizaran los materiales necesarios para la aplicación de la Técnica de Remediación, así como combustibles y o algunos insumos usados durante el tratamiento, su ubicación asegurará la integridad de lo contenido, además se recomienda el uso de una geomembrana que cubra la superficie del suelo para evitar el corto circuito del flujo de aire e incrementar el radio de influencia de los pozos de extracción, las geomembrana deben estar termo selladas debidamente , así como las canaletas que lo comuniquen.

Con respecto a la orientación de este almacén, buscaremos un ángulo que ofrezca minimizar la resistencia a los vientos y a la incidencia de la radiación solar. El personal deberá contar con equipo de protección personal básico, cascos de protección nivel E (Dieléctrico: Los cascos Clase E deberán reducir la fuerza de impacto de objetos en caída y el peligro de contacto con conductores energizados a alta tensión eléctrica de hasta 20 000 V fase a tierra), overoles de algodón, lentes de protección, guantes reforzados, calzado tipo industrial, mascarillas con filtros de aire para polvos y gases. (NORMA Oficial Mexicana NOM-115-STPS-2009, Seguridad-Equipo de protección personal).

*Consideraciones del Programa de Atención a Contingencias

Medidas Preventivas en Caso de:

Sismo

Considerando que el tipo de instalaciones que ocupa nuestra empresa para llevar acabo nuestros trabajos de remediación son generalmente semifijas o portátiles las medidas que se deben de tomar previas a un sismo serán las de:

- ✓ Vigilar que el armado de oficinas y bodegas de materiales sea el correcto para evitar cualquier contratiempo en caso de algún sismo.
- ✓ Ubicar, señalizar, y mantener en buenas condiciones los “sitios de reunión”.

- ✓ Supervisar que las estibas de los materiales dentro de los almacenes sean las adecuadas con respecto a sus características.
- ✓ Tener a la mano: números telefónicos de emergencia, botiquín completo de primeros auxilios, equipo de radio portátil y una linterna con pilas.
- ✓ Identificar los lugares más seguros del inmueble, las salidas principales y alternas. Verificar continuamente que las salidas y pasillos estén libres de obstáculos.
- ✓ Fijar a la pared: repisas, estantes evitando colocar objetos pesados en la parte superior de éstos.
- ✓ Asegurar firmemente al techo las balastros y en su caso lámparas.
- ✓ Procure que todo el personal, porte consigo una identificación. De ser posible con número telefónico y tipo de sangre.

Durante

Si el personal se encuentra dentro de lugares cerrados, deberá:

- Conservar la calma, Tranquilice a las personas que estén alrededor. Dirigirse a los lugares seguros previamente establecidos; cúbrase la cabeza con ambas manos colocándola junto a las rodillas.
- Alejarse de los objetos que puedan caer, deslizarse o quebrarse.
- No apresurarse a salir, tomar en cuenta que los sismos duran solo unos segundos.
- En caso de existir, cerrar las llaves del gas, bajar el interruptor principal de la alimentación eléctrica y evitar prender cerillos o cualquier fuente de incendio.
- Si el personal se encuentra en lugares abiertos, deberá:
- Dirigirse calmadamente hacia los sitios denominados “puntos de reunión”, que estarán señalizados previamente.

Después

- ❖ Verificar si hay lesionados, incendios o fugas de cualquier tipo, de ser así, llamar a los servicios de auxilio.
- ❖ Utilizar los medios de comunicación (teléfonos, celulares, radiocomunicación) sólo para llamadas de emergencia. Escuche la radio para informarse y colabore con las autoridades.
- ❖ Si es necesario evacuar el sitio, hacerlo con calma, cuidado y orden, y seguir las instrucciones de las brigadas de auxilio o emergencia.
- ❖ No encender cerillos ni usar aparatos eléctricos hasta asegurarse de que no hay fugas de gas.
- ❖ Efectuar con cuidado una revisión completa de las instalaciones, mobiliario y equipo. No hacer uso de ella si presenta daños graves.
- ❖ Limpiar los líquidos derramados y retirar escombros u objetos que presenten peligro.
- ❖ Estar preparado para futuros sismos, llamados réplicas y tomar en cuenta que normalmente son más débiles, pero que si pueden ocasionar daños adicionales.
- ❖ En caso de quedar atrapado, conservar la calma y tratar de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.

