



# Instituto Politécnico Nacional

SECRETARIA ACADÉMICA  
COORDINACIÓN GENERAL DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES Y  
ESTUDIOS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

**“EL ANÁLISIS DE TOXICIDAD DE BTEX EN AGUA, UN ELEMENTO  
A CONSIDERAR EN LA NORMATIVIDAD DE SUELOS  
CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS Y EN LOS CRITERIOS  
AMBIENTALES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS  
EN MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS,  
CON ESPECIALIDAD EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO  
INTEGRADO

P R E S E N T A

**Andrés Rosas Molina**

**DIRECTOR DE TESIS:**  
**M. en C. Jesús Ochoa Valdés**

**CODIRECTOR DE TESIS:**  
**M. en C. Juan Manuel Sánchez Núñez**





**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**

*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 15:00 horas del día 3 del mes de Agosto del 2004 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del CIEMAD-IPN para examinar la tesis de grado titulada:

“EL ANÁLISIS DE TOXICIDAD DE BTEX EN AGUA, UN ELEMENTO A CONSIDERAR EN LA NORMATIVIDAD DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS Y EN LOS CRITERIOS AMBIENTALES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS EN MÉXICO”

Presentada por el alumno:

Rosas Molina Andrés  
Apellido paterno materno nombre(s)

Con registro: 

B	0	2	0	9	7	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: Maestro en Ciencias con Especialidad en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA  
Director de tesis

M. en C. Jesús Ochoa Valdés

M. en C. Ma. Eugenia Gutiérrez Castillo

Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez

Dra. Laura Meraz Cabrera

M. en C. Raúl Vera Alejandre

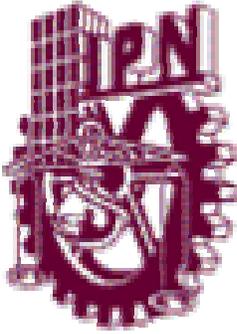
Co-Director  
  
M. en C. Juan Manuel Sánchez Núñez

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Sergio Cruz León



PODER EJECUTIVO FEDERAL  
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
MEXICO, D.F.  
SECRETARIA DE EDUCACION  
PUBLICA  
INSTITUTO POLITECNICO  
NACIONAL  
CIEMAD  
DIRECCION



## **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

### **COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

#### **CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D. F. El día 3 del mes de agosto del año 2004, el que suscribe Andrés Rosas Molina alumno del Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, con número de registro B020978, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo y cede los derechos del trabajo intitulado “El análisis de BTEX en agua, un elemento a considerar en la normatividad de suelos contaminados por hidrocarburos y en los criterios ambientales para aguas subterráneas en México”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con los fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos de trabajo sin el permiso expreso del autor o director del trabajo. Este se puede obtener si escribe a la dirección [armolina@imp.mx](mailto:armolina@imp.mx) . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A t e n t a m e n t e

Andrés Rosas Molina

## Reconocimiento

El esfuerzo y el empeño son quizás dos elementos importantes para alcanzar las metas en el terreno académico, hoy en día, aunado a esos elementos se suma uno más que sin duda representó el motor principal de este trabajo. Dicho elemento es el apoyo económico que a través de las becas, hace posible la cristalización de las aspiraciones académicas de cualquier estudiante.

Por ello hago patente mi reconocimiento y agradecimiento a la institución para la cual orgulloso laboro desde hace más de diez años, el INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO, reconozco y agradezco el esfuerzo que se ha logrado a través del Programa de Formación y Desarrollo del Factor Humano y al subprograma de Estudios de Postgrado en el País a Tiempo Completo y para quienes son los responsables del otorgamiento de becas, a todos ellos mi reconocimiento.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo que ahora concluye esta integrado por una interminable cantidad de aportaciones técnicas, de opinión, de crítica, de apoyo moral, de consejos y de ganas por lograr un pequeño aporte para motivar la conciencia ambiental en mis compañeros de trabajo, de nuestra institución y de nuestro país. Es por ello que agradezco a las siguientes personas:

Al Ing. Carlos F. Valdés Olmedo, por el apoyo recibido desde el inicio de este reto académico.

Al Dr. Isaac Schifter Secora, por su apoyo incondicional para la defensa y promoción de becas.

Al M. en C. Jesús Ochoa Valdés, por su gran apoyo en la dirección de este trabajo así como su incondicional interés en los aportes y comentarios que como amigo siempre he tenido.

Al M. en C. Juan Manuel Sánchez Núñez, por su labor como codirector de este trabajo, por sus aportes y su desinteresado apoyo.

Al Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez, por sus aportaciones, consejos y apoyo siempre desinteresado.

A la Dra. Laura Meraz y a la M. en C. Ma. Eugenia Gutiérrez por su apoyo y aportaciones.

Al M. en C. Raúl G. Vera Alejandre, por su aporte y apoyo.

Al Biól. Sergio F. Méndez Velarde, por sus aportes, comentarios y consejos para seguir mirando hacia delante.

A la Biól. Lucía Salazar Coria, por su apoyo y consejos en la parte experimental toxicológica.

A mis amigos Tec. Francisco Cano Aguilar, Biól. Marco Antonio Tenorio, M. en C. David Flores Hernández, por su apoyo y consejos.

Al Ing. Jorge Canto, por sus consejos y desinteresada amistad.

A la Dra. Miriam Amezcua, por su incondicional apoyo y comentarios.

Al Biól. José Luis Mondragón, por su apoyo y consejos.

A los Ingenieros de Geología Ambiental, Nicolás Rauda R., Marco A. González V. y Jorge Guardado C., por los apoyos técnicos y material cartográfico facilitado.

## *Dedicatoria*

*Dedico este logro, a las personas que llevo siempre en mi mente y en mi corazón y en las cuales pienso cuando se presentan situaciones difíciles o adversas, ellas representan la fuerza para levantar la cabeza y seguir caminando sin cansancio.*

*A mi esposa*

*Por ser el eje principal de mi mundo, y la razón de mi felicidad.*

*A mis hijos*

*Por quienes he aprendido a disfrutar, a través de su sonrisa lo bello que es la vida.*

*A mis padres*

*De quienes he tenido el mejor ejemplo para ser un hombre perseverante, y a quien les debo el poder transmitir amor a través de sus enseñanzas.*

*A mis hermanos*

*Con quien no dejo de disfrutar el cariño y calor que siempre habrá en el hogar que compartimos y que perdura con nuestros compañeros e hijos.*

*A la memoria del Tío Carlos*

*Donde quiera que te encuentres, este logro también es para ti por las lecciones dadas y las cuales transmitiré a mis hijos.*

## CONTENIDO

<b>GLOSARIO</b>	Pág. vi
<b>ABREVIATURAS</b>	x
<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	2
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES</b>	
1.1 CÓMO SE GENERA EL PROBLEMA	8
1.2 COMPORTAMIENTO DE UN DERRAME EN EL SUELO	11
1.3 LOS BTEX COMO PARTE DE LOS HIDROCARBUROS LIGEROS DE LA GASOLINA	12
1.4 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LOS CONTAMINANTES	14
1.4.1 Ley de Henry	15
1.4.2 Coeficiente de partición de carbono orgánico (Koc)	15
1.4.3 Coeficiente de partición octanol/agua (Kow)	16
1.4.4 Degradabilidad, solubilidad, volatilidad y concentración del contaminante	16
1.4.5 Sorción	17
<b>CAPÍTULO 2 ASPECTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LOS SUELOS Y DINÁMICA DE LOS CONTAMINANTES</b>	
2.1 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DEL SUELO	9
2.1.1 Tamaño de partícula	19
2.1.2 Permeabilidad y porosidad	20
2.1.3 pH	21
2.1.4 Materia Orgánica	21
2.1.5 Humedad	21

2.1.6 Densidad y viscosidad	21
2.1.7 Capacidad de intercambio catiónico	22
2.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES	23
2.2.1 Advección	23
2.2.2 Dispersión	23
2.2.3 Difusión	23
2.2.4 Biodegradación	24

### **CAPÍTULO 3 ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

GEOLOGÍA Y GEOHIDROLOGÍA EN LA REGIÓN POBLANA	25
---	----

### **CAPÍTULO 4 ASPECTOS HISTÓRICOS DE LA NORMATIVIDAD PARA SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS**

4.1 NORMA OFICIAL EMERGENTE NOM-EM-138-ECOL-2002 AHORA PROYECTO PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, COMO OBJETO DE ESTUDIO	31
4.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA NORMATIVIDAD PARA SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS EN MÉXICO	34
4.3 NORMATIVIDAD DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS EN EL EXTRANJERO	35
4.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA NORMATIVIDAD PARA AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS EN MÉXICO Y EN EL EXTRANJERO	37

### **CAPÍTULO 5 TOXICOLOGÍA**

5.1 TOXICOLOGÍA AMBIENTAL	38
5.2 LA GASOLINA COMO MEZCLA DE COMPUESTOS TÓXICOS	43

<b>CAPÍTULO 6 METODOLOGÍA</b>	
6.1 OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA	49
6.2 ANÁLISIS DE BTEX EN SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA	56
6.3 NORMATIVIDAD	57
6.4 TOXICIDAD	58
<b>CAPÍTULO 7 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
7.1 RESULTADOS	59
7.1.1 BTEX en suelos	59
7.1.2 BTEX en agua	61
7.1.3 Toxicidad	62
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
7.2.1 BTEX en suelos	64
7.2.2 BTEX en agua	66
7.2.3 Toxicidad	68
<b>CONCLUSIONES</b>	70
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	72
<b>ANEXO</b>	76

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>Página</b>
I.1 Diferentes procesos que ocurren cuando existe un derrame o fuga de hidrocarburos del tipo de las gasolinas.	11
I.2 Diferencias entre la absorción y la adsorción	18
III.1 Esquema de la geología regional y sitio de fuga de gasolina por toma clandestina en el área próxima a la Capital de Puebla en el km 408 + 654 del poliducto Minatitlán - México.	28
III.2 Esquema de la geología regional y sitios de fuga de gasolina por toma clandestina en el área próxima a la Cd. de Huauchinango Puebla en el km 94 + 960 y 94 + 600 del poliducto Tuxpan - México.	29
III.3 Esquema de la geología regional y sitio de fuga de gasolina por toma clandestina a 45 kilómetros de la Cd. de Huauchinango Puebla en el km 31 + 500 del poliducto Tuxpan - México.	30
VI.1 Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio.	48
VI.2 Distribución de los puntos muestreados para suelos y agua en el área de fuga del poliducto Minatitlán–México en el km 408 + 654, Caso 1.	50
VI.3 Distribución de los puntos de muestreo de suelo y agua en el área de fuga en el km 94+960 del poliducto Tuxpan–México, Caso 2.	50
VI.4 Distribución de los puntos de muestreo de suelo y agua en el área de fuga del km 94+600 del poliducto Tuxpan–México, Caso 3.	51
VI.5 Distribución de los puntos de muestreo de agua y suelo en el área afectada de fuga en el km 31+500 del poliducto Tuxpan-México, Caso 4.	51
VI.6 Muestreador de gases del subsuelo.	52
VI.7 Toma de muestras de vapores del subsuelo	53
VI.8 Medición <i>in situ</i> de los COV's, donde se utiliza un analizador portátil con detector de fotoionización.	53
VI.9 Distribución de las concentraciones de COV's medidas <i>in situ</i> para el caso 1.	54
VI.10 Muestreador de suelos “Hand Auger”	55

## **LISTA DE TABLAS**

1.1 Características fisicoquímicas para BTEX y gasolina comercial.	18
2.1 Permeabilidad según la litología de los aportes.	20
4.1 Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo incluidos en PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003.	34
4.2 Criterios internacionales de restauración de suelos contaminados por hidrocarburos.	35
4.3 Criterios de restauración de suelos contaminados en tres estados de la Unión Americana.	36
4.4 Valores y referencias sobre la calidad de aguas freáticas.	37
4.5 Valores típicos y criterios de descontaminación para agua y su calidad, dependiente de su uso final.	37

5.1 Características de solubilidad y de permanencia para BTEX y gasolina comercial	<b>45</b>
5.2 Efectos producidos por BTEX en personas, según vía de exposición.	<b>46</b>
6.1 Frecuencias e intervalos de concentración de COV's obtenidas en la totalidad de los puntos evaluados en la zona que corresponde al caso 1.	<b>55</b>
7.1 Concentración de BTEX y HTP's en muestras de suelo para las cuatro áreas evaluadas.	<b>59</b>
7.2 Límites máximos permisibles de contaminación en suelo incluidos en la Norma Oficial Emergente NOM-EM-138-ECOL-2002.	<b>60</b>
7.3 Concentración de BTEX en muestras de agua para las cuatro áreas evaluadas.	<b>61</b>
7.4 Concentración efectiva EC50 en agua, a diferentes tiempos de exposición.	<b>62</b>
7.5 Diferentes resultados en diversos bioensayos y sus principales efectos tóxicos.	<b>63</b>

## **GLOSARIO**

Absorción.- Incorporación de un elemento acuoso dentro de la estructura física de un sólido.

Acuífero.- Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas.

Adsorción.- Fuerza de atracción de la superficie externa de una partícula sólida y un componente acuoso.

Agua de uso agrícola.- La utilización de agua nacional destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

Agua de uso doméstico.- Para los efectos del artículo 3o. fracción XI de la Ley de Aguas Nacionales, la utilización de agua nacional destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa.

Agua de uso industrial.- La utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aún en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

Agua de uso para conservación ecológica.- El caudal mínimo en una corriente o el volumen mínimo en cuerpos receptores o embalses, que deben conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

Análisis gasométricos.- Técnica confiable de evaluación de hidrocarburos en el subsuelo, se basa en la separación y cuantificación cromatográfica de los vapores orgánicos volátiles, lo cual brinda una alta sensibilidad en la obtención de resultados.

Arcilla.- Sedimento formado por partículas menores de 0.002 mm de diámetro equivalente que describe una clase de textura.

Arena.- Partícula de sedimento de 0.05 a 2.0 mm de diámetro que describe una clase de textural. Cualquiera de las 5 fracciones del separado del sedimento:

arena muy gruesa (2.0-1.0 mm), arena gruesa (1.0-0.5 mm), arena mediana (0.5-0.25 mm), arena fina (0.25--0.10 mm) y arena muy fina (0.10-0.05 mm).

Bioremediación.- Reducción de los contaminantes de naturaleza hidrocarburo por efecto de microorganismos existentes o adicionados al suelo a niveles autorizados por la legislación ambiental vigente, y con ello retornar este a su vocación natural.

Biota.- Todos los seres vivos; sean plantas o animales superiores o microorganismos.

Caracterización.-Determinación cualitativa o cuantitativa de la distribución de un parámetro.

Conductividad hidráulica.- Es la facilidad con que un fluido se mueve a través de un fluido poroso.

Contaminación.- La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que perjudique o resulte nocivo a la vida, la flora o la fauna o que degrade la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general.

Contaminante.- Toda aquella sustancia que altere, afecte y modifique las condiciones naturales de los recursos naturales y la salud humana.

Criterios de limpieza.- Concentración límite permisible de un compuesto contaminante en alguno de los elementos del ambiente: suelo, agua, ó aire. Representa el riesgo aceptable para un sitio restaurado.

Derrame.- Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vertimiento de hidrocarburos que se presente en el suelo.

Granulometría.- Medición del tamaño de las partículas clásticas, con el fin de correlacionar ambientes de depósito, agentes de transporte y procesos de depósito final.

Hidrocarburos.- Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.

Intersticios.- Espacio producido por el arreglo de las partículas porosas en una matriz granular de suelo.

Lixiviado.- Líquido proveniente de residuos, el cual se forma por reacción arrastre o percolación y que contiene disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

Límite máximo permisible.- Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido.

- Limo.- Sedimento formado por partículas de 0.05-0.002 mm de diámetro.
- Norma.- Regulación técnica expedida por las dependencias de la administración pública federal.
- Partes por millón (mg/kg ó mg/L).- Forma más común de reportar la concentración en un sólido o en líquido respectivamente.
- Peligro.- Propiedad inherente o intrínseca de las sustancias o agentes biológicos contenidos en los residuos que les dota de características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o infecciosas.
- Permeabilidad.- Capacidad de un medio granular o poroso para transmitir un fluido.
- Plasticidad.- Propiedad de un material que le permite ser moldeado en varias formas cuando se le moja, por aplicación de presiones.
- Poliducto.- Tubería de acero que transporta derivados del petróleo de una refinería a una terminal de almacenamiento y distribución de destilados del petróleo.
- Porosidad.- Es la relación que existe entre el volumen de espacios totales de una muestra y el volumen total de la muestra, en donde se define la propiedad que le confiere la presencia de poros, fisuras e intersticios.
- Restauración de suelos.- Conjunto de acciones necesarias para recuperar y restablecer sus condiciones, con el propósito de que este pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para el predio o zona respectiva. Para los propósitos de este trabajo, se utiliza el término de restauración como sinónimo de remediación, reversión, saneamiento, limpieza, rehabilitación y regeneración.
- Riesgo.- Probabilidad de que ocurra un efecto adverso a escala individual o poblacional por la exposición a una concentración dada o dosis de un agente peligroso.
- Saneamiento en el sitio (*in situ*).- Expresión utilizada para referirse a un proceso de saneamiento de suelos que se realiza en el propio lugar donde se encuentra el suelo contaminado, sin que se involucre la excavación del mismo.
- Sorción.- Es la atracción que existe entre un agente acuoso y la superficie de un sólido. En términos del agua subterránea, generalmente un compuesto orgánico es llamado sorbato, en tanto, el medio sólido generalmente el suelo, al cual el sorbato es atraído, es conocido como sorbente.
- Subsuelo.- Porción de tierra por debajo de la superficie terrestre integrada por diferentes capas o estratos.

Suelo.- Conjunto de materiales granulares con diferentes niveles de consolidación distribuidos en la superficie de la Tierra, son el resultado de los procesos de meteorización física y química de la masa rocosa.

Toma clandestina.- Son arreglos artesanales en ductos, que al no tener un diseño específico orientado al control de flujos tarde o temprano fallan permitiendo que los productos transportados por el ducto se liberen hacia el suelo circundante.

Textura.- Concentración en porcentaje de los elementos fundamentales que constituyen un suelo: arena, limo y arcilla.

Volatilidad.- Proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia en estado líquido a estado gaseoso.

Xenobiótico.- Es cualquier sustancia que no ha sido producida por la biota, tales como los productos industriales, drogas terapéuticas, aditivos de alimentos, compuestos inorgánicos, etc.