Medidas A Tomar En Caso De:

Incendio.

- Identificar los lugares estratégicos para colocar extintores de fuego Tipo C.
- Vigilar y mantener en óptimas condiciones los extintores.
- ALMACENAR CORRECTAMENTE LOS PRODUCTOS INFLAMABLES (COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES). Cabe mencionar que la gran mayoría de los insumos que se utilizan para llevar a cabo los trabajos de remediación no son inflamables.
- Cuidar que el cableado de lámparas, aparatos eléctricos y motores de maquinaria se encuentren en perfectas condiciones y protegidos.

- No hacer demasiadas conexiones en contactos múltiples, para evitar la sobrecarga de los circuitos eléctricos.
- Todo contacto o interruptor deberá estar aislado correctamente
- Al terminar las labores del día de trabajo durante la remediación se deberán revisar los aparatos eléctricos que estén apagados o perfectamente desconectados; que cualquier tipo de aparato eléctrico o si existiera algún tipo de instalación de gas esta se encuentre cerrada.
- Prohibir que el personal fume en las áreas donde pueda existir un alto contenido de hidrocarburos o compuestos inflamables.
- Tener a la mano los teléfonos de los Bomberos, Cruz Roja y Brigadas de Rescate de la región.

Durante

- Conservar la calma:
- No Gritar, No Correr, No Empujar.
- Buscar el extintor más cercano y tratar de combatir el fuego.
- En caso de que el fuego obstruya las salidas, no se desespere y colóquese en el sitio más seguro. Espere a ser rescatado.
- Si hay humo colocarse lo más cerca posible del piso y desplazarse "a gatas". Taparse la nariz y la boca con un trapo, de ser posible húmedo.
- Si se incendia su ropa, no corra: tírese al piso y rueda lentamente. De ser posible cúbrase con una manta para apagar el fuego.
- No perder el tiempo buscando objetos personales.
- En el momento de la evacuación seguir las instrucciones del personal especializado.

Después

- * Retirarse del área incendiada porque el fuego puede reavivarse.
- * No interferir con las actividades de los bomberos y rescatistas.

Atención de la Emergencia

Se designan personas con las siguientes funciones, un coordinador o responsable, un encargado del mantenimiento de los equipos de seguridad y evacuación y transporte, y dos encargados del celaje y mantenimiento de las instalaciones.

- Coordinador General de Emergencias Supervisor o residente de obra
 1. El coordinador del trabajo generalmente es el encargado de Control de las Emergencias.
 2. Establece los procedimientos para el inicio de la atención de la contingencia.
 3. Proporciona los recursos internos para la prevención, ataque y mitigación de las emergencias.
- Supervisor de Información. (Jefe de Seguridad)
 1. Llevar el seguimiento de las condiciones climáticas del sitio (consultar e imprimir diariamente el resumen de las condiciones climáticas vía Internet).
 2. Elaborar, actualizar y difundir los procedimientos a tomar según las condiciones prevalecientes.
 3. Capacitar al personal de las brigadas en las diferentes técnicas de contención y construcción de drenaje de escurrimiento, así como el desarrollo de las actividades de cobertura rápida de las celdas de tratamiento.
 4. Mantener equipos de protección personal específico para los brigadistas (ropa de hule contra lluvia y botas de hule) y equipos especiales (palas, picos, carretillas, mecate de polipropileno de ¼", estacas metálicas, etc.)
 5. Responsable de la seguridad del personal durante el desarrollo de emergencias (evaluará constantemente los riesgos a los que se expone el personal y definirá la estrategia de prevención o control para este tipo de emergencias).
 6. Evaluar la necesidad de interrumpir las actividades de restauración. Considerar la situación para solicitar ayuda externa, enfocada a la prevención de eventos con riesgo de ocasionar un desastre ecológico (equipos de bombeo adicional, suministro de energía eléctrica a través de generadores, campamento de vigilancia permanente con personal integrante de las brigadas, etc.)
 7. Proporcionar los recursos internos al personal para el desarrollo de las actividades preventivas y de control, en emergencias por cambios bruscos de las condiciones climáticas.