## ABREVIATURAS

<b>ADN</b>	Ácido Desoxiribonucleico
<b>ARPEL</b>	Asociación Recíproca Petrolera Latinoamericana
<b>BTEX</b>	Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos
<b>CDS</b>	Comisión del Desarrollo Sustentable
<b>CEB</b>	Center for Environmental Biotechnology
<b>CECCA</b>	Criterios Ecológicos para la Calidad del Agua
<b>CIC</b>	Coeficiente de Intercambio Catiónico
<b>COV's</b>	Compuestos Orgánicos Volátiles
<b>ECOL</b>	Ecológica
<b>EC50</b>	Concentración Efectiva en el 50% de la población
<b>EM</b>	Emergente
<b>EPA)</b>	Environmental Protection Agency
<b>FERRONALES</b>	Ferrocarriles Nacionales de México
<b>GC/PID</b>	Cromatografía de gases/Detector de fotoionización
<b>HP</b>	Hewlett Packard
<b>HTP's</b>	Hidrocarburos Totales del Petróleo
<b>IARC</b>	International Agency for Research on Cancer
<b>IMP</b>	Instituto Mexicano del Petróleo
<b>Koc</b>	Coeficiente de partición del carbón orgánico
<b>Kow</b>	Coeficiente de partición octanol/agua
<b>LC50</b>	Concentración Letal en el 50% de la población
<b>LGEEPA</b>	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
<b>NMX</b>	Norma mexicana
<b>NOM</b>	Norma Mexicana
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>PNMARN</b>	Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>PROFEPA</b>	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
<b>PROY</b>	Proyecto
<b>PVC</b>	Polivinilo de carbono
<b>SCFI</b>	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
<b>SEDUE</b>	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
<b>SEMARNAT</b>	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>TNRCC</b>	Texas Natural Resource Comisión Conservation

## **Resumen**

El presente estudio tiene el propósito de destacar la importancia del análisis de toxicidad del BTEX en agua que se relaciona con suelos afectados por derrames de hidrocarburos del tipo de las gasolinas. Se presentan las razones por las cuales los análisis de toxicidad deben ser consideradas en la normatividad mexicana y en particular en el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003. Se hace notoria la importancia de los elementos y procesos que influyen la dinámica de los suelos afectados por infiltraciones o por derrame y se analizó la normatividad nacional e internacional relacionada con la contaminación de suelos y acuíferos. Para lograr estos objetivos, se evaluaron muestras provenientes de cuatro sitios donde se derramó gasolina, se cuantificaron las concentraciones de hidrocarburos presentes en el suelo y en el acuífero; y se determinaron las concentraciones tóxicas para BTEX en agua. Los resultados obtenidos denotan la importancia que tiene el agua subterránea para ser considerada como un elemento estrechamente ligado al suelo que lo antecede en el perfil vertical. Los resultados muestran la importancia de incluir la medición de toxicidad a través de bioensayos. Dentro de los aspectos relevantes que aportó el bioensayo se tienen las concentraciones efectivas ( $EC_{50}$ ) para el BTEX, mismas que se relacionan directamente con lixiviados que se generan a partir de suelos que cumplen con los límites máximos permisibles en el proyecto de norma analizado.

## **Abstract**

The current study has the purpose of highlighting the importance of the BTEX toxicity analysis in water that is related with soils affected by spills of hydrocarbons, such as gasoline. The reasons why the toxicity analysis should be considered in the Mexican legal framework and in particular in the project of norm PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003 are presented. It becomes notorious the importance of the elements and processes that influence the dynamics of soils affected by infiltrations or by spills and the national and international legal framework related with the contamination of soils and aquifers. To achieve these objectives, samples from four places where a spill of gasoline occurred were evaluated, the concentrations of hydrocarbons present in soil and aquifer were quantified and the toxic concentrations were determined for BTEX in water. The obtained results denote the importance that the underground water has to be considered as a closely bound element to the soil that antecedent in the vertical profile. The results show the importance of including the toxicity measurement through bioassays. Besides the relevant information that the bioassays provided, there can be found the effective concentrations ( $EC_{50}$ ) for the BTEX, which are related directly with leached generated from soils that are within the permissible maximum limits including in the project of norm analyzed.

## INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre apareció sobre la faz de la Tierra ha arrojado a su entorno los desechos de sus actividades, a pesar de ello no podemos decir que la contaminación apareció al mismo tiempo, ya que esta sólo se produce cuando se incorporan sustancias o energía a un medio receptor y se genera un desequilibrio, ocasionando procesos de tipo negativo en los ecosistemas, condiciones que se presentan aún bajo condiciones naturales (por ejemplo actividad volcánica).

Los desechos generados vertiginosamente en los procesos productivos a raíz de la llamada Revolución Industrial, ocasionaron un importante cambio cualitativo y cuantitativo en un medio ambiente, el cual paulatinamente ha venido mostrando su incapacidad de absorber y degradar los desechos que recibe.

Fue a partir de los grandes avances científicos y tecnológicos durante el siglo XIX, que destaca la relación entre la sociedad y la naturaleza y donde esta última pasa a un segundo término, situada después de los objetivos económicos, olvidándose además de que el hombre también forma parte de la naturaleza.

De forma paralela el éxito en el campo médico trae como consecuencia una creciente población, la cual tiende a concentrarse formando las grandes urbes donde se crean “ecosistemas artificiales” y en donde además se requieren suministros de agua, combustible y materias primas, que serán transformados en aguas residuales, sustancias contaminantes, desechos sólidos, de productos elaborados y servicios (Leff, 1990).

Los adelantos en el terreno científico y tecnológico continúan hoy en día, parece ser que comienza una nueva etapa que conlleva a un avance mancomunado con el buen trato a la naturaleza y encaminado a un desarrollo sustentable, sin dejar a un lado la preocupación de reparar los daños ocasionados por avances y tecnologías ajenas.

En el párrafo precedente se abordó un concepto que se ha manejado hoy en día como una palabra de moda en los discursos políticos en el terreno del medio ambiente: “desarrollo sustentable” calificativo que surge en el contexto de la globalización, que a su vez se define como la marca de un límite y el signo que dirige el proceso de civilización de la humanidad y que tiene sus orígenes en los años sesentas con la Primavera Silenciosa de Rachel Carson y se enlaza con los años setenta posterior a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, realizada en Estocolmo Suecia en 1972.

Y es aquí donde son puntualizados los límites de la racionalidad económica y los retos generados por una degradación ambiental que va de la mano del proyecto de autocivilización de la humanidad. Por otro lado, la validación del desarrollo sustentable fue oficializándose y difundiendo a raíz de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que tuvo lugar en Río de Janeiro en el año de 1992 (Leff, 1998).

Como parte de los acuerdos tomados en dicha reunión se formó la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de Naciones Unidas, con base en los compromisos adoptados por los países signatarios del “Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable” o Agenda 21. Dentro de los principales acuerdos y tareas desarrolladas en la reunión de Río, se encuentran entre otras las tareas y compromisos asumidas por los países participantes, con la finalidad de revertir los efectos que degradan el medio ambiente de nuestro planeta.

En cumplimiento de lo anterior a nivel internacional y para nutrir paralelamente los compromisos a nivel nacional, México ha incorporado en el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, múltiples tareas, dentro de las cuales se incluyen cambios en la gestión ambiental, promoción y estimulación de la investigación científica y tecnológica encaminada a resolver problemas ambientales. Todo esto con la finalidad de contar con un marco normativo y de gestión ambiental caracterizados por su eficiencia, eficacia y transparencia (PNMARN, 2001).

A partir de lo anterior surge la principal motivación para la realización del presente trabajo que está orientado a proporcionar argumentos relacionados con la contaminación generada por derrames de hidrocarburos en un proceso que afecta un solo sistema integrado por tres componentes ambientales como son el suelo, el subsuelo y el acuífero.

Para ello se partió de los documentos normativos o regulatorios existentes en México dentro de los rubros que comprenden estos tres elementos ambientales mencionados en el párrafo anterior. Asimismo son retomados los principales procesos físicos y químicos que afectan estos tres elementos y se apuntalan con una prueba toxicológica para pronosticar si pudiera haber efectos en la salud de la gente que se sirve de estos componentes del ambiente.

El trabajo se ha estructurado en siete capítulos con la intención de que la distribución y elección de los temas proporcione al lector, un panorama completo de los motivos e intención que como objeto final tiene en el terreno ambiental esta tesis, a grosso modo el contenido de los capítulos es:

En el primer capítulo se mencionan los compromisos adquiridos por México a nivel nacional e internacional para bien del medio ambiente local y global, además se abordaran algunos aspectos que fungen como el origen de la contaminación por hidrocarburos en México, cómo se genera y de donde parte, así mismo, se tocarán aspectos fisicoquímicos que se presentan durante un derrame de hidrocarburos.

El capítulo 2 aborda aquellos aspectos físicos y químicos que tienen lugar en el suelo, y que sin duda junto con las características intrínsecas de éste juegan un papel importante en la dinámica de los contaminantes que están presentes e interactúan en él.

El capítulo 3 hace una descripción de las características geológicas, y geohidrológicas prevalecientes en las localidades estudiadas y que fueron afectadas.

Dentro del capítulo 4 se describe la génesis de la normatividad mexicana para el caso de suelos contaminados con hidrocarburos y de la normatividad existente para el uso de algunos cuerpos de agua a nivel nacional y a nivel internacional.

En el capítulo 5 se ven los elementos que motivan la cuantificación de la toxicidad de BTEX en el agua que recibe los lixiviados, resultado de la percolación de los suelos impactados con un derrame de gasolina, todo ello con la finalidad de aportar algunos aspectos con el suficiente peso específico para ser considerados dentro de la normatividad de suelos en México.

El capítulo 6 contiene las metodologías empleadas tanto en el campo analítico como en el normativo, de igual manera en este capítulo se describe el método toxicológico empleado.

En el séptimo y último de los capítulos se vierten los resultados, el análisis de estos y las conclusiones de esta tesis.

## **Objetivo general.**

Conocer a través de bioensayos toxicológicos, si las concentraciones de hidrocarburos que lixivian bajo ciertas condiciones a partir de un derrame de gasolina, representan un problema para los acuíferos y bajo qué especificaciones normativas, se consideran las posibles afectaciones de suelos y aguas subterráneas.

### **Objetivos particulares:**

Efectuar un análisis toxicológico en agua que contiene la mezcla BTEX a fin de establecer la concentración que afecta al 50 % de una población de organismos sometidos a un bioensayo de toxicidad aguda (concentración efectiva) EC50.

Relacionar los valores de toxicidad con las concentraciones de hidrocarburos establecidos en el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, con la finalidad de determinar, bajo qué condiciones los lixiviados que provienen de suelos contaminados con gasolina, presentan condiciones que aseguren la protección de los acuíferos.

Con base en los objetivos anteriores, establecer la potencialidad de que suelos con BTEX en concentraciones por debajo de los límites establecidos en el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, induzcan niveles de toxicidad en sus lixiviados, que representen condiciones de riesgo al agua subterránea y a la salud humana.

### **Hipótesis**

Los suelos contaminados con hidrocarburos provenientes de derrames del tipo de las gasolinas, que cumplen satisfactoriamente con los límites máximos permisibles especificados en el PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003 para BTEX, pueden generar lixiviados que en caso de llegar al manto freático, inducen condiciones de toxicidad en niveles potencialmente riesgosos para el acuífero y para la salud humana.

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1 COMO SE GENERA EL PROBLEMA

En este capítulo se hace mención de los compromisos adquiridos por México a nivel nacional e internacional, que en general consisten en revertir los efectos que degradan el medio ambiente en nuestro país y en nuestro planeta, así mismo, se abordaran algunos aspectos que han generado el problema de la contaminación del suelo y los acuíferos, como consecuencia del progreso tecnológico y las actividades industriales.

A través de la implementación del PNMARN México ha planteado algunos cambios para la gestión ambiental y se ha comprometido a la aplicación del conocimiento fresco en el terreno de la investigación científica y tecnológica con la finalidad de encontrar soluciones a los problemas de tipo ambiental, además de adoptar prácticas y políticas de producción y manejo de recursos naturales que cumplan con el desarrollo sustentable del país a nivel mundial.

Tras el intento de impulsar una mayor dinámica económica, México emplea tecnología y conocimiento para el mejor uso de sus recursos. Actividades que son llevadas a cabo por las grandes empresas que se desarrollan dentro del territorio nacional. Para abordar el objeto de estudio, este último estará referido a una de las empresas más grandes en el país, específicamente a Petróleos Mexicanos (PEMEX).

Aunque la empresa encargada en México de la exploración, explotación y refinación del petróleo es PEMEX, esta paraestatal no es responsable del 100% de los derrames de hidrocarburos y la contaminación de suelos y cuerpos de agua, para citar un ejemplo entre muchos eventos de contaminación ajeno a PEMEX se hace mención del derrame y contaminación del suelo provocado por FERRONALES (Ferrocarriles Nacionales de México), evento dado a conocer el 17 de enero de 1998 en el periódico La Jornada de la capital mexicana, donde se

menciona el derrame al ambiente de aproximadamente 28 mil litros de diesel en talleres ubicados en la capital de Aguascalientes. En adición a lo anterior se suman la operación y manejo de combustibles que derivan en pequeños derrames ocasionados en instalaciones de talleres y compañías de aviación y transportes.

Petróleos mexicanos siendo la empresa mexicana más grandes e importante del país y concedora de los compromisos del PNMARN, ha adoptado también el empleo de la tecnología y manejo del conocimiento más avanzado para lograr un desarrollo permanente donde exista un equilibrio entre el progreso económico, la calidad de vida de la población y la conservación del medio ambiente y los recursos naturales.

Por otro lado, PEMEX ha jugado un papel de extrema importancia desde su creación hasta la actualidad. Por ejemplo: en el año 2000 PEMEX aportó al Estado cerca del 37% de la recaudación fiscal, sus ventas se aproximaron a los 443,000 millones de pesos con una utilidad de operación de 279,000 millones de pesos. En términos productivos PEMEX figura hoy como la tercera corporación petrolera del mundo en cuanto a producción anual de crudo, en producción de gas aparece como la novena y en lo que toca a procesos de refinación, ocupa el undécimo lugar. En cifras redondas la producción diaria de crudo alcanza los 3'117,000 barriles de los cuales se procesan 1'540,000 barriles diarios y el resto se destina a la exportación (PEMEX, 2003). Se cuenta con una reserva aproximada en el año 2003, cercana a los 17 mil 196 millones de barriles de crudo (PEMEX, 2003) y se estima que la relación reserva-producción es superior a los 11 años noticia publicada en el periódico La Jornada 22 de junio de 2004.

La demanda de energéticos derivados del petróleo en el mercado nacional e internacional aumenta día con día, por lo tanto, el manejo de una creciente extracción de petróleo crudo y elaboración de sus productos refinados, en aras de un ansiado desarrollo, provocan que los factores de riesgo por derrames y accidentes se disparen, poniendo en peligro la integridad de los recursos naturales y la salud misma del hombre.

En México, PEMEX en todo su conjunto y a través de toda su historia ha sumado impactos sobre el ambiente, debido a los numerosos productos derivados del petróleo que a diario se están generando. Por esta razón no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los petroquímicos básicos (Saval, 1995).

La contaminación del suelo por hidrocarburos son eventos que se dan con cierta frecuencia en la mayoría de las instalaciones donde se desarrollan procesos de extracción, almacenamiento, refinación y distribución del petróleo y sus derivados, tanto dentro de la industria del petróleo como en el sector privado que almacena y consume estos productos, tanto en México como en cualquier parte del mundo. El derrame de los petrogénicos genera problemas de considerable magnitud en el subsuelo y aguas subterráneas, exacerbando las situaciones de inseguridad que se presentan cuando estos eventos se generan en la cercanía de zonas urbanas.

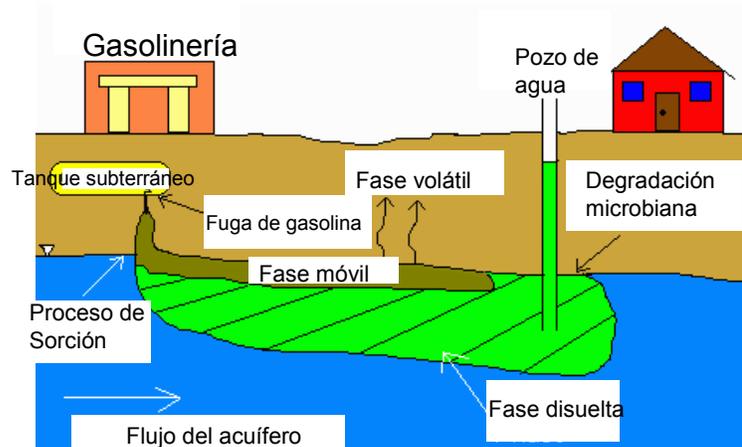
Hoy en día se manejan algunos números que involucran problemas de vertimiento y que han causado daños al ambiente, por ejemplo, el 86% de hidrocarburos líquidos derramados en tierra en el año 2001, se debieron a 403 derrames ocurridos en instalaciones de PEMEX Exploración y Producción. Del total de los derrames ocurridos en instalaciones de esta subsidiaria, el 89% corresponden a instalaciones en tierra (PEMEX, 2001).

Por su parte, PEMEX Refinación reporta que 3 derrames estuvieron relacionados con tomas clandestinas, tales eventos representaron el 56% del volumen derramado por esta subsidiaria, dos de los derrames ocurrieron en el denominado "Sector de Ductos de Minatitlán": el primero, de aproximadamente 14,500 barriles de crudo en el oleoducto de 30 pulgadas Nuevo Teapa - Poza Rica en el kilómetro 6 y el segundo, de 4,423 barriles de diesel, en el poliducto de 12 pulgadas Minatitlán - Villahermosa, en el kilómetro 102. El tercero fue un derrame de 5,371 barriles de gasolina en el denominado "Sector de Ductos Bajío" (PEMEX, 2001).

## 1.2 COMPORTAMIENTO DE UN DERRAME EN EL SUELO

Cuando se derraman hidrocarburos al ambiente, tienen lugar una serie de procesos fisicoquímicos, biológicos y geológicos que en conjunto juegan un papel de suma importancia para la dinámica de los contaminantes, por lo que la distribución y alcance tanto en el sentido horizontal como vertical dependerá siempre de la interacción del conjunto.

Para aterrizar la idea anterior tratemos entonces de construir conceptualmente una situación donde existe un derrame de hidrocarburos en el suelo. Una vez que ha ocurrido el derrame, los hidrocarburos comienzan su migración a favor de la gravedad (a través de la zona vadosa o no saturada), parte de los contaminantes son retenidos en el subsuelo, ocupando los espacios porosos; otra fracción se volatiliza y forma la fase gaseosa y escapan a la atmósfera (figura I.1), llegando a producir situaciones de alto riesgo por formación de vapores explosivos, daños a la vegetación, contaminación de suelo y desde luego daños potenciales a la salud humana (Ochoa et al., 2002).



Tomada de: Jesper y Jason, 1996

Figura I.1 Diferentes procesos que ocurren cuando existe un derrame o fuga de hidrocarburos del tipo de las gasolinas

Si el volumen que se ha vertido al suelo es muy grande, o bien es un proceso de contaminación crónico o de largo plazo, la fase líquida probablemente alcanzarán el acuífero y entonces una fracción se disolverá en el agua, como algunos hidrocarburos ligeros del tipo de las gasolinas que en general son menos densos que el agua (Saval, 1996), otra parte se acumulará encima del manto freático e iniciará su transporte siguiendo por lo general la dirección de flujo del manto freático.