Personal operativo en el proceso de la Remediación.

1. El personal operativo, asume la responsabilidad que le asigne el Coordinador del sitio de la emergencia (Residente de la remediación), integrante activo de la

brigada de emergencia, integrante de apoyo a la brigada o personal sin funciones, también es responsable de:

2. Estar atento a las indicaciones del Coordinador del sitio de la emergencia.
3. Guardar la compostura necesaria para prevenir lesiones (no correr, no exponerse a riesgos innecesarios, mantener la calma, etc.).

4.8 Memoria fotográfica

En las imágenes siguientes se aprecian las condiciones de la Presa Endho y sus zonas aledañas.



La llegada a la Presa Endho fue por vía terrestre, la zona por donde se logró llegar fue por el pueblo de San Mateo mejor conocido como La curva.



La contaminación perdura en las orillas de la presa, aquí el ejemplo de cómo se va degradando el Suelo.



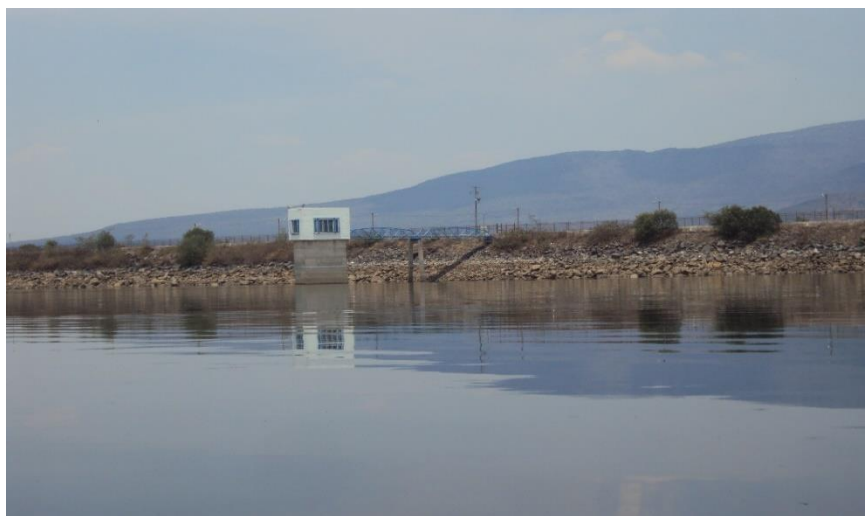
Se realizó un recorrido dentro de la Presa para ello requerimos de una lancha la cual fue proporcionada por el personal de Semarnat (Tula).



Durante el recorrido el nivel de profundidad de la presa va aumentando cada vez que se aleja uno de la zona de anclaje, 3 m de profundidad tiene la presa donde se capturo esta imagen.

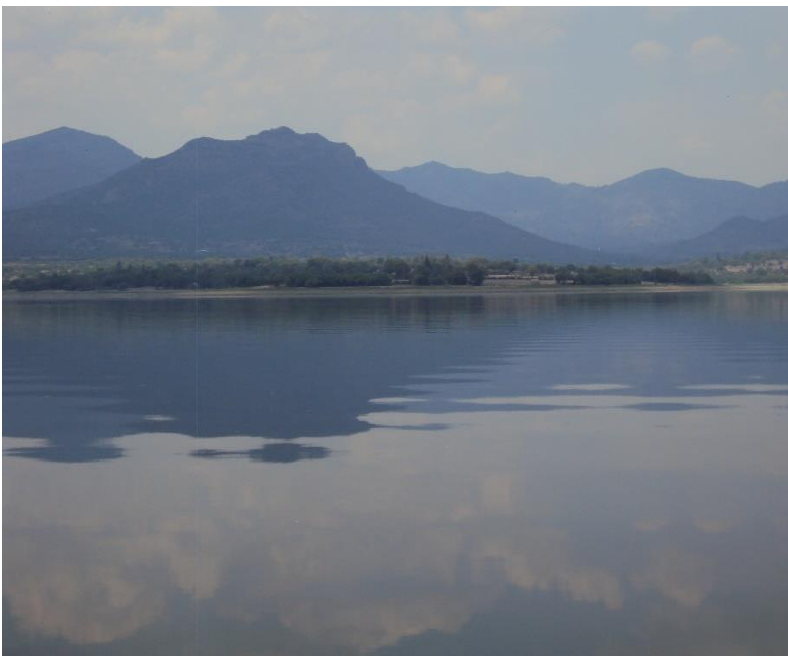


Para el diseño de la Propuesta de Remediación se utilizará esta zona donde se localiza el área verde, en el apartado 4.2 se mencionó sobre el tratamiento que se propondrá realizar, además de algunas recomendaciones, como el uso de la geomembrana que deberá cubrir la superficie del suelo para evitar algún corto circuito cuando estén funcionando los extractores de aire.



La presa cuenta con una caseta de supervisión, donde se cuenta con un procedimiento en caso de contingencias o problemas que se llegaran a suscitarse en la presa.

El diseño y la construcción de la presa en el aspecto arquitectónico fueron por parte de la empresa Sore.



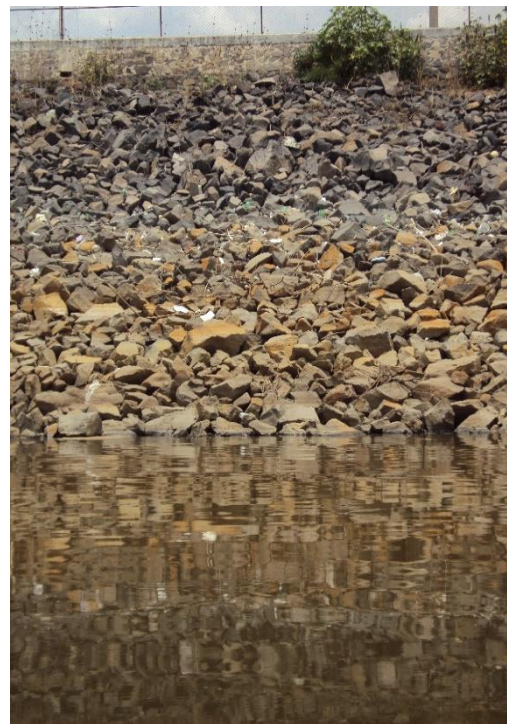
El guía comisionado nos indicó que detrás de los cerros y algunos pueblos cercanos a la zona son alimentados por agua de la presa, así beneficiando el riego de sus cultivos, en el 4.1 se explicaba que la presa es alimentada por aguas negras de la Ciudad de México además de ríos que conectan a su paso y llegan a la presa Endho.



En esta imagen observamos lo que es los límites de la presa, donde se estanca el agua y localizan grandes cantidades de basura que son arrojadas a la presa o simplemente con la corriente de agua va llevando llantas o algunos materiales sólidos, los cuales afectan más la presa, la gente comisionada menciona que dentro de la presa se cuenta con sedimentos con más de 70 años de vida, mencionar que algunos desechos tienen disponibilidad final por parte de la SEMARNAT.

En el caso de llantas de automóviles la disponibilidad es para el uso de combustible en las calderas de la Cementera Cruz Azul.

Las piedras han sido un límite para saber el nivel de la presa, el guía comento donde inicia barda son 50 metros de altura lo que equivale a la profundidad que tiene la presa, el color amarillo de algunas piedras ha sido el nivel máximo que alcanzado en temporada la presa en lo últimos años.





La presa cuenta con una barda que sirve como sobre diseño, esto ayuda a la presa si es que alcanza un límite máximo, detrás de la barda mencionada se cuenta con un depósito alternativo de agua.



Para finalizar nuestro recorrido el guía comisionado por la Semarnat nos comentó que roca de color blanco significa el centro de la presa esto debido a que se dice que hay 7 pueblos enterrados en esta zona.