Durante un derrame de hidrocarburos también tienen lugar procesos de reducción o atenuación natural, que ocurren como resultado de la dispersión, así como de las reacciones de tipo químico, biológico y procesos fisicoquímicos tales como la sorción (absorción y adsorción) y volatilización, las que de forma alternada movilizan e inmovilizan algunos componentes. Ahora bien, los procesos biológicos empiezan a degradar algunos componentes, para transformarlos en dióxido de carbono. Tales procesos biológicos transforman contaminantes de baja toxicidad (hidrocarburos cíclicos y alifáticos), en moléculas no tóxicas, como el dióxido de carbono y metano (Boulding, 1995). En este momento es necesario aclarar que aunque pudiera existir una autodepuración, esta es mínima y se requeriría de un periodo de tiempo muy largo para degradar todos los contaminantes presentes en el suelo (algunos autores manejan más de 100 años, dependiendo de las características de los suelos).

### 1.3 LOS BTEX COMO PARTE DE LOS HIDROCARBUROS LIGEROS DE LA GASOLINA

La complejidad y constituyentes de los hidrocarburos que se derraman en el suelo es muy variada y con características particulares, este trabajo incluye únicamente aquellos hidrocarburos del tipo de la gasolina, que por los efectos adversos a la salud humana y al ambiente, han sido un tópico de interés en los últimos años, en específico se abordará el benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX).

Hoy en día existen algunos métodos para diagnosticar la contaminación causada por hidrocarburos del tipo de las gasolinas, donde se incluyen análisis de sus componentes, tales como el BTEX (Saval, 1995), moléculas que son consideradas como prioritarias por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (Environmental Protection Agency, EPA, 1994), debido a sus características carcinogénicas, además de aparecer en el proyecto de norma como parámetros que tienen que ser evaluados cuando existen derrames de hidrocarburos del tipo de las gasolinas, siendo una característica distintiva de este tipo de combustibles.

Para el caso de México, estos compuestos son foco de atención dentro de los aspectos de salud y de conservación del medio ambiente; estos hidrocarburos se han incluido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (Diario Oficial de la Federación, 1997), en los Criterios Interinos de Restauración de Sitios Contaminados (Cancino, 1998) y en el reciente proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminación de suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración. Estas son sólo algunas razones por las cuales se han escogido a los BTEX como parámetros protagonistas del presente trabajo.

## 1.4 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LOS CONTAMINANTES

En México existen numerosas áreas afectadas por hidrocarburos dentro de las instalaciones petroleras y fuera de estas. Pese a que se están llevando a cabo esfuerzos para evaluar y restaurar las áreas contaminadas, se requiere desarrollar la base de conocimiento que ayude a entender de manera detallada los procesos y la forma en que los contaminantes se dispersan en el suelo, o bien como se incorporan a la atmósfera o al agua subterránea.

El suelo constituye un recurso natural que proporciona el soporte mecánico así como el aporte de nutrientes para el crecimiento de las plantas y microorganismos. La matriz del suelo está formada en términos generales por cinco componentes: minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos vivos. Los minerales son los principales componentes texturales y constituyen más del 50% del volumen total del suelo. El aire y el agua ocupan el volumen de los espacios, y usualmente conforman de 25 a 50% del volumen total. El material orgánico ocupa entre el 3 y el 6% del volumen promedio, mientras que los organismos vivos constituyen menos del 1% (Eweis *et al.*, 1998).

El comportamiento de un contaminante en el suelo está determinado por una variedad de factores que se interrelacionan de manera compleja y que dependen de las características del contaminante vertido, como de la naturaleza y propiedades específicas del suelo que lo recibe. Dentro de los factores más importantes a considerar se encuentran los siguientes: procesos químicos (reacciones de hidrólisis, oxidación, reducción, fotólisis), procesos físicos o de transporte (sorción, advección, dispersión, difusión, volatilización y solubilización) y procesos biológicos (biodegradación, biotransformación y toxicidad), todos ellos afectan de manera dinámica la forma en que los hidrocarburos se dispersan y gradualmente se eliminan o degradan (Eweis *et al.*, 1998).

A continuación se describen algunas de las características fisicoquímicas más importantes a determinar en un contaminante y de los suelos que los contienen,

en la tabla I.1 se presentan valores de algunas de estas variables para el caso de los hidrocarburos aromáticos BTEX.

#### 1.4.1 Ley de Henry (*H*)

Esta ley describe el grado de solubilidad que posee un gas para disolverse en un líquido. Al disolverse una sustancia en el agua existe una pequeña porción de esa sustancia en estado gaseoso en el aire o poros del subsuelo, inmediatamente superior a la superficie del agua. En condiciones de equilibrio, a medida que las moléculas del gas se incorporan al agua, un número equivalente de las moléculas de la sustancia abandonan el estado líquido y se transforman en vapor (LaGreca *et al.*, 1998). La constante de Henry puede considerarse como una unidad de volatilidad, es decir, cuando  $H$  es mayor a la unidad ( $H > 1$ ), el compuesto se incorpora principalmente a la atmósfera y cuando  $H$  es menor a la unidad ( $H < 1$ ), el compuesto en su mayoría, estará disuelto en agua. En un derrame de gasolina y para efecto de este estudio se puede decir que los hidrocarburos ligeros tales como el BTEX se incorporarán principalmente en el seno acuoso, ya que presentan valores por debajo de la unidad según la constante de Henry.

#### 1.4.2 Coeficiente de partición de carbono orgánico (*K<sub>oc</sub>*)

Como parte de la interacción entre los contaminantes derramados y el suelo que los contiene, cabe destacar la importancia de los llamados coeficientes de reparto o coeficientes de partición, que son constantes empíricas que describen la forma en que se distribuye un contaminante en dos medios de diferente naturaleza. A continuación se describirán algunos de estos coeficientes.

El coeficiente de partición (suelo/agua) del carbono orgánico ( $K_{oc}$ ) o coeficiente de partición suelo / agua, es la medida con que un compuesto orgánico es absorbido por los componentes del suelo. El coeficiente  $K_{oc}$  es particular para cada contaminante y no depende de las propiedades del suelo (ATSDR, In: López, 2002), los valores que corresponden a este parámetro en el caso de los BTEX se encuentran en la tabla 1.1.

### 1.4.3 Coeficiente de partición octanol/agua ( $K_{ow}$ )

En suma con lo anterior, otro aspecto que se debe considerar en los patrones dinámicos del contaminante es el coeficiente de partición octanol/agua ( $K_{ow}$ ); este indica la afinidad de una molécula para interactuar con la fase orgánica o con la fase acuosa del suelo. Los compuestos con valores bajos de  $K_{ow}$  se consideran relativamente afines a la fase acuosa del suelo, mientras que los que tienen un  $K_{ow}$  alto son considerados totalmente afines a la fase orgánica y tienden a acumularse en superficies con alto contenido de materia orgánica y en algunos órganos de algunos organismos acuáticos (Van Deuren *et al.*, 1997).

### 1.4.4 Degradabilidad, solubilidad, volatilidad y concentración de un contaminante

Cada contaminante posee características únicas que determinan el grado de combinación de ellos y que a su vez controlan su movimiento y degradabilidad en el medio y su estructura química determina la polaridad, solubilidad, volatilidad y capacidad para reaccionar con otras sustancias. Algunos contaminantes son altamente resistentes a la transformación, mientras que otros son completamente reactivos química o bioquímicamente hablando (Alexander, 1994; Sellers, 1999).

En relación a lo anterior, la liberación de contaminantes tóxicos a un suelo implica, entre muchos otros problemas, que no son fácilmente degradados por los microorganismos presentes en el suelo, es decir, son de lenta biodegradación. Si el contaminante como tal no es tóxico, algunos de sus componentes pueden ser tóxicos o inhibitorios para ciertos microorganismos, retardando o impidiendo la biodegradación de otros contaminantes degradables (Alexander, 1994).

Otro aspecto que se debe considerar cuando se vierten contaminantes al suelo es la solubilidad, que se define como la cantidad de un contaminante que puede disolverse en agua, es decir, define la disponibilidad potencial de los compuestos en la fase líquida. La solubilidad disminuye al aumentar el tamaño de la molécula. Los compuestos denominados polares son más solubles que los no polares. Para que la biodegradación de un contaminante se lleve a cabo, es necesario que éste

se encuentre en solución, por lo tanto la biodegradabilidad de un contaminante depende de su solubilidad (Eweis *et al.*, 1998).

Aún en el suelo, los contaminantes siguen presentando propiedades físicas que están en función también de la temperatura y solubilidad, por ejemplo la volatilización. Tal es el proceso en el que un contaminante se mueve de una fase líquida a la gaseosa. La velocidad de volatilización de un contaminante en el suelo, esta en función de su concentración, su presión de vapor y su solubilidad. Depende del tipo de contaminante, contenido de humedad, temperatura y porosidad del suelo, contenido de materia orgánica y de arcillas (Eweis *et al.*, 1998).

#### 1.4.5 Sorción

Los contaminantes en el suelo están sometidos a mecanismos de sorción, estos incluyen la adsorción, que es la atracción de un contaminante hacia una superficie sólida, y la absorción, que es la penetración de un contaminante en un sólido (figura 1.2). La sorción de un contaminante tiene un gran impacto en su degradación y depende de las propiedades del contaminante y del suelo. La adsorción afecta la volatilización y difusión del contaminante (y por consiguiente su transporte y destino), así como su disponibilidad para los microorganismos (Alexander, 1994 y Riser-Roberts, 1998).

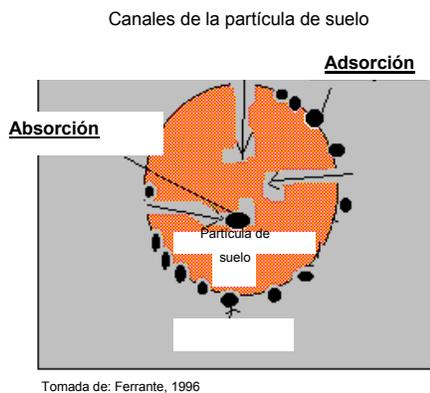


Figura I.2 Diferencias entre la absorción y la adsorción

A manera de cuadro comparativo para algunas de las propiedades descritas anteriormente y para el caso de los hidrocarburos que nos ocupan, a continuación se presenta la siguiente tabla.

**Tabla 1.1** Características fisicoquímicas para BTEX y gasolina comercial.

Contaminante	Peso molecular (g/mol)	Solubilidad en agua a 25°C (mg/L)	Constante de Henry a 25°C	Coef. de carbono orgánico (ml/g)	Coef. De partición octanol-agua	Coef. De difusión en aire (cm <sup>2</sup> /dia)
<b>Benceno</b>	78	1,780	0.0055	83	140	7,460
<b>Tolueno</b>	92	490-627	0.0677	150	490	6,570
<b>Etilbenceno</b>	106	152-208	0.0087	260	1,400	6,333
<b>Xilenos</b>	106	162-200	0.0063	1,580	1,412-1,585	5,980

Fuente: Davis, 1997 y Heath, 1993.

## CAPÍTULO 2

### ASPECTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LOS SUELOS Y DINÁMICA DE LOS CONTAMINANTES

#### 2.1 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DEL SUELO

En el capítulo anterior se describen algunos parámetros que no deben pasarse por alto cuando se quiere inferir la situación que prevalece cuando ocurre un derrame de hidrocarburos en el suelo. Los parámetros abordados se refieren a la relación que de primera instancia depende de la naturaleza de los contaminantes, ahora en este capítulo se destaca la importancia implícita en las características propias del suelo, estas determinarán la movilidad, permanencia o inmovilidad de los agentes contaminantes presentes en las partículas que conforman el suelo.

A continuación se enuncian las propiedades físicas y químicas del suelo que se consideran relevantes.

##### 2.1.1 *Tamaño de partícula*

Los suelos se clasifican en función del tamaño de su partícula, siendo sus tres principales componentes las arcillas (< 0.002 mm), los limos (0.002 – 0.05 mm) y las arenas (0.05–2.0 mm). Cabe destacar la importancia de esta condición, ya que la relación área/volumen de los diferentes tipos de partícula, tienen un impacto directo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En general los materiales no consolidados (arenas y gravas finas) son más fáciles de restaurar (Van Deuren et al., 1997 y Eweis *et al.*, 1998).

El suelo está compuesto de partículas minerales de diferente tamaño, situación que determina algunas propiedades físicas y químicas, como son: humedad, agregación, plasticidad, cohesión, retención de nutrientes, etc. En adición a esto es importante destacar algunas propiedades de los contenidos de partículas minerales menores a 2mm, ya que determinan y restringen los movimientos de los contaminantes. Por ejemplo, la presencia de materiales finos, como las arcillas, hacen que la permeabilidad del suelo disminuya. La textura se determina

por el porcentaje de los tamaños de las partículas que conforman el suelo (Reyes, 1996).

### 2.1.2 Permeabilidad y porosidad

Cuando hablamos de permeabilidad nos referimos a la facilidad o dificultad con la que un líquido puede fluir a través de un medio. En general una baja permeabilidad en el suelo disminuye la efectividad de la mayoría de las tecnologías de remediación (Volke, 2002) y por otro lado no permite que el contaminante se desplace con rapidez. En la tabla 2.1 se presentan algunos valores de permeabilidad y el tipo de litología con la que se asocian.

**Tabla 2.1-** Permeabilidad según la litología de los aportes.

Clase de suelo	Permeabilidad m/seg	Tipo	Clase de acuífero	Clase de permeabilidad	Litología
1	$3 \times 10^{-3}$	acuífero	Muy bueno	muy alta	grava limpia
2	$7 \times 10^{-3}$		Muy bueno	muy alta	grava
3	$1 \times 10^{-4}$		bueno	Alta	arena limpia - grava y arena
4	$5 \times 10^{-4}$		regular	Media	arena fina
5	$9 \times 10^{-5}$		pobre	Baja	arena fina - arena limosa
6	$5 \times 10^{-5}$		pobre	Baja	limo arenoso - limo arcilloso
7	$2 \times 10^{-5}$		Muy pobre	muy baja	arcilla arenosa
8	$7 \times 10^{-6}$		Muy pobre	muy baja	arcilla
9	$7 \times 10^{-7}$		Impermeable	Prácticamente impermeable	arcilla compacta
10	$< 10^{-7}$	acuícludo	Impermeable	Prácticamente impermeable	arcilla, pizarra, granito

Fuente: Custodio y Llamas, 1976

Íntimamente relacionada con la aireación del suelo la porosidad es indispensable para la absorción activa del agua. Es una manera directa de medir el volumen que no está ocupada por el material sólido, es decir, es la parte del suelo ocupada por aire o por agua. Su cantidad está determinada, en gran parte, por el arreglo de las partículas sólidas o su estructura (Reyes, 1996).

### 2.1.3 *pH*

El pH es uno de los parámetros ligados a la determinación del grado de adsorción de iones por las partículas del suelo, afectando así su solubilidad, movilidad, disponibilidad y formas iónicas de un contaminante y otros constituyentes del suelo (Alexander, 1994). La solubilidad de muchos contaminantes inorgánicos cambia en función del pH y normalmente su movilidad disminuye con valores altos de pH.

### 2.1.4 *Materia Orgánica*

La fracción orgánica de los suelos está constituida por desechos vegetales y animales, que generalmente se le conoce como humus. Un suelo con alto contenido húmico, disminuye la movilidad de los contaminantes orgánicos (Volke, 2002).

### 2.1.5 *Humedad*

La dinámica del movimiento del agua en el suelo esta determinado por la influencia de la gravedad, la fuerza de la capilaridad y los gradientes de temperatura. La textura y el contenido de materia orgánica, son propiedades que están relacionadas íntimamente con la retención de humedad en el suelo.

### 2.1.6 *Densidad*

Los procesos que determinan la migración de un contaminante inmiscible depende de su densidad. La densidad determina la tendencia de la fase inmiscible a flotar o sumergirse en la superficie del suelo, y por consiguiente el lugar donde éste quedará concentrado (Bower y Zehnder, 1993).

### *2.1.7 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)*

Propiedad que esta basada en la cantidad de cationes que pueden ser adsorbidos o retenidos a un pH dado por unidad de peso del suelo. Los coloides del suelo (arcillas y materia orgánica principalmente), muestran en la superficie cargas negativas, por lo que pueden adsorberse a ellas cationes (nutrientes o contaminantes). La adsorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación subsecuente de uno o más iones retenidos por el núcleo se denomina intercambio catiónico

## 2.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Entre las variables a considerar para predecir o explicar la dinámica de los contaminantes presentes en el suelo y los factores que los están influenciando, figuran:

### 2.2.1 *Advección*

En los acuíferos de materiales muy porosos como arenas y gravas, la migración de los contaminantes esta determinada por la advección, proceso en el que los contaminantes se mueven de manera similar al flujo del agua subterránea y es el factor predominante en la migración de un contaminante en un medio poroso saturado.

### 2.2.2 *Dispersión*

Proceso de mezclado originado por variaciones en la velocidad de flujo en un medio poroso (entre el centro y las paredes del poro) resultando en la dilución del soluto y el avance del frente contaminante. La variable más importante para este mecanismo es la conductividad hidráulica (LaGreca et al., 1998)

### 2.2.3 *Difusión*

La velocidad de movimiento de un contaminante a través del suelo, es proporcional a su concentración y a su coeficiente de difusión. El movimiento de un contaminante hacia dentro y fuera de los poros del suelo controla su degradación. Por lo que, la manera en que los contaminantes se difunden, representa uno de los procesos que compite más efectivamente con los microorganismos por el sustrato (Alexander, 1994 y Riser-Roberts 1998).

#### 2.2.4 Biodegradación

Dentro de los factores bióticos que se pueden mencionar como componentes del suelo, se encuentran los microorganismos, estos son los responsables de la biodegradación, que es la susceptibilidad de un compuesto para ser transformado a través de mecanismos biológicos. Los contaminantes orgánicos metabolizables, compuestos tóxicos y los no tóxicos, normalmente son oxidados rápidamente por los microorganismos (Eweis *et al.*, 1998).

## **CAPÍTULO 3**

### **ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

Enfrentarse a un problema de contaminación generado por un derrame de hidrocarburos que invade el suelo y subsuelo distribuyéndose bajo nuestros pies sin que podamos verlo, ha resultado todo un reto en el campo del diagnóstico ambiental. En el caso de México esta tarea se remonta a poco más de una década, en donde a lo largo de esos años se ha aprendido y madurado en las formas y metodologías desarrolladas por otros países para aplicarlas en problemas añejos y recientes.

La interacción de las características de los contaminantes y las características del suelo, sumadas a las condiciones climáticas de una región, darán como resultado procesos particulares de transporte y distribución en el acuífero. Para tener un acercamiento real del comportamiento del transporte y destino de los agentes que desencadenan la contaminación en el suelo y subsuelo, se debe tener una buena caracterización del sitio, en la cual se incluyen aspectos geológicos y geohidrológicos, en ellos se evalúan los aportes hidrológicos, litología y estratigrafía, para dar como resultado el proceso dinámico que tendrá el acuífero.

Para efectos de este trabajo cabe señalar que los procesos que regulan la infiltración, volatilidad, sorción y dilución entre otros (capítulos 1 y 2), dependen de la combinación de las propiedades del contaminante y del suelo, propiedades dadas a este último, por su litología.

Los aspectos tratados en este capítulo pretenden proporcionar las herramientas necesarias para dar respuesta al comportamiento de los lixiviados que se generan como parte de un derrame de hidrocarburos y las posibilidades de que estos lleguen a presentarse o no en el acuífero, sí esta última posibilidad siempre fuera una constante, es decir, los lixiviados que se generan en un derrame, nunca se presentan en el acuífero, independientemente de las condiciones litológicas

del lugar, entonces la normatividad vigente para suelos impactados por derrames de hidrocarburos no tendría en ningún momento por que mencionar la situación que guarda el agua subterránea con respecto al suelo y esto precisamente, es uno de los motivos de la realización de este trabajo, ya que el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003 aplica indistintamente en todo el territorio mexicano y por tanto, para todo tipo de suelos y litología nacional.

Las actividades realizadas en este trabajo estuvieron basadas en algunos proyectos de evaluación de la contaminación por hidrocarburos en el suelo y subsuelo llevados a cabo por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), entre los meses de julio y octubre del año 2002. Las áreas elegidas pertenecen al estado de Puebla, donde además de haberse presentado derrames ocasionados por el descontrol de tomas clandestinas, este correspondió en los cuatro casos a fugas de hidrocarburos del tipo de las gasolinas, sin embargo, se trata de eventos independientes y que ocupan situaciones ambientales diferentes, por ejemplo:

La primer localidad evaluada y que para efectos de manejo de información denominaremos a partir de este momento caso 1, se encuentra en las proximidades de la capital de Puebla y corresponde a un área agrícola por donde pasa el poliducto Minatitlán-México, mismo que presentó una rotura a la altura del Km. 408+654. La segunda y tercera de las áreas estudiadas y que fueron afectadas por este tipo de hidrocarburos se localizan en las proximidades de Huauchinango, Puebla, los sitios se encuentran ubicados en los kilómetros 94+990, y 94+600 del poliducto de 18 pulgadas México-Tuxpan, enclavados en un bosque mesófilo de montaña y que para efectos prácticos denominaremos caso 2 y caso 3 respectivamente. Finalmente, la cuarta y última de las zonas que abarca este trabajo de tesis, se ubica en la porción Noroeste del Estado de Puebla a 45 kilómetros de la ciudad de Huauchinango. El punto de derrame originado por la toma clandestina se ubica en el kilómetro 31+500 del poliducto de 18" México-Tuxpan en una porción de terreno que corresponde a una planicie, y que para los mismos fines que las áreas anteriores denominaremos como caso 4. A continuación se describen las características geológicas regionales del

estado de Puebla, así como las condiciones geohidrológicas para cada una de las áreas estudiadas.

#### Geología Regional del Estado de Puebla.

La región poblana donde se ha desarrollado este estudio presenta la siguiente descripción geológica:

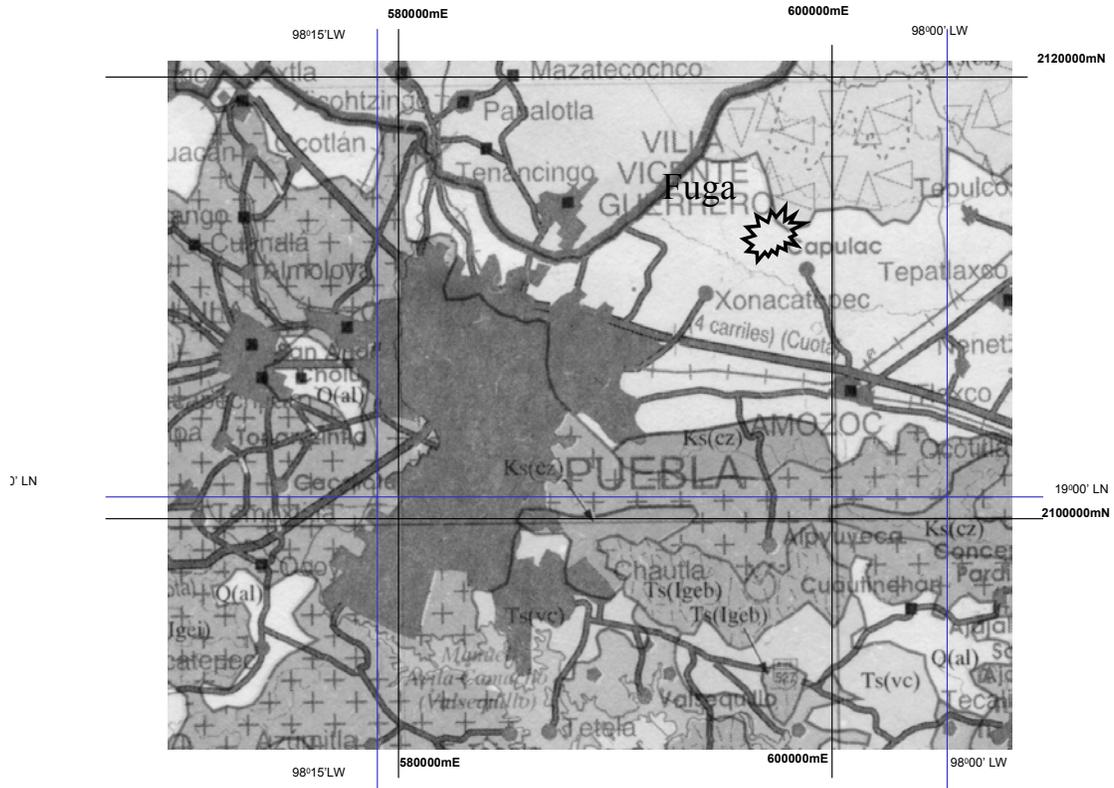
Dentro de las unidades litológicas descritas para esta región se encuentran las rocas ígneas extrusivas, donde se tienen tobas de diferente granulometría, desde arcillosas hasta arenosas, así como aglomerados y brechas ígneas de tipo andesítico y basáltico. En menor grado, afloran coladas de lava de la misma naturaleza. Se presentan también unidades de rocas sedimentarias, y de rocas calizas en estratos gruesos. Dichas unidades litológicas, constituyen las porciones topográficamente elevadas (cerros y lomas). Hacia los cauces y los valles, se tienen materiales aluviales, producto del proceso de erosión y arrastre de los fragmentos de rocas localizadas en las partes altas. La granulometría de estos materiales aluviales va desde los finos (limos y arcillas), hasta materiales gruesos del tamaño de los boleos. Como cobertura superficial, en algunas zonas, se observan suelos vegetales que son utilizados para la agricultura.

#### Geohidrología:

Constituida por dos unidades para el caso 1 donde la primera de ellas esta compuesta por tobas limo-arenosas, con permeabilidad media y un espesor de aproximadamente 3 metros, en tanto que la segunda unidad presenta tobas arcillo-limosas, con permeabilidad de baja a nula, su plano de localización se puede observar en la figura III.1.

Para las áreas evaluadas del caso 2 y 3 que por su cercanía comparten características geológicas, se mencionan las dos unidades más recientes y que les confieren sus características de permeabilidad. Para estos dos casos la unidad más reciente es la del Cenozóico Cuaternario Volcánico, donde en la mayor parte de la zona se encuentran rocas andesitas, basaltos, traquitas, riolitas

y tobas. El poder de formación de acuíferos a partir de estas rocas, está en función de la porosidad y del fracturamiento que pudieran presentar, confiriendo

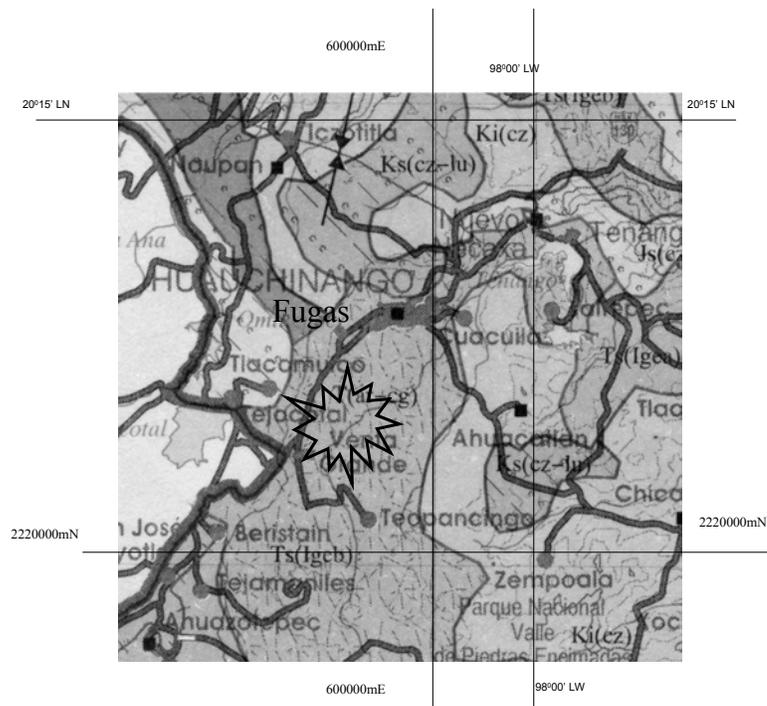


**Figura III.1** Esquema de la geología regional y sitio de fuga de gasolina por toma clandestina en el área próxima a la Capital de Puebla en el km 408 + 654 del poliducto Minatitlán - México.

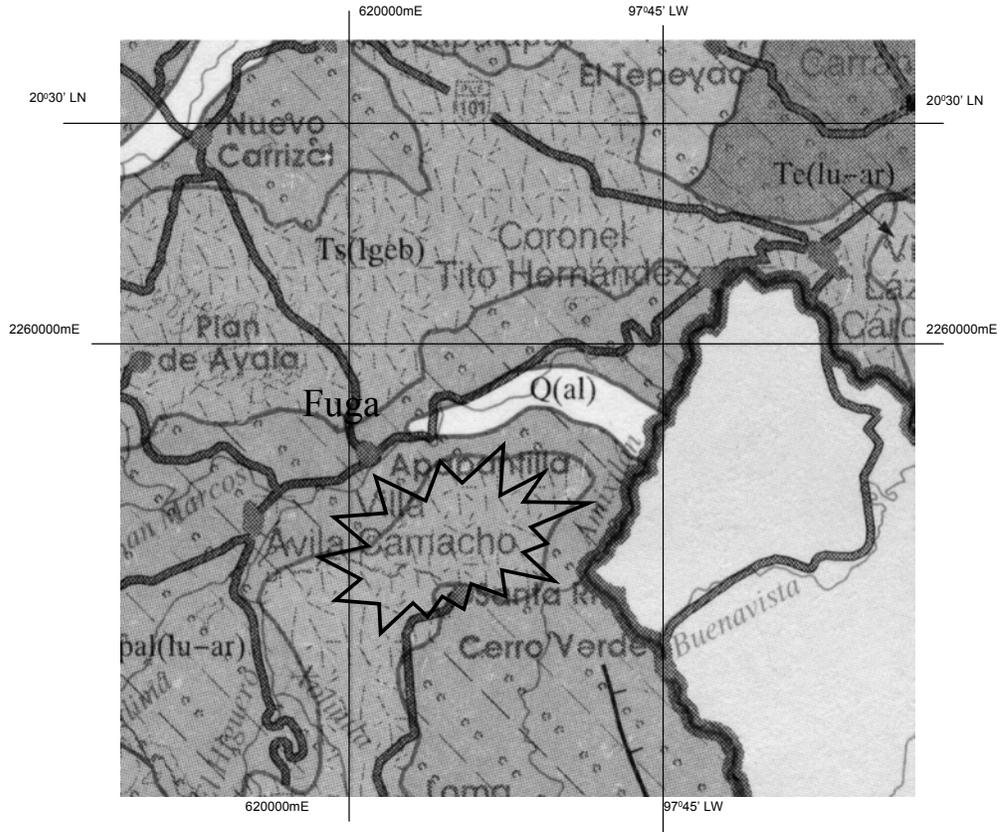
en general al suelo una permeabilidad media. Es muy probable que las partes permeables existentes en este paquete volcánico reciban aportes de agua proveniente de las porciones topográficas más altas. La segunda unidad correspondiente al Cenozoico Terciario en particular al Eoceno y esta constituida por granitos, tonalitas, piroxenitas y pórfidos dioríticos. Este paquete volcánico presenta características de impermeabilidad (figura III.2).

En el caso 4 y última localidad las unidades litológicas más recientes comprenden periodos que se ubican en el Cuaternario y pertenecen al Pleistoceno, caracterizado por presentarse depósitos aluviales. Estas unidades están representadas en los márgenes del río denominado Río San Marcos y donde los

sedimentos más antiguos tienen poco relieve. Son resultado de la erosión y depósito de ríos y arroyos, los sedimentos están formados por granos de rocas ígneas y rara vez de areniscas o calizas, así como de arenas, limos y arcillas. Su espesor alcanza hasta los 40 m. Por ser considerados no consolidados y heterogéneos presentan una buena circulación de agua a través de ellos, característica que les confiere ser formadores de acuíferos. La unidad litológica que se encuentra por debajo de la anterior, corresponde al Terciario superior-Cuaternario y se compone de rocas ígneas extrusivas como andesitas, basaltos, traquitas, riolitas y tobas. Estos derrames lávicos y piroclastos, testifican el último período de actividad volcánica, registrado en el Terciario Superior, con emisiones de andesitas y depósitos de grandes cantidades de tobas de la misma naturaleza, por sus características estos paquetes son impermeables (ver figura III.3).



**Figura III.2** Esquema de la geología regional y sitios de fuga de gasolina por toma clandestina en el área próxima a la Cd. de Huauchinango Puebla en el km 94 + 960 y 94 + 600 del poliducto Tuxpan - México.



**Figura III.3** Esquema de la geología regional y sitio de fuga de gasolina por toma clandestina a 45 kilómetros de la Cd. de Huauchinango Puebla en el km 31 + 500 del poliducto Tuxpan - México.

## **CAPÍTULO 4**

### **ASPECTOS HISTORICOS DE LA NORMATIVIDAD PARA SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS.**

La intención que tiene el presente capítulo, es la de abordar a manera de reseña los eventos que anteceden y que han girado en torno a la publicación del primer documento normativo en materia de contaminación por hidrocarburos en México. Aquellos aspectos que han sido importantes en el sentido interdisciplinario y en el aspecto evolutivo que tienen cristalizado hasta el día de hoy un documento oficial que no debe quedar exento de nuevos aportes y mejoras.

El 22 de abril del año de 1992, en la Ciudad de Guadalajara Jalisco, México, se suscitó un accidente de gran magnitud, en donde hubo pérdidas humanas y materiales, todo esto originado por la explosión del colector central de aguas del drenaje urbano, debido a la mezcla de hidrocarburos ligeros además de oxígeno; tales energéticos se infiltraron al drenaje urbano a través de fisuras o fracturas del mismo.

A raíz de lo acontecido, se formó un comité técnico colegiado que abordó el problema y emitió los primeros lineamientos de limpieza para liberar la zona donde se cree, el evento tuvo su origen, dicho comité estuvo integrado por especialistas de diferentes áreas (SEDUE, FERRONALES, Municipio, Bomberos, Protección Civil, e IMP entre otros), al mismo tiempo, otros grupos ambientales empezaron su carrera en el campo del diagnóstico de suelos contaminados por hidrocarburos.

Es aquí cuando se ve la necesidad de proveer un marco legal en la protección y contaminación del suelo y debido a la ausencia de normatividad nacional en este rubro, se consideraron algunos criterios de limpieza y normatividad existentes en los países vecinos del norte (Estados Unidos y Canadá). Más tarde con base en

los términos previstos de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos y en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), se definieron aspectos de relevancia, a través del Grupo de Trabajo sobre Restauración de Suelos Contaminados (conformado por especialistas de PROFEPA), que gestionó una guía de evaluación de daños ambientales y propuestas de restauración donde se destaca:

1. Acciones de contención, evaluación y restauración de los suelos contaminados.
2. Decisión de evaluar propuestas de restauración.
3. Criterios de muestreo de suelo.
4. Evaluación de técnicas y productos comerciales, para destruir o transformar los contaminantes presentes en los suelos.

Finalmente, con base en los procedimientos elaborados por el Grupo Interno de Trabajo de la SEMARNAT y la PROFEPA, donde se establecen los criterios de limpieza de suelos contaminados por sustancias provenientes de la industria petrolera, marcan el antecedente, a partir del cual derivó la Norma Oficial de Emergencia NOM-EM-138-ECOL-2002 hoy denominada proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003.

#### 4.1 NORMA OFICIAL NOM-EM138-ECOL-2002 AHORA PROYECTO DE NORMA PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, COMO OBJETO DE ESTUDIO

En el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006 el gobierno Federal adquiere a nivel nacional e internacional compromisos diversos entre los que se consideran cambios y mejoras a la gestión ambiental, así mismo, se compromete a cumplir los compromisos adquiridos por los países signatarios del “Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable” o Agenda 21.

Con base en lo anterior, se tomó como punto de partida, la Norma Oficial de Emergencia NOM-EM-138-ECOL-2002, en la cual son referidos valores máximos permisibles para los parámetros que conforman el BTEX en suelo en el caso de un derrame por combustibles del tipo de las gasolinas.

Otra inquietud y quizás el principal motor de este trabajo, se origina por que en dicha norma no se menciona, si existe algún riesgo de contaminación del acuífero relacionado con los suelos en donde se pretende aplicar este documento normativo, o bien si las concentraciones propuestas como máximos permisibles no representan problemas de salud al hombre y al medio ambiente una vez que interaccionen con el agua subterránea.

Si bien la norma originalmente se refería de manera general, a la situación que prevalece en el acuífero bajo las condiciones descritas en el apartado 8.4.1 donde se menciona, que el sitio podrá ser liberado, siempre y cuando, no haya contaminación de agua superficial, subterránea o sedimentos (ver anexo), nunca se manejan límites o no se hace referencia a la normatividad nacional o internacional, en materia de agua subterránea, situación que con el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, no se aclara o ya ni siquiera se menciona.

En consecuencia se pudiera liberar un sitio, cuyo suelo presentara condiciones aceptables en términos de los límites establecidos en la norma e ignorando de manera simultánea, los posibles efectos al acuífero. Tal situación podría acarrear problemas a futuro, si la calidad del agua subterránea resultara afectada.

Con esto se pretende destacar la importancia que tiene la relación suelo-acuífero, ya que durante un evento de contaminación donde de primera instancia es afectado el elemento suelo, tarde o temprano la contaminación se reflejará en el elemento agua, por lo que, aquí se hace patente la necesidad de reconsiderar los parámetros para dictaminar si el suelo de un sitio no representa problemas a la salud, al medio ambiente, y en un futuro al acuífero.