Conclusiones y Recomendaciones

Existe una gran diversidad de técnicas de remediación para sitios contaminados conforme al formato de solicitud propuesto se planteó utilizar la metodología “Extracción de vapores en el sitio contaminado”, la contribución que se espera es tener control sobre el problema ambiental que se presenta en la zona del Valle del Mezquital, principalmente en la presa Endho..

Las técnicas Fisicoquímicas fueron descritas cada una brevemente, la metodología elegida cuenta con información necesaria como el diseño, la cotización, la aplicación y las dimensiones de terreno a utilizar para el tratamiento del suelo a remediar, para su posterior tratamiento se busca cumplir con los lineamientos administrativos buscando la protección del medio ambiente y a la conservación de los Recursos Naturales

Nuestro objetivo se pudo concluir con fundamentos para la remediación del sitio contaminado, por su costo, por su fácil aplicación, por no dañar recursos naturales en su entorno y su forma sencilla de transformar los vapores contaminados en aire libre de contaminantes , en este proyecto tesis el como Ingeniero Químico aplique las medidas de seguridad y conocimientos teóricos para el diseño de una propuesta, la ingeniería básica, ingeniería de diseño e ingeniería de procura, algunas veces es necesario concebir los escenarios de riesgo que necesitan remediación, porque se podrá realizar una cobertura más amplia en cuanto a la seguridad y el control de la contaminación que nos incluye dentro de esta sociedad.

Bibliografía Libros

1. Buckingham, P., y LaGrega M.D. (1996) Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos. Madrid, España: Editorial McGraw Hill.
2. DOF (Diario Oficial de la Federación) “Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación”, SEMARNAT, Diario Oficial de la Federación, México D.F.
3. Espinoza R.Z. (2011). Química Orgánica y Bioquímica. Ciudad de México: Editorial Trillas
4. Fernández, L.C.L., y Rojas N.A. (2006).Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Ciudad de México: Printed.
5. Fernández, C.D. (2006) Descontaminación de suelos. Granada, España: Dpto. Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada.
6. Foth, H.D. (1987). Fundamentos de la ciencia del suelo. United States of América: Editorial John Wiley & Sons.
7. Gutiérrez, M.E. y M. Moreno. (1997). Los residuos en la minería mexicana. México: INE.
8. Iturbe R.A. (2014) Suelos y Acuíferos contaminados evaluación y limpieza, Ciudad de México: Editorial Trillas.
9. Jaramillo, D. (2001). Introducción a la ciencia del suelo. Escuela de Geociencias. Medellín, Colombia: UNCM.

10. López, A.J. (2010). Manual de Edafología. Sevilla, España: Editorial Universidad de Sevilla Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola.
11. Mackenzie, D. L. (2005), Ingeniería y Ciencias Ambientales, Ciudad de México: Editorial MacGraw-Hill.
12. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelo, boletín de tierras y aguas de la FAO, Instituto internacional de agricultura tropical, 1997, pp 213 Theodor Friedrich, 2000.
13. Mirsal I.A. (2004).Soil Pollution Origin, Monitoring & Remediation, Berlin, Alemania: Edit Springer.
14. NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
15. Ortiz, I y Sanz Juana García (2007).Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Madrid, España: Comunidad de Madrid.
16. SMITH, R. (1949). Higher categories of soil classification: order suborder and great soil groups. Washington. U.S.A.: Horizons
17. Volke, T.S. (2005) Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Ciudad de México: INE-Semarnat.
18. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1991). Soil Vapor ExtractionTechnology: Reference Handbook. Cincinnati, Office of Research and Development. EPA/540/2-91/003.

Bibliografía Tesis

1. Mataix, J.S. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Tesis de Doctorado publicada, Universidad Alicante, Murcia, España.

Bibliografía de revistas

1. Lesser L.C. (2011). Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 28, núm. 3, 2011, p. 323-336

2. Ortínez Brito, Oscar y Ize, Irina (2003) La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México Gaceta Ecológica, Núm. 69, octubre-diciembre, 2003, pp. 83-92 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE REMEDIACION