#### 4.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA NORMATIVIDAD PARA SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS EN MÉXICO

Como fue tratado en líneas precedentes la normatividad de suelos contaminados con hidrocarburos en nuestro país es relativamente nueva, pues es hasta apenas el día 2 de agosto de 2002 cuando aparece publicada la Norma Oficial de Emergencia NOM-EM-138-ECOL-2002, en la que se establecen los límites máximos permisibles de contaminación de suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración. Dicha norma tiene como antecedente los llamados criterios interinos de limpieza de sitios contaminados, emitidos por el grupo de trabajo sobre restauración de sitios contaminados con materiales y residuos peligrosos el cual fue gestionado por la PROFEPA.

Los valores que el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003 considera como límites máximos permisibles están contenidos en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo incluidos en PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003.

Hidrocarburos específicos	Uso de suelo predominante <sup>1</sup> (mg/kg (ppm) base seca)		
	Agrícola <sup>2</sup>	Residencial <sup>3</sup>	Industrial
Benceno	6	6	15
Tolueno	40	40	100
Etilbenceno	10	10	25
Xilenos (suma de isómeros)	40	40	100

Modificado por el autor, fuente original: PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003.

1 Para uso de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados.

2 Agrícola incluye suelo forestal, recreativo y de conservación.

3 Residencial incluye comercial.

### 4.3 NORMATIVIDAD DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS EN EL EXTRANJERO

Los valores que se toman como límites máximos permisibles son adoptados como criterios de limpieza, en relación con el uso final de suelo, por ejemplo: es el caso de América Latina a través de ARPEL (Asociación Recíproca Petrolera Latinoamericana) y algunos países europeos como Holanda y Alemania cuyo suelo presentara condiciones aceptables en términos de los límites establecidos en la norma e ignorando simultáneamente los posibles efectos al acuífero en la tabla 4.2. donde se incluyen los diferentes tipos de uso de suelo según las concentraciones máximas de BTEX que se “toleran” y no ponen en riesgo las diferentes actividades que ahí se desarrollen.

**Tabla 4.2.** Criterios internacionales de restauración de suelos contaminados por hidrocarburos.

Parámetro	Criterios de Limpieza para Suelos propuestos por ARPEL			Listado de Berlín	Criterios de agua subterránea y suelo de los Países Bajos “The Dutch List”
	Suelo Residencial	Suelo Comercial	Suelo Áreas Abiertas sin uso	En zonas de pesca	Sitios que requieren remediación
Benceno (ppm)	0.05	0.5	2.0	0.25	5.0
Tolueno (ppm)	1.0	10.0	100.0	2.5	30.0
Etilbenceno (ppm)	0.5	5.0	100.0	---	50.0
Xilenos (ppm)	1.0	5.0	50.0	2.5	50.0

Fuente: ARPEL 1992.

En el caso de Estados Unidos, cada uno de los estados que integran la nación disponen sus propia normativas, es decir, están regidos por los límites máximos permisibles que se emiten a través de la EPA local. En la tabla 4.3 se incluyen los límites máximos para BTEX en tres estados de la Unión Americana colindantes con México. Es notorio para los valores contenidos en la tabla siguiente que los límites más estrictos están dados para el más peligroso de los componentes del BTEX, es decir, para el benceno.

**Tabla 4.3** Criterios de restauración de suelos contaminados en tres estados de la Unión Americana.

Parámetro	Estados de la Unión Americana colindantes con México			Criterios de la TNRCC
	Estado de Texas	Estado de California	Estado de Arizona	Niveles no contaminados
Benceno (ppm)	0.5	0.3 – 1.0	< 0.13	0.5
Tolueno (ppm)	0.5	0.3 – 50.0	< 200.0	100.0
Etilbenceno (ppm)	0.5	1.0 – 50.0	< 68.0	70.0
Xilenos (ppm)	0.5	1.0 – 50.0	< 44.0	1,000.0

TNRCC= Texas Natural Resource Commission Conservation.

Fuente: Tamlyn *et al.*, 1993.

#### 4.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA NORMATIVIDAD PARA AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS EN MÉXICO Y EN EL EXTRANJERO

En la actualidad no existe un documento que regule las concentraciones de hidrocarburos en aguas subterráneas, la siguiente información comprende solo algunos criterios y valores encontrados en la literatura y que se aproximan a lo que sería una propuesta para considerar la generación de un documento normativo en el futuro (tabla 4.4 y tabla 4.5).

**Tabla 4.4** Valores y referencias sobre la calidad de aguas freáticas.

Parámetro ppb	Criterios de limpieza de agua subterránea propuestos por ARPEL			Ministerio del Ambiente de Quebec		
	(I)	(II)	(III)	(A)	(B)	(C)
Benceno	5	50	250	---	---	5
Tolueno	24	40,000	100,000	---	---	100
Etilbenceno	2	10,000	50,000	---	---	150
Xilenos	3	5,000	20,000	---	---	60

Fuente: ARPEL, 1992

A = Agua para uso agrícola. B = Agua uso residencial y recreativo C = Uso comercial e industrial

I = Nivel de limpieza bajo II.- Nivel de limpieza moderado III.- Nivel de limpieza alto.

Los valores anteriormente referidos están encausados al nivel de limpieza que requiere un acuífero con diferentes grados de contaminación, y del uso que finalmente se dará a un cuerpo de agua según ARPEL y el ministerio de Québec respectivamente. Cabe destacar que para los dos primeros casos según el uso final del agua y que sugiere el Ministerio de Québec no aparece ninguna concentración como límite, lo cual sugiere, que estos contaminantes simplemente no deben aparecer en cuerpos de agua que se destinen a la actividad A y B.

**Tabla 4.5** Valores típicos y criterios de descontaminación para agua y su calidad, dependiente de su uso final.

Parámetro ppb	Criterios de Descontaminación para Aguas			Criterios de Calidad del Agua (CE-CCA-001/97)		
	Agua Potable	Agua de Riego	Vida Acuática	Abast. Uso Público Urbano	Riego Agrícola	Prot. Vida Acuática
Benceno	5.0	---	300	10	---	50
Tolueno	< 2.4	---	300	700	---	200
Etilbenceno	< 2.4	---	700	300	---	100
Xilenos	< 300	---	---	---	---	---

Fuente: Ruymbeke D. Claire, en Lesser, 1996.

# TOXICOLOGÍA

### 5.1 TOXICOLOGÍA AMBIENTAL

El tema que se aborda en esta sección está destinado a esbozar un tópico que al igual que el término “ecológico” forma parte en la moda de los discursos políticos y ambientalistas, en específico el término es la toxicidad.

Se iniciará sintetizando los aspectos básicos que lo definen y la dinámica que cómo proceso dentro del medio ambiente y de los organismos se caracteriza.

De forma permanente y de manera recíproca los elementos vivos de un ecosistema interactúan con una gran cantidad de sustancias para cumplir con todas sus actividades vitales, sustancias que en un determinado momento y dependiendo de la concentración (dosis) pueden resultar tóxicas.

Para que un tóxico cause daño, primeramente se debe estar expuesto a él, y en segundo término el tóxico debe vencer los mecanismos de defensa del organismo que tratará de impedirle su alcance a los denominados tejidos blancos en forma activa, mecanismos que consisten en la fabricación de barreras para evitar la movilidad del tóxico, así como, bloquear la difusibilidad a través de las membranas celulares o bien facilitando su excreción.

Hasta el momento se ha hablado de las sustancias que interactúan con los factores vivos de un ecosistema, se podrá pensar de entrada en solo aquellas sustancias que se encuentran en un ambiente natural. Sin embargo, recordemos que también los procesos de los cuales el hombre se vale para transformar su entorno en beneficio propio, acarrea la formación e incorporación de nuevas sustancias a un medio donde naturalmente no estaban presentes y que por lo general resultan mayormente complejas y de difícil control.

Es entonces, tarea de los estudios referentes a la toxicidad ambiental dar seguimiento y respuesta a los mecanismos desencadenados por aquellas sustancias que invaden y dañan al organismo.

A continuación se presentan algunos aspectos básicos para dar dimensión de lo delicado que pueden ser los hidrocarburos cuando son derramados al ambiente y sus posibles efectos sobre los organismos.

La toxicología ambiental tiene como objeto principal, la evaluación de los impactos que producen en la salud pública la exposición de la población a los tóxicos ambientales presentes en un sitio contaminado. Es conveniente hacer hincapié, que se estudian los efectos sobre los humanos, aunque pudieran existir, en el sitio de estudio, otros blancos de los tóxicos tales como microorganismos, plantas, animales, etc. Los agentes tóxicos son los xenobióticos que producen efectos adversos en los organismos vivos.

Para la toxicología ambiental, el ambiente se describe en función de los medios que contienen los agentes tóxicos. A continuación se enlistan los medios de interés toxicológico para el caso del hombre :

- agua potable
- cuerpos de agua que se usan para la pesca
- agua para riego
- aire respirado
- suelo agrícola (cuando se usa para la producción de alimentos)
- alimentos
- cuerpos de agua que se usan para fines recreativos.

Cuando se habla de exposición, se habla del contacto de una población o individuo con un agente químico o físico. El grado de exposición se determina midiendo la concentración del agente que está presente en la superficie de contacto (pulmones, intestino, piel, etc.) durante un periodo especificado. Esta concentración cuando es expresada por unidad de masa corporal del individuo expuesto se le denomina Dosis Suministrada.

Se hizo mención en los primeros párrafos de este capítulo el tejido blanco, que se refiere a la parte del organismo que recibe el impacto del toxico. Se puede también

referir a una molécula (ADN, proteína, etc.) o a un órgano (hígado, riñón, cerebro, médula espinal, etc.). En ocasiones se usa para designar al individuo, subpoblación o población que quedan expuestos a los agentes tóxicos en un sitio determinado.

Dentro de la toxicología se puede determinar el camino que sigue un agente tóxico en el ambiente desde el lugar donde se emite hasta que hace contacto con la población o individuo expuesto, el cual es denominado ruta de exposición. El análisis de la ruta de exposición describe la relación que hay entre las fuentes (localizaciones y tipo de derrames ambientales en el caso de la presente tesis ) y los receptores (localización de las poblaciones, patrones de actividad, etc.).

Las rutas de exposición se conforman generalmente de cuatro elementos:

- fuentes y mecanismos de emisión de tóxicos
- medio de retención y transporte
- punto de contacto potencial entre el medio contaminado y los individuos
- vía de ingreso al organismo.

Cuando se profundiza en el tema se habla también de las vías de exposición, las cuales se refieren al mecanismo por medio del cual el tóxico entra en el organismo. Para la toxicología ambiental, se consideran relevantes, la ingestión, la respiración y el contacto dérmico o cutáneo.

Cualquier anomalía del funcionamiento normal del organismo que ha sido producida por la exposición a sustancias tóxicas, es conocido como efecto tóxico. El tipo de efecto tóxico que produce un agente sirve para hacer una clasificación muy general pero muy útil, los tóxicos se clasifican en:

- carcinogénicos
- no-carcinogénicos
- tóxicos para el desarrollo

El concepto “Dosis” resulta más o menos familiar. En la antigüedad, el hombre sabía como usar los venenos de animales y los extractos de las plantas para cazar, para agredir o defenderse, también asoció el uso de preparaciones específicas para controlar determinadas enfermedades. En estos usos está implícita la pregunta ¿qué tanto tóxico se necesita para alcanzar un efecto determinado?

La relación entre el tipo de respuesta y la dosis suministrada fue analizada desde los tiempos de Paracelsus, quien en 1493 expresó que todos los remedios son venenos y la diferencia entre remedio y veneno es la dosis correcta.

La dosis de exposición está determinada por la cantidad de sustancia a la cual esta expuesto el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto.

Otro de los conceptos cruciales en toxicología es la variabilidad de la respuesta biológica en función de la susceptibilidad de cada uno de los organismos. Ningún organismo es idéntico a otro y sus respuestas tóxicas pueden ser diferentes.

Una vez que el tóxico llega al organismo, dependiendo de la vía de exposición, entra en contacto con las superficies epiteliales del tracto digestivo, del aparato respiratorio o de la piel. Ya que ha cruzado esas membranas y alcanza el torrente sanguíneo, se considera que el tóxico ha penetrado al organismo. Los componentes sanguíneos lo transportan a los diferentes órganos y en uno o en varios de ellos puede llegar a causar un daño permanente.

La concentración de tóxico que penetra al organismo puede ser muy diferente de la concentración inhalada o ingerida, debido a que la sustancia no siempre está 100 % biodisponible.

Partiendo de la relación que existe entre la dosis contactada por un organismo y la magnitud de la respuesta tóxica se llega a la estimación de los índices toxicológicos que son la medida de la peligrosidad de una sustancia, parámetro usado para estimar los riesgos en la población expuesta a los tóxicos, que se encuentran en los distintos medios que constituyen el ambiente de una determinada población que habita, trabaja o hace otros usos de un sitio contaminado.

Resumiendo, para que un tóxico ambiental provoque un daño, en primer lugar se debe estar expuesto a él y en segundo lugar el tóxico tiene que vencer las defensas del organismo que trataran de impedir que el tóxico llegue al tejido blanco en forma activa. Las defensas consisten principalmente en mecanismos que restringen la movilidad y disminuyen el periodo de exposición del tejido blanco. Esto lo puede hacer el organismo poniendo barreras a su desplazamiento hacia determinados tejidos, disminuyendo su difusibilidad a través de las membranas celulares o facilitando su excreción. El efecto producido por una dosis depende de la cantidad de tóxico que llegue en estado activo al sitio de acción y del tiempo que se le permita actuar allí ( Peña *et al.*, 2001).

## 5.2 LA GASOLINA COMO MEZCLA DE COMPUESTOS TÓXICOS

La gasolina es una mezcla sintética que no se encuentra de manera natural en el ambiente. La gasolina es producida a partir la refinación del petróleo crudo y de procesos alternos dentro de los que se pueden mencionar los procesos catalíticos, el coqueo, la alquilación y los procesos reformados de catálisis. La gasolina se compone por más de 1000 sustancias posibles lo que la hace una de las mezclas más complejas a la que el hombre esta expuesto y se componen del 60 al 70% de alcanos (parafinas), de 25 a 30% de compuestos aromáticos (dentro de los cuales figuran los BTEX) y del 5 al 10% de alquenos (olefinas).

Uno de los componentes de la gasolina más estudiado y peligroso es el benceno, este hidrocarburo aromático es uno de los mayores componentes de la gasolina que se utiliza tanto en la industria química y farmacéutica, así como materia prima o como compuesto intermedio en otros productos químicos, entre otras muchas utilidades el benceno es adicionado como aditivo en las gasolinas.

Aunque el benceno es relativamente soluble en agua (1780 mg/L a 25<sup>0</sup>C ver tabla 5.1) la magnitud de exposiciones a través de agua es difícil de cuantificar por la falta de datos. La concentración de benceno medida en agua varía considerablemente pues se han medido muestras de agua proveniente de agua de lluvia, agua superficial, agua marina, agua potable y agua subterránea, encontrando concentraciones que van desde 0.005 ppb a 330 ppb. En México, el benceno constituye menos del 2% de las gasolinas.

El benceno es considerado por la EPA y la IARC ( International Agency for Research on Cancer) como un agente carcinógeno del grupo 1 lo que significa que existe suficiente evidencia científica para probar una relación positiva entre la exposición a este tóxico y el desarrollo de cáncer en el hombre y algunos animales (Harper *et al*, 1993).

El benceno al igual que sus respectivos alquilbencenos, se consideran como los compuestos más tóxicos de la gasolina debido a que producen efectos tóxicos agudos por su inhalación, llegando inclusive a matar con exposiciones de 5 a 10 minutos en ambientes con vapores concentrados en el orden de 20, 000 ppm. Dentro de los efectos crónicos reportados bajo una exposición de benceno por largos periodos de tiempo, se encuentra la destrucción de diversos conjuntos celulares entre los que figuran el tejido de la médula ósea y la activación de procesos cancerosos.

Otro de los compuestos que se considera es el tolueno, este hidrocarburo se encuentra formando del 4 al 7% de las gasolinas, se ha observado que un hombre expuesto a una concentración de 200 ppm durante 8 horas presenta fatiga moderada, debilidad confusión, mareo, lagrimeo y escozor en piel, mientras que a una concentración de 600 ppm se observan otros efectos adicionales como, euforia, dolor de cabeza y pupilas dilatadas, si la concentración a la que se expone un individuo es ahora alrededor de 800 ppm los efectos que se presentan son más severos y tardan de varios días para que desaparezcan.

En lo que se refiere al etilbenceno, este compuesto irrita la piel, ojos y las vías respiratorias altas, se sabe que a concentraciones de 200ppm se presenta irritación a nivel ocular, la proporción que este compuesto representa en las gasolinas es de aproximadamente 1.4 %.

Representando entre el 6 y 8% del peso total de la gasolina se encuentran los xilenos, estar expuesto a este tipo de compuestos puede causar pérdida de la coordinación, náuseas, vómito y dolor en el abdomen. Estos hidrocarburos tienen un efecto variable a nivel hepático y renal además de causar efectos en el tracto digestivo. Los efectos crónicos que se describen para los xilenos son; dolores de cabeza, fatiga, desórdenes digestivos y del sueño, su inhalación puede llegar a ocasionar temblores, debilitamiento de la memoria, vértigo, dolor de cabeza y anorexia.

**Tabla 5.1** Características de solubilidad y de permanencia para BTEX y gasolina comercial.

Contaminante	Peso molecular (g/mol)	Solubilidad en agua a 25°C (mg/L)	Vida media en agua superficial T <sub>1/2</sub> (días)
<b>Benceno</b>	78	1,780	5
<b>Tolueno</b>	92	490-627	4
<b>Etilbenceno</b>	106	152-208	3
<b>Xilenos</b>	106	162-200	7
<b>Gasolina</b>	107-114		

Fuente: Heath, 1993.

La tabla anterior destaca la alta solubilidad que presentan estos hidrocarburos aromáticos a prácticamente temperatura ambiente, el tiempo de vida media en el agua para cada uno de los compuestos que compone la mezcla, en donde llama la atención que el compuesto con menor peso molecular no es precisamente el que menos tiempo permanece en la matriz acuosa.

Los aspectos que mayor relevancia tienen y que mayor inquietud causan en la gente que conoce la potencialidad dañina de estos compuestos, se reportan en la tabla 5.2, donde a manera de lista comparativa se enuncian las afectaciones y la vía de exposición para el hombre en cada caso.

**Tabla 5.2.** Efectos producidos por BTEX en personas, según vía de exposición.

<b>Compuesto</b>	<b>Vía de exposición</b>	<b>Efectos</b>
Benceno	Inhalación Ingestión Cutánea	Narcótico, ataca neuronas, produce esterilización, y a veces la muerte Cáncer en diferentes órganos Narcótico y cancerígeno
Tolueno	Inhalación Ingestión Cutánea	Afecta mucosas, inflamación de la tráquea dificulta la respiración Bioacumulable, produciendo cáncer en diferentes órganos vitales Cancerígeno, produce inflamación
Etilbenceno	Inhalación	Su efecto es como el tolueno y xilenos
Xilenos	Inhalación Ingestión Cutánea	Narcótico, afecta neuronas, puede causar la muerte Produce cáncer en diferentes órganos vitales Cancerígeno, inflamación

Fuente: Pérez, 1996.

### METODOLOGÍA

En este capítulo se hace la descripción de las actividades que se requirieron para obtener muestras de suelo, así mismo, los medios analíticos utilizados para la cuantificación de hidrocarburos en estas muestras y finalmente, la forma de organizar la información generada. Para abordar el marco normativo, se menciona cuáles fueron los elementos regulatorios revisados a nivel nacional e internacional, para los parámetros involucrados en un derrame de gasolina y que afectan los suelos, así mismo, cuál es la normatividad homóloga para el caso de los acuíferos a nivel nacional e internacional. Finalmente se describe como se llevó a cabo el bioensayo de toxicidad que aportó los elementos necesarios para confirmar la hipótesis planteada para este trabajo.

La metodología llevada a cabo para la realización de este estudio se resume en la figura VI.1.

Como se mencionó en el capítulo 3, el trabajo de muestreo se realizó en tres localidades del estado de Puebla que correspondieron a cuatro áreas diferentes. Las actividades se llevaron a cabo de manera paralela con algunos proyectos de evaluación de la contaminación por hidrocarburos en el suelo y subsuelo realizados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP); cabe señalar que se tratán de eventos independientes y que ocupan situaciones ambientales distintas.

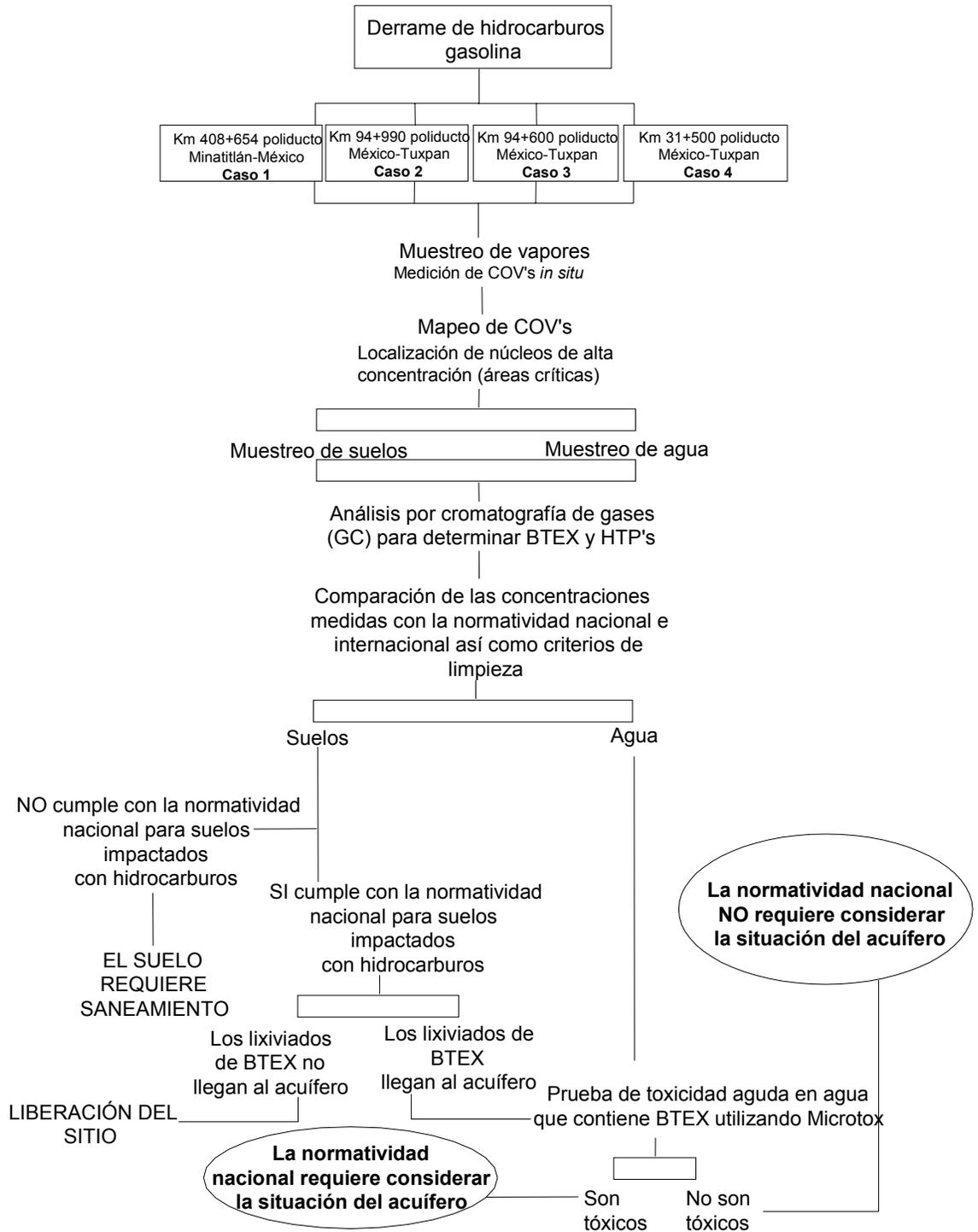


Figura VI.1 Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio.

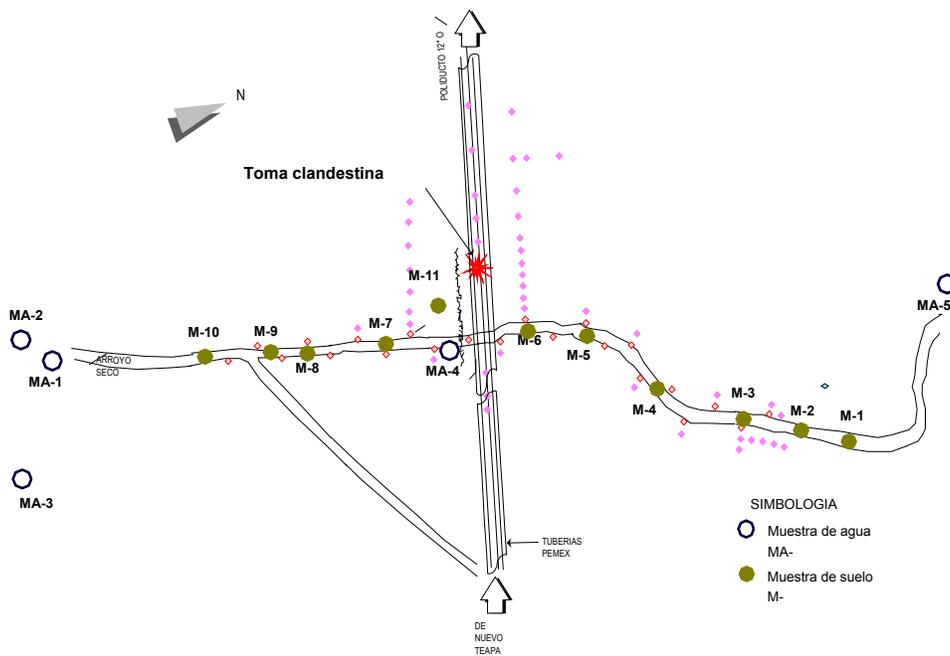
La primera de las áreas que corresponde al caso 1, se encuentra en las proximidades de la capital de Puebla y corresponde a un área agrícola por donde pasa el poliducto Minatitlán-México, mismo que presentó una fuga a la altura del Km. 408+654 (figura VI.2). La zona correspondiente al caso 2 y 3 se localizan en las proximidades de Huauchinango, Puebla, los sitios se encuentran ubicados en los kilómetros 94+990, y 94+600 del poliducto de 18 pulgadas México-Tuxpan respectivamente, y corresponden a un ambiente denominado bosque mesófilo de montaña dentro del territorio poblano (figuras VI.3 y VI.4). El caso número 4 se ubica en la porción Noroeste del Estado de Puebla, a 45 kilómetros, de la ciudad de Huauchinango Puebla, donde se presentó un derrame de gasolina ocasionado por el descontrol de una toma clandestina a la altura del kilómetro 31+500 del poliducto de 18" México-Tuxpan en un terreno que corresponde a una planicie (figura VI.5).

#### 6.1 OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA

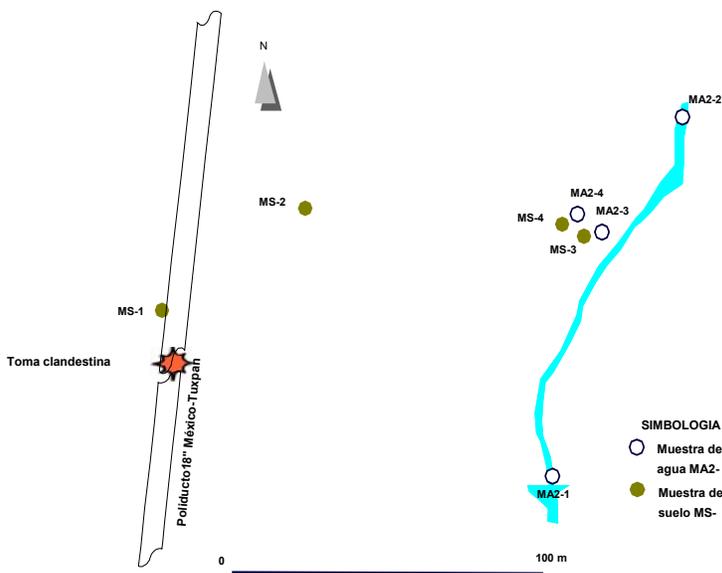
Cuando ocurre un derrame de hidrocarburos al subsuelo, uno de los problemas inmediatos a resolver, es determinar la extensión del daño, ya que la mancha contaminante se encuentra bajo la superficie y ésta no es visible

Con base en los fenómenos físicos de volatilización dinámica de los hidrocarburos, de las condiciones geológicas e hidrológicas, el estudio de los vapores del subsuelo es el método de diagnóstico preliminar que permite elegir los puntos en el subsuelo donde se tomaron las muestras de suelo y agua subterránea.

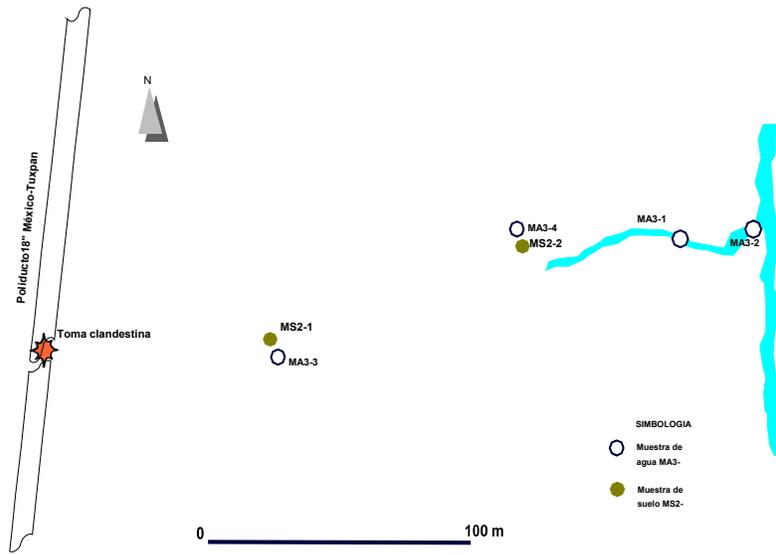
Para determinar la cobertura del derrame, en todas las áreas afectadas por derrames de gasolina se diseñó en campo un plan de muestreo en forma reticular, distribuyendo los puntos en forma equidistante, con una separación entre ellos de 25 m.



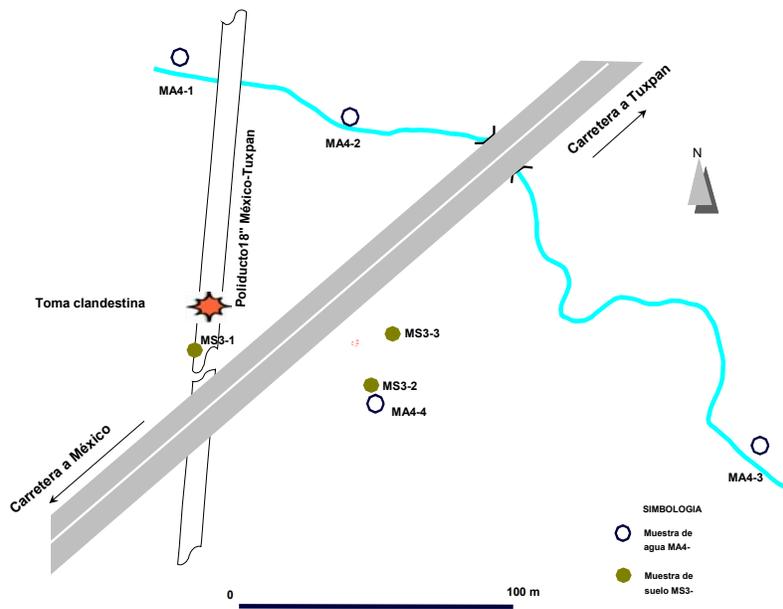
**Figura VI.2** Distribución de los puntos muestreados para suelos y agua en el área de fuga del poliducto Minatitlán–México en el km 408 + 654, Caso 1.



**Figura VI. 3** Distribución de los puntos de muestreo de suelo y agua en el área de fuga en el km 94+960 del poliducto Tuxpan–México, Caso 2.



**Figura VI. 4** Distribución de los puntos de muestreo de suelo y agua en el área de fuga del km 94+600 del poliducto Tuxpan–México, Caso 3.



**Figura VI.5** Distribución de los puntos de muestreo de agua y suelo en el área afectada de fuga en el km 31+500 del poliducto Tuxpan-México, Caso 4.

Para la extracción de vapores del subsuelo en cada punto, se realizó una perforación de 1.5 m de profundidad, distancia suficiente en todos aquellos casos en los que el contaminante se encuentra alrededor de 10 m de profundidad y cuando las características litológicas confieren condiciones de suelos permeables y semipermeables (Ochoa et al., 2002).

Las muestras de vapores fueron extraídas del subsuelo con un muestreador tipo sonda o probeta de 1.5 m de longitud, construido en la parte central de un tubo de acero inoxidable, cuyo diámetro es de 1/8 de pulgada, recubierto con una funda de PVC (figura VI.6).



**Figura VI.6** Muestreador de gases del subsuelo.

Por medio de un sistema de tres vías, donde se encuentran conectados, el medio exterior, los vapores que existen en el subsuelo y una jeringa desechable de 60 ml (que sólo es utilizada una vez), las muestras de vapor fueron recuperadas del subsuelo, succionando el gas proveniente de la parte inferior de la superficie del suelo, con ayuda de la jeringa que finalmente los aloja dentro de un frasco tipo ampolleta de 100 cm<sup>3</sup>, y al que previamente se desalojó el aire (figura VI.7).



**Figura VI.7.** Toma de muestras de vapores del subsuelo.

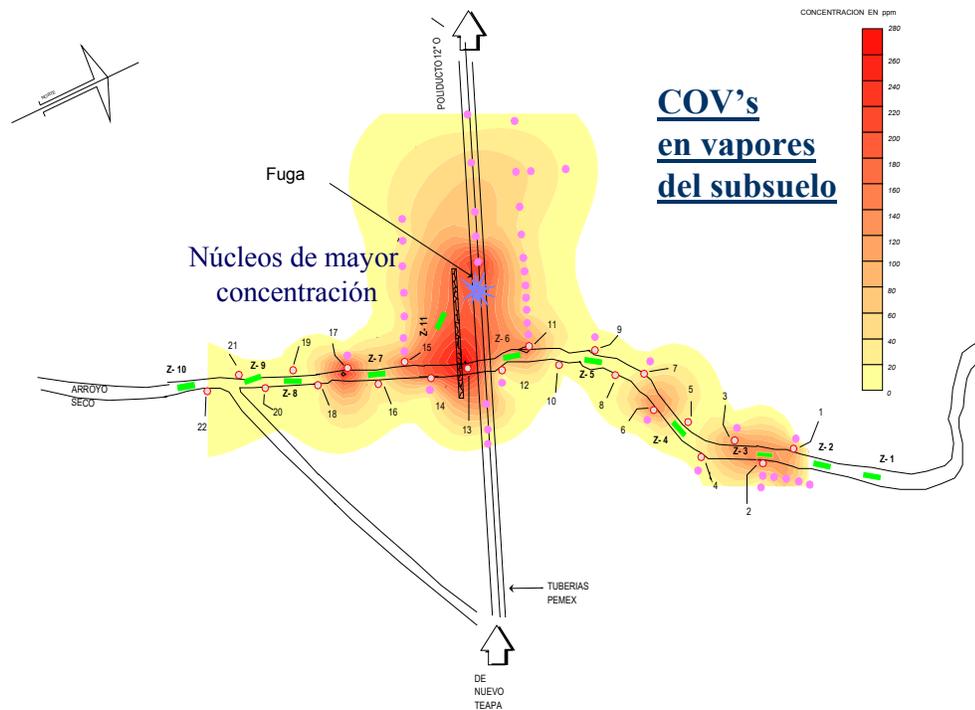
Cabe aclarar que antes de llenar los frascos con las muestras gaseosas se lleva a cabo una cuantificación *in situ* de los compuestos orgánicos volátiles (COV's) en cada uno de los puntos que componen la retícula de muestreo, cuantificación que se realiza con un analizador portátil de COV's marca HNU modelo 101 (figura VI.8). Todo esto con la finalidad de poder obtener un mapeo preliminar de la pluma contaminante. Situación que en adición con los estudios geohidrológicos de campo, permiten dirigir el muestreo de suelo y agua en las áreas con mayor concentración de estos compuestos y que por ende evidencian los puntos donde el hidrocarburo derramado puede converger.



**Figura VI.8** Medición *in situ* de los COV's, donde se utiliza un analizador portátil con detector de fotoionización.

Para la realización del mapeo de COV's las concentraciones medidas in situ son vaciadas en una matriz de datos que alimenta un programa informático denominado Surfer versión 7.0 (Golden Software, Inc.), que dentro de su versatilidad permite la configuración de isovalores útiles para visualizar en dos planos la distribución espacial de los gradientes de concentración.

La distribución de los COV's en el primero de los casos y que con la finalidad únicamente de ejemplificar el proceso preliminar (ya que los resultados que ahí se obtienen no son el objetivo principal de este trabajo), se ilustra con la figura VI.9, donde se evidencia los núcleos de mayor concentración y donde las muestras de suelo fueron tomadas. Por otro lado los resultados de manera resumida y que para los mismos fines se presentan, están contenidos en la tabla 6.1



**Figura VI.9** Distribución de las concentraciones de COV's medidas *in situ* para el caso 1.

**Tabla 6.1** Frecuencias e intervalos de concentración de COV's obtenidas en la totalidad de los puntos evaluados en la zona que corresponde al caso 1.

Concentración de COV's (ppm)	Número de puntos
0-20	28
21-40	11
41-60	13
61-80	1
81-100	2
101-120	1
121-140	3
141-160	1
161-180	3
181-200	1
>200	4

Con la ayuda del equipo de muestreo para suelos (“Hand auger”), se obtuvieron las muestras correspondientes. Las cuales se depositaron en frascos de vidrio, teniendo cuidado de no dejar espacios de aire para evitar pérdida de hidrocarburos volátiles. (figura VI.10).



Figura VI.10 Muestreador de suelos “Hand Auger”

Para la obtención de las muestras de agua (donde se alcanzo el nivel freático), se utilizó un muestreador de teflón desechable, aprovechando para esto la misma

perforación hecha para el muestreo de suelos. Las muestras de agua se colectan en viales de vidrio (40 ml), teniendo cuidado que al igual que en las muestras de suelo, estos no presentaran burbujas de aire. Para el caso de ambas matrices (suelo y agua) las muestras fueron conservadas a 4<sup>0</sup>C de temperatura hasta el momento de su análisis.

## 6.2 ANÁLISIS DE BTEX EN SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA

Los análisis realizados para la matriz agua y para la matriz suelo fueron realizados dentro de las dos primeras semanas después de haber tomado las muestras. El análisis de BTEX en agua y en suelos, se llevaron a cabo en un cromatógrafo HP-5890 serie II, con purga y trampa O. I. Analítica modelo 4560, con calidad de investigación en columna megaboro de 0.53 mm de diámetro interno y una longitud de 30 m con horno térmico programable y tres rampas de temperatura, aplicando para ello el método analítico 8020 descrito por la EPA para el análisis de compuestos orgánicos volátiles purgables no halogenados GC/PID.

El análisis de las muestras de suelo para el primero de los casos requirió de la realización de una extracción de los hidrocarburos, con el objeto de analizar el extracto como si fueran muestras acuosas. La metodología aplicada corresponde sólo para la extracción fue la metodología EPA 5035, que describe la extracción de orgánicos volátiles en muestras de suelos y residuos, utilizando sistema de purga y trampa.

Cabe aclarar que los hidrocarburos reportados para los suelos de las áreas correspondientes a los casos 2, 3 y 4, son de HTP's (Hidrocarburos Totales del Petróleo en el rango de las gasolinas, según metodología EPA 8015B) ya que los proyectos desarrollados en las áreas no requirieron del análisis de BTEX en suelos.

### 6.3 NORMATIVIDAD

Para abordar los aspectos normativos y los términos en los que está elaborada la norma oficial emergente NOM-EM-138-ECOL-2002 hoy proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003 se llevo a cabo una revisión de la normatividad nacional e internacional en materia de contaminación suelos por hidrocarburos, de igual manera se llevó a cabo una revisión de la normatividad nacional e internacional en el rubro que comprende contaminación de agua por hidrocarburos, con la finalidad de emitir elementos de juicio que permitan valorar la normatividad recientemente emitida para suelos.

### 6.4 TOXICIDAD

La evaluación de la toxicidad aguda se realizó con el sistema Microtox, en el cual se evalúa la EC50, este bioensayo usa bacterias luminiscentes como organismos de prueba (Bulich, 1979), el cual es un método de rápido análisis de toxicidad para petróleo combustibles y sus componentes (Eisman, *et al.* 1991). La bacteria utilizada fue *Vibro fischeri* (*Photobacterium phosphoreum*) NMX-112-195-SCFI-1992, utilizando el método de “screening” en un principio para hacer una primera aproximación a la concentración, posteriormente se aplica el método básico que consiste en exponer una densidad conocida de bacterias ( $1 \times 10^6$  células en cada alícuota de inóculo) a diferentes concentraciones de la mezcla de hidrocarburos (BTEX) en agua, y que fueron desde una concentración de 25 ppm, 12.5 ppm, 6.25 ppm, 3.12 ppm, 1.56 ppm, 0.78 ppm, 0.39 ppm, 0.195 ppm, y hasta 0.0975 ppm, partiendo de un estándar de BTEX en metanol a una concentración de 2000 ppm, medidas a una intensidad lumínica que emite la bacteria con respecto a una muestra testigo, durante un tiempo determinado. La medida de la luminiscencia se realiza por medio de un luminómetro a una longitud de onda de 265 nm y los resultados son representados por medio de una curva dosis-respuesta la cual consiste en la graficación de la concentración del tóxico contra el logaritmo de la intensidad lumínica emitido por la población bacteriana, obteniéndose por medio de un análisis de regresión.

La obtención de los resultados de la toxicidad aguda se expresan como EC50, es decir, la concentración de una sustancia pura o en mezcla que causa un efecto del 50% de inhibición de luminiscencia ocasionado por la muerte de las bacterias o por que su actividad metabólica a sido retardada (CEB, 2004). Para efecto de nuestro análisis y por norma se llevaran a cabo dos lecturas con su respectivas EC50 a 5 minutos y 15 minutos después de haber inoculado. Tales valores se obtienen por la interpolación en la curva dosis-respuesta.

## CAPÍTULO 7

### RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 7.1 RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cada una de las áreas evaluadas se organizaron de manera tal que los valores nominales aparecen de forma conjunta para su mejor manejo, así mismo los puntos de muestreo se presentan en forma esquemática.

##### 7.1.1 BTEX en suelos

Después del mapeo preliminar realizado en campo, los puntos de muestreo para suelos en los cuatro casos se ilustran de la figura VI.2 a la figura VI.5 del capítulo 6.

Las concentraciones de BTEX y HTP's, medidas en los suelos correspondientes a las cuatro áreas evaluadas están contenidos en la tabla 7.1 y están expresados en partes por millón (ppm).

**Tabla 7.1** Concentración de BTEX y HTP's en muestras de suelo para las cuatro áreas evaluadas.

Muestra Caso 1	BTEX (ppm)	Muestra Caso 2	HTP's (ppm)
M1	N.C	MS-1	34.3
M2	N.C	MS-2	38.5
M3	0.351	MS-3	36.5
M4	0.220	MS-4	14.8
M5	N.C	Muestra Caso 3	
M6	N.C	MS2-1	31.7
M7	N.C	MS2-2	49.9
M8	N.C	Muestra Caso 4	
M9	1.690	MS3-1	178.2
M10	1.090	MS3-2	45.5
M11	0.330	MS3-3	164.4

N.C. = No Cuantificable

Debido a que los objetivos originales para los proyectos desarrollados en las áreas pertenecientes a los casos 2, 3 y 4, no consideraban la evaluación de BTEX en

suelos, se utilizaron las concentraciones reportadas para HTP's (Hidrocarburos Totales del Petróleo en el rango de las gasolinas, según metodología EPA 8015B), dichos análisis fueron considerados en las bases normativas que derivaron en el proyecto de norma que actualmente aplica para el territorio mexicano. Estas bases (que aunque hoy en día ya no aplican, debido a los problemas para estandarizar los análisis de HTP's, tabla 7.2), en su momento hubieran considerado, que los suelos analizados para los tres últimos casos, no requerían de restauración.

**Tabla 7.2** Límites máximos permisibles de contaminación en suelo incluidos en la Norma Oficial Emergente NOM-EM-138-ECOL-2002.

<b>Contaminante</b>	<b>Uso de suelo predominante (mg/kg (ppm) base seca)</b>		
	<b>Agrícola, forestal recreativo y de conservación</b>	<b>Residencial</b>	<b>Industrial</b>
HTP's fracción de gasolina	200	200	500

Modificado por el autor, fuente original: Norma Oficial Emergente NOM-EM-138-ECOL-2002.

### 7.1.2 BTEX en agua

La ubicación de los puntos de muestreo para agua en el caso 1, 2, 3 y 4. (figura VI.2 a la figura VI.5 del capítulo 6).

Las concentraciones de BTEX para los cuatro casos evaluados se encuentran en la tabla 7.3., cabe señalar que las unidades que se reportan en la tabla referida se expresan en partes por billón (ppb).

**Tabla 7.3** Concentración de BTEX en muestras de agua para las cuatro áreas evaluadas.

Caso 1	BTEX (ppb)	Caso 3	BTEX (ppb)
MA-1	N.C	MA3-1	5.2
MA-2	N.C	MA3-2	2,399.5
MA-3	11.83	MA3-3	10,614.0
MA-4	544.38	MA3-4	10,219.0
MA-5	4.39		
Caso 2		Caso 4	
MA2-1	4.9	MA4-1	5.24
MA2-2	656.6	MA4-2	11.92
MA2-3	1,554.5	MA4-3	18.10
MA2-4	43.65	MA4-4	17,222.0

N.C. = No Cuantificable

### 7.1.3 Toxicidad

El bioensayo con bacterias luminiscentes fue llevado a cabo en cinco replicas, los resultados se reportan por norma en dos tiempos diferentes, la concentración efectiva que afecta al 50% de las células expuestas EC50 a 5 minutos y la concentración efectiva que afecta al 50% de las células expuestas EC50 a 15 minutos, los resultados se presentan en la tabla 7.4.

**Tabla 7.4** Concentración efectiva EC50 en agua, a diferentes tiempos de exposición.

Ensayo	EC50 a 5minutos ug/mL	EC50 a 15minutos ug/mL
1er ensayo	0.8584	1.004
2do ensayo	0.7314	0.8830
3er ensayo	0.7589	0.9502
4to ensayo	1.016	1.2820
5to ensayo	0.9156	1.3390
Valor promedio	<b>0.85606</b>	<b>1.0916</b>

A continuación se incluye una tabla de comparación donde figuran los resultados de BTEX en diferentes bioensayos, donde se utilizan diferentes organismos de prueba en los que se incluye al hombre como organismo de laboratorio ( tabla 7.5).

**Tabla 7.5** Diferentes resultados en diversos bioensayos y sus principales efectos tóxicos

Parámetro	Valor de Efecto	Concentración y condiciones	Especies
<b>BENCENO</b>			
Mortalidad	100%	Inhalación = 2.8-5 mg/m <sup>3</sup>	<i>Homo sapiens</i> y mamíferos
Mortalidad	100%	Inhalación, Conc. aguda letal = 15-65 mg/m <sup>3</sup>	<i>Homo sapiens</i> y mamíferos
LC100	100 mg/l	2 horas en agua de mar a 8 <sup>o</sup> C	<i>Coho salmon</i>
LC100	34 mg/l	24 horas	Pez sol
LC50	20 mg/l	24-48 horas	Agalla azul
<b>ETILBENCENO</b>			
LC100	50 mg/l	24 horas en agua de mar	<i>Coho salmon</i>
<b>TOLUENO</b>			
Mortalidad	50% mortalidad	Agua = 22.80 ppm, 96 horas	<i>Carassius auratus</i>
LC100	50 mg/l	96 horas, agua marina a 8 <sup>o</sup> C	<i>Coho salmon</i>
LC50	58 mg/l	24 horas	peces no especificados
<b>m- XILENO (meta Xileno)</b>			
LC50	16 mg/l	24 horas	Pez dorado
<b>o- XILENO (orto Xileno)</b>			
LC50	55 mg/l	24 horas 20 <sup>o</sup> c	<i>Chlorella vulgaris</i>
LC50	13 mg/l	24 horas	Pez dorado
<b>p- XILENO (para Xileno)</b>			
LC50	18 mg/l	24 horas	Pez dorado

Fuente: Jorgensen *et al* 1991.

LC50 Concentración letal para el 50% de la población

## 7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.2.1 BTEX en suelos

Concentraciones de BTEX en suelos del área correspondiente al caso 1. Todas las concentraciones evaluadas en la totalidad de los suelos que circundan el área donde ocurrió el derrame de gasolina a la altura del kilómetro 408 + 654 del poliducto Minatitlán-México (tabla 7.1), se encuentran por debajo de los límites máximos establecidos en el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, cumpliendo en estricto con los tres criterios de uso de suelo establecidos en la mencionada norma, es decir, todas las concentraciones evaluadas en este sitio se encuentran por debajo de los valores reportados para uso de suelo agrícola, para uso de suelo residencial y para uso de suelo industrial (tabla 4.1 del capítulo 4). Por lo que bajo los criterios de esta norma estos suelos no requerirían de restauración y serían liberados bajo dichos criterios.

Con respecto a los valores de concentración máxima considerados en los criterios internacionales de restauración de suelos contaminados por hidrocarburos (tabla 4.2 del capítulo 4), todos los compuestos cumplen exceptuando el benceno para el suelo residencial bajo los criterios de limpieza para suelos propuestos por ARPEL y zonas de captura en el listado de Berlín.

Comparando los resultados que obtenidos en el caso 1 los valores reportados en los criterios de restauración de suelos contaminados en tres estados de la Unión Americana (tabla 4.3, capítulo 4), en general cumplen, exceptuando de nueva cuenta el benceno para el caso únicamente del estado de Arizona tabla 4.3, donde pasa el valor de 0.13 ppm.

Las concentraciones de HTP's medidas para los casos 2, 3 y 4, es decir , para los suelos de los kilómetros 94+990, 94+600 y 31 + 500 del poliducto de 18" Tuxpan-México respectivamente, evidencian que en la totalidad de los suelos que circundan las áreas donde ocurrieron los derrames de gasolina (tabla 7.1 del capítulo 7), se encuentran por debajo de los límites máximos establecidos en lo

que fue la Norma Oficial Emergente NOM-EM-138-ECOL-2002, cumpliendo con los tres criterios de uso de suelo establecidos en dicho documento, es decir, la totalidad de las concentraciones calculadas para esos sitios se encuentran por debajo de los valores reportados para uso de suelo agrícola, forestal, recreativo o de conservación, así mismo, están por debajo de las concentraciones reportadas para uso de suelo residencial o comercial y por último cumplen con los valores propuestos para uso de suelo industrial (tabla 7.2 del capítulo 7). Por lo que bajo los criterios de esa norma, base del actual proyecto, esos suelos no requerirían de restauración y serían liberados bajo los criterios mencionados en la Norma Oficial Emergente.

### 7.2.2 BTEX en agua

Concentraciones de BTEX en muestras de agua del área correspondiente al caso 1.

Para el caso de las concentraciones obtenidas para esta zona (tabla 7.3, capítulo 7), el acuífero requiere de un nivel de limpieza moderado, según los criterios de limpieza de agua subterránea propuestos por ARPEL, por otro lado, en general el sitio en cuestión sería clasificado como un terreno con suelo de uso comercial o industrial, según lo que propone el Ministerio del Ambiente de Québec (tabla 4.4, capítulo 4), cabe recordar que al momento de la evaluación, el sitio es utilizado como suelo de uso agrícola.

Con lo que respecta a la comparación de las concentraciones en el área de fuga para el caso 1 con los valores reportados para la tabla 4.5, existe un punto donde a pesar que las concentraciones rebasan la mayor parte de los criterios propuestos, estas no ponen en riesgo la proliferación de la vida acuática, es decir, el daño que estas concentraciones pudieran generar a un organismo acuático no representan peligro alguno, el resto de los puntos cuantificados no presenta de igual forma ningún riesgo.

Concentraciones de BTEX en agua del área correspondiente al caso 2.

De acuerdo con las concentraciones obtenidas, en esta área y según los criterios contenidos en la tabla 4.4. salvo en un caso, los valores alcanzados manifiestan altas concentraciones de BTEX, siendo un claro reflejo de que los lixiviados del suelo han llegado al acuífero y en consecuencia los criterios propuestos para la descontaminación de agua y su calidad (tabla 4.5, capítulo 4) son en su mayoría rebasados por los valores reportados para esta zona.

### Concentraciones de BTEX en agua para el caso 3.

Para el caso del punto de derrame a la altura del km 94+600 del poliducto de 18" Tuxpan-México, las concentraciones rebasan (a excepción de una sola muestra) los criterios de calidad de agua y valores de limpieza para nivel bajo y agua de uso agrícola (tablas 4.4 y 4.5 del capítulo 4), manifestando la invasión de los contaminantes al acuífero.

### Concentraciones de BTEX para el área del caso 4.

Las concentraciones de BTEX para esta zona manifiestan de primera instancia una clara influencia de los hidrocarburos derramados en el acuífero, y en específico hacia uno de los puntos, ya que presenta valores que rebasan los límites más estrictos reportados por ARPEL, Ministerio de Québec y Criterios de Descontaminación para aguas, pero el resto de las muestras cumplen con los niveles de limpieza I y II propuestos por ARPEL y de forma parcial con los límites propuestos por el Ministerio del Ambiente de Québec y los criterios de calidad del agua contenidos en las tablas 4.4 y 4.5.

En general las concentraciones medidas en los suelos de las cuatro localidades del Estado de Puebla, no presentan problemas desde el punto de vista normativo nacional y como así lo avalan los valores máximos permisibles del proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003.

En lo referido a las concentraciones medidas para las muestras de agua en la totalidad de las cuatro regiones poblanas, hacen evidente los problemas del acuífero pues en su mayoría los valores rebasan los criterios y valores reportados por la literatura. De lo anterior cabe destacar el problema que el benceno representa para la salud humana y para la conservación de los acuíferos.

### 7.2.3 Toxicidad

Llevar a cabo un bioensayo para la evaluación de toxicidad aguda, representa todo un reto para quien lo realiza, debido a que se requiere de un control de aquellas variables que pudieran interferir en el ensayo (por ejemplo, la temperatura o la concentración de sales en el medio), una variable importante en este caso particular son los solventes en los que nuestros parámetros a medir están disueltos y en específico nos referimos al metanol, disolvente orgánico que por si solo resulta tóxico para las bacterias a ciertas concentraciones. Es entonces necesario realizar un bioensayo de este disolvente, a fin de eliminar la interferencia tóxica que pudiera aportar este compuesto y que pudiera eclipsar los efectos de la mezcla de BTEX a evaluar. El comportamiento descrito por el solvente metanol se puede visualizar en el gráfico contenido en la hoja de reporte incluida en el anexo de este documento (indicada como toxicidad en metanol), del cual se puede decir que: el porcentaje de efecto (graficado en el eje de las abscisas) vs. la concentración del metanol (eje de las ordenadas), evidencia una respuesta nula por debajo de las 25 ppm del solvente, por lo que, a concentraciones inferiores a las 25 ppm tendremos una respuesta de toxicidad adjudicada enteramente a la mezcla de BTEX.

Las concentraciones que a través del bioensayo toxicológico se obtuvieron en promedio fueron, 0.85606 y 1.0916 ppm para la EC50 evaluada a 5 minutos y EC50 evaluada a los 15 minutos respectivamente (tabla 7.4 del capítulo 7), lo que nos sugiere que en ambos casos la máxima concentración del contaminante BTEX que pudiera presentarse en un cuerpo de agua sin causar efecto a la mitad de la población estaría por debajo de las 0.7 ppm (por abajo del valor mínimo de EC50 evaluado).

Cuando se analizaron los resultados de BTEX en suelos, se dedujo que, bajo los términos expresados en el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, los suelos de las cuatro regiones evaluadas no requerirían de trabajos de restauración. Sin embargo, las concentraciones de hidrocarburos en agua

medidas en las área que fueron afectadas por los derrames en el poliducto de 18” Tuxpan-México, presentan muestras con concentraciones por arriba de las 0.7 ppm, es decir, concentraciones de BTEX, que según el bioensayo, resultan tóxicas, y podrían poner en riesgo la salud humana, pues las pruebas con microtox son equiparables con las pruebas de LC50 realizadas en bioensayos que utilizan otros organismos (Eisman et al., 1991) ver tabla 7.5.

## CONCLUSIONES

- En general los valores reportados para la totalidad de suelos evaluados cumplen con los límites establecidos en el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003 y con base en lo establecido en ese documento ninguno de suelos tendría que restaurarse, condición que no es clara con los criterios internacionales dentro del rubro suelos, ya que se clasificarían a estos, como suelos para uso industrial y suelos que requieren ser restaurados.
- La litología más reciente en las cuatro áreas evaluadas confieren a los suelos y componentes geológicos subsecuentes una permeabilidad denominada media, por lo que se trata de aspectos dinámicos con infiltraciones regulares que transportan lixiviados y otros elementos solubles en agua hacia otras zonas circundantes, llevando consigo la contaminación y riesgos que esto conlleva hacia sitios aledaños al derrame.
- Los análisis realizados en muestras de agua evidencian claramente los efectos que ocasiona un derrame de hidrocarburos en este tipo de suelos, situación que no pudieran ser iguales para otra región del país, debido a lo heterogéneo del territorio mexicano.
- Las condiciones que guardan los acuíferos de las áreas evaluadas cumplen de forma parcial con los valores y criterios reportados en la literatura especializada, por lo que, los suelos que influyen estos acuíferos no están del todo bien pese a que cumplan con los valores reportados como máximos permisibles en el proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003.
- El proyecto de norma PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003 necesariamente tiene que considerar los eventos que pudieran influenciar los mantos acuíferos, con ello, se debe considerar la elaboración de un documento

normativo que considere la situación que guardan el suelo, subsuelo y acuífero.

- Los análisis toxicológicos ponen de manifiesto que existen problemas latentes para la salud humana, cuando se utiliza este tipo de recursos hídricos (agua subterránea). Por todo lo abordado en este trabajo de tesis se propone incluir pruebas toxicológicas en los acuíferos que pudieran ser afectados por suelos impactados por derrames de hidrocarburos del tipo de las gasolinas.

## **Bibliografía.**

- Alexander M. 1994. Biodegradation and Biorremediation. Academic Press, San Diego. 302.
- ARPEL. 1992. Guía para el control de la contaminación de los tanques de almacenamiento subterráneo de petróleo. Documento preparado por ALCONSULT International. Como parte del proyecto ambiental de ARPEL (Asociación Recíproca Petrolera Latinoamericana). Canada. 101.
- ATSDR 1992. Health Assessment Guidance manual. USA
- Boulding J. Russel. 1995. Practical handbook of soil, vadose zone and ground water contamination: Assessment, prevention and remediation.
- Bower E.J. y Zehnder A. J. 1993. Biorremediation of Organic Compounds-putting Microbial Metabolism to Work. Trends Biotechnol. 11: 360-367.
- Bulich A. A. 1979. Use of luminescent bacteria for determining toxicity in aquatic environments, ASTM 667. In: Markings LL, Kimerle RA (eds) Aqua Toxicol 98-106.
- Cancino M., Rodriguera J. y Muñoz J. 1998. Restauración de sitios contaminados, el papel de la autoridad. TEOREMA. Septiembre 73-75.
- Custodio E. y Llamas, M. R. 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega. Barcelona España.
- Davis Eva L. 1997. Ground water issue. How heat can enhance *in situ* soil and aquifer remediation: important chemical properties and guidance on choosing the appropriate technique. EPA. Technology Innovation Office. Office of Solid Waste and Emergency. Washington, USA. 1-14.
- Diario Oficial de la Federación 2004 PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003. Publicada el 19 de marzo del 2004.
- Eisman M. P., Landon-Arnold, S y Swindoll, M. C. 1991. Determination of petroleum hydrocarbon toxicity with Microtox. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 47:811-816.
- EPA. 1994. Remediation technologies screening matrix and reference guide Federal remediation technologies roundtable. DOD Environmental Technology. Transfer Committee. Second Edition.
- Eweis J.B., Ergas, D.P. Chang y E.D, Schroeder. 1998. Biorremediation Principles. McGraw-Hill International Editions. 296.

- Harper C., Faroon O. y Mehlman M. 1993. Carcinogenic effects of benzene as a major component of gasoline and jet fuels. Cambridge Environmental Inc., Cambridge, Massachusetts. Compilacion de Calabrese, Edward J. "Hydrocarbon contaminated soils. Volume III: Perspectives, analysis/site assessment, human health risk assessment, remediation ecological risk assessment, environmental fate and exposure regulatory". Edit. Lewis Publishers. 215-241.
- Heath J., Koblis K., Shawn S. y Christopher D. 1993. Risk assessment for total petroleum hydrocarbons. Cambridge Environmental Inc., Cambridge, Massachusetts. Compilacion de Calabrese, Edward J. "Hydrocarbon contaminated soils. Volume III: Perspectives, analysis/site assessment, human health risk assessment, remediation ecological risk assessment, environmental fate and exposure regulatory". Edit. Lewis Publishers. 267-301.
- INEGI. 1999. Carta estatal-Geológica, Puebla-. Instituto Nacional de estadística geografía e informática. México, D.F.
- Jorgensen S.E., Nielsen S. N., y Jorgensen L. A.. 1991. Handbook of ecological parameters and ecotoxicology. Netherland. 1263.
- LaGreca M., Buckingham, P., y Evans, J. 1998. Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos. Edit. McGraw-Hill de México. Volumen I y II 1316.
- Leff E. 1990. Medio Ambiente y Desarrollo en México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades UNAM. Volumen II. Miguel Ángel Porrúa Grupo Editorial. México, D.F. 547-554.
- Leff E. 1998. Saber ambiental, sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. Siglo veintiuno editores. México, D.F. 285.
- Lesser J.M. 1996. Determinación de hidrocarburos Volátiles en la contaminación del subsuelo, (Curso de biorremediación de suelos y acuíferos,199), Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- López M. A. (2002) Apuntes del Curso Medio Ambiente y Salud. CIIEMAD. México D. F. 52.
- Ochoa J. J., Méndez S. F., Rosas A. 2002. Evaluación de la contaminación por hidrocarburos del subsuelo (gasometrías). El Petróleo de México, publicación del Colegio de Ingenieros Petroleros de México. (3) 2:42-54 México, D. F.
- PEMEX 2003. Petróleos mexicanos, Anuario Estadístico.

- Pérez Córdova, R. 1996. Biorremediación de sitios contaminados con gasolina. memorias del curso de biorremediación de suelos y acuíferos. Programa Universitario del Medio Ambiente. Instituto de Ingeniería. UNAM. México.
- PNMARN 2001. Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006. Plan Nacional de Desarrollo. SEMARNAT. Primera edición. México D.F.
- Reyes J, I. 1996. Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo. Parte I. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. México. 257.
- Riser-Roberts, E. 1998. Remediation of petroleum contaminated soils. Lewis Publishers. 542.
- Saval B. S. 1995. Acciones para le Remediación de Suelos en México. Segundo Minisimposio Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- Saval B. S. 1996. Pruebas de biofactibilidad y tecnologías de remediación. Memorias del curso de biorremediación de suelos y acuíferos. Programa Universitario del Medio Ambiente. Instituto de Ingeniería. UNAM. México.
- Sellers K. 1999. Fundamental of hazardous waste site remediation. Lewis Publishers. 326.
- Tamlyn O., KostECKI Paul y Calabrese Edward. 1993. State summary of soil and groundwater cleanup standards for hydrocarbons. EPA. Office of Underground Storage Tanks. U.S.A.
- Volke T., y Velasco, J. A. 2002. Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados. INE SEMARNAT. México, D. F. 64.

## Sitios WEB.

- CEB 2004. Center for Environmental Biotechnology. Advanced bioreporter technologies for targeted sensing of chemical and biological agents. Fecha de consulta 15 de junio de 2004 <http://web.utk.edu/~cebweb/cebfinal.html>
- Ferrante D. 1996. Groundwater Pollution Primer. CE 4594. Soil and Groundwater Pollution Civil Engineering Dept, Virginia Tech. [http://www.cee.vt.edu/program\\_areas/environmental/teach/gwprimer/sorp/sorp.html](http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/gwprimer/sorp/sorp.html)  
Fecha de consulta 20 de mayo de 2004.
- Jesper s. C. y Jasón E. 1996. Groundwater Pollution Primer. CE 4594. Soil and Groundwater Pollution Civil Engineering Dept, Virginia Tech. [http://www.cee.vt.edu/program\\_areas/environmental/teach/gwprimer/btex/btex.html](http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/gwprimer/btex/btex.html)
- PEMEX 2001. Seguridad, Salud y Medio Ambiente. Informe 2001. Fecha de consulta 19 de noviembre de 2002 <http://www.pemex.com>
- Peña, C. E., Carter, D. E., Ayala-Fierro, F. 2001. Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Distributed on the Internet via the Southwest Hazardous Waste Program website at <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>. Fecha de consulta 22 de octubre de 2003
- Van Deuren, J., Z. Wang, Z. y J. Ledbetter. 1997. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide. 3a Ed. Technology Innovation Office, EPA. <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>.

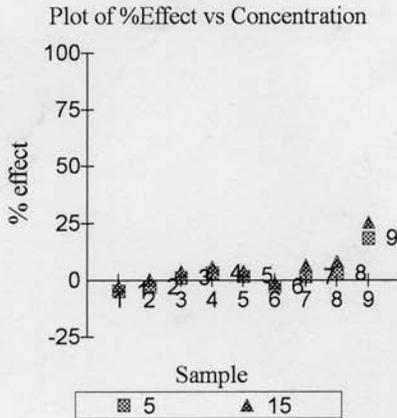
# Anexo

# MicrotoxOmni Test Report

Date: 3/03/2004 01:00 PM

Test Protocol: 45.5% Screening Test  
 Test description: metanol  
 Reagent Lot no.:  
 Data File: Untitled Data File

## Toxicidad en Metanol



Sample	Conc	5 Mins Data:		15 Mins Data:	
		Gamma	% effect	Gamma	% effect
M-0.0975	25.00	-0.0446	-4.671 %	-0.0232	-2.378 %
M-0.195	25.00	-0.0274	-2.826 %	0.0042	0.4262 %
M-0.39	25.00	0.0113	1.118 %	0.0429	4.115 %
M-0.78	25.00	0.0338	3.270 %	0.0618	5.821 %
M-1.56	25.00	0.0189	1.855 %	0.0428	4.109 %
M-3.12	25.00	-0.0260	-2.679 %	-0.0084	-0.8492 %
M-6.25	25.00	0.0160	1.582 %	0.0712	6.651 %
* M-12.5	25.00	0.0313	3.038 %	0.0923	8.451 %
M-25	25.00	0.2268	18.49 %	0.3439	25.59 %

# - used in calculation; \* - invalid data; D - deleted from calcs.  
 Autocalc has been used.

There is no QA data available for this test.

Signature: \_\_\_\_\_

Printed: 3/03/2004 01:36 PM

# MicrotoxOmni Test Report

Date: 3/03/2004 02:07 PM

Test Protocol: 90% Basic Test for Pure Compounds

Sample: BTEX 2000 ug/ml

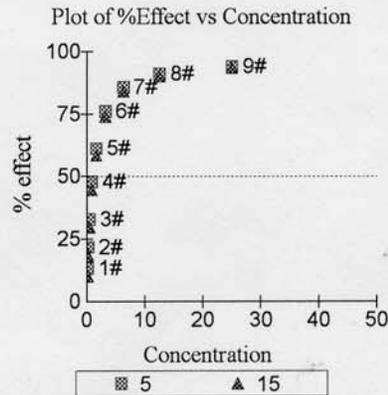
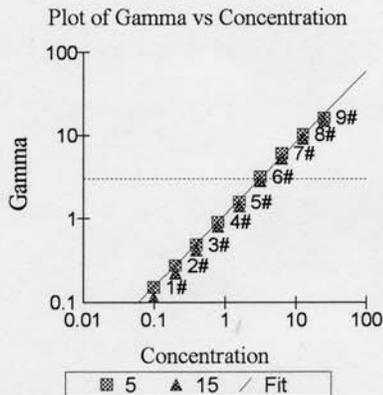
Toxicant: -

Reagent Lot no.:

Test description:

Data File: Untitled Data File

## Ensayo 1 a 5 minutos



Sample	Conc	5 Mins Data:				15 Mins Data:		
		Io	It	Gamma	% effect	It	Gamma	% effect
Control	0.000	104.37	159.12	1.525 #		153.11	1.467 #	
1	0.0976	105.93	139.93	0.1541 #	13.36%	139.51	0.1139	10.22%
2	0.1953	109.75	130.97	0.2776 #	21.73%	131.39	0.2254 #	18.39%
3	0.3906	113.29	115.86	0.4908 #	32.92%	116.69	0.4242 #	29.79%
4	0.7813	114.50	90.82	0.9221 #	47.97%	92.84	0.8092 #	44.73%
5	1.563	115.93	68.28	1.589 #	61.37%	70.31	1.419 #	58.66%
6	3.125	119.11	43.04	3.219 #	76.30%	45.10	2.874 #	74.19%
7	6.250	121.64	26.03	6.124 #	85.96%	28.09	5.353 #	84.26%
8	12.50	121.65	16.20	10.45 #	91.27%	17.22	9.364	90.35%
9	25.00	124.21	10.80	16.53 #	94.30%	11.44	14.93	93.72%

# - used in calculation; \* - invalid data; D - deleted from calcs.  
Autocalc has been used.

Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 0.8584 ug/ml (95% confidence range: 0.8138 to 0.9054)

95% Confidence Factor: 1.055

Estimating Equation:  $\text{LOG } C = 1.157 \times \text{LOG } G - 0.0659$

Coeff. of Determination ( $R^2$ ): 0.9987

Slope: 0.8628

Correction Factor: 1.525

Toxicity units (TU50): 116.5 (108.9 to 124.6)

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 1.004ug/ml (95% confidence range: 0.9699 to 1.039)  
95% Confidence Factor: 1.035  
Estimating Equation:  $\text{LOG C} = 1.095 \times \text{LOG G} + 0.0017$   
Coeff. of Determination ( $R^2$ ): 0.9995  
Slope: 0.9126  
Correction Factor: 1.467  
Toxicity units (TU50): 99.60 (91.35 to 108.6)

There is no QA data available for this test.

# Ensayo 1 a 15 minutos

Signature: \_\_\_\_\_

Printed: 3/03/2004 02:28 PM

# MicrotoxOmni Test Report

Date: 3/03/2004 04:21 PM

Test Protocol: 90% Basic Test for Pure Compounds

Sample: BTEX 2000 ug/ml

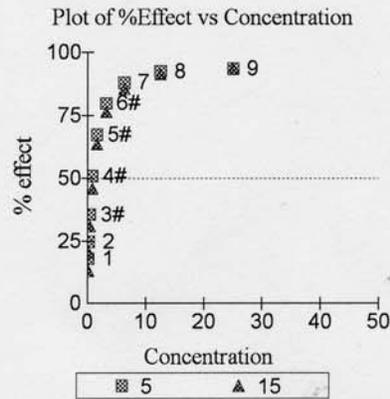
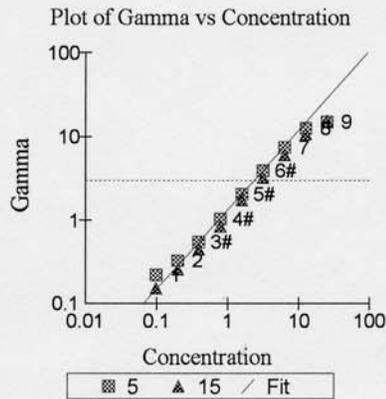
Toxicant: -

Reagent Lot no.:

Test description: BTEX 2000 ppm

Data File: Untitled Data File

## Ensayo 2 a 5 minutos



Sample	Conc	5 Mins Data:				15 Mins Data:		
		Io	It	Gamma	% effect	It	Gamma	% effect
Control	0.000	97.13	128.19	1.320 #		137.15	1.412 #	
1	0.0976	98.86	106.80	0.2217	18.14%	121.09	0.1528	13.25%
2	0.1953	100.19	99.42	0.3300	24.81%	112.50	0.2575 #	20.48%
3	0.3906	103.37	87.72	0.5552 #	35.70%	100.79	0.4482 #	30.95%
4	0.7813	104.56	67.43	1.047 #	51.14%	79.53	0.8564 #	46.13%
5	1.563	105.86	45.41	2.077 #	67.50%	54.01	1.768 #	63.87%
6	3.125	107.24	28.37	3.989 #	79.96%	35.42	3.275 #	76.61%
7	6.250	109.04	16.92	7.505	88.24%	21.74	6.082 #	85.88%
8	12.50	111.67	10.78	12.67	92.69%	13.23	10.92	91.61%
9	25.00	97.88	7.99	15.17	93.81%	8.34	15.57	93.97%

# - used in calculation; \* - invalid data; D - deleted from calcs.  
Autocalc has been used.

Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 0.7314 ug/ml (95% confidence range: 0.7053 to 0.7584)

95% Confidence Factor: 1.037

Estimating Equation:  $\text{LOG C} = 1.050 \times \text{LOG G} - 0.1358$

Coeff. of Determination ( $R^2$ ): 0.9998

Slope: 0.9523

Correction Factor: 1.320

Toxicity units (TU50): 136.7 (128.3 to 145.7)

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration:0.8830ug/ml (95% confidence range: 0.8398 to 0.9285)  
95% Confidence Factor: 1.052  
Estimating Equation:LOG C =1.077 x LOG G -0.0539  
Coeff. of Determination (R<sup>2</sup>):0.9990  
Slope: 0.9275  
Correction Factor: 1.412  
Toxicity units (TU50): 113.2 (100.7 to 127.3)

There is no QA data available for this test.

# Ensayo 2 a 15 minutos

Signature: \_\_\_\_\_

Printed: 3/03/2004 04:43 PM

# MicrotoxOmni Test Report

Date: 3/03/2004 04:49 PM

Test Protocol: 90% Basic Test for Pure Compounds

Sample: BTEX 2000 ug/ml

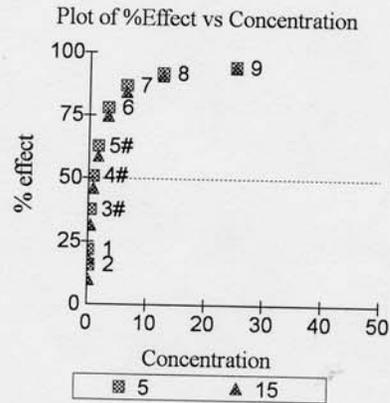
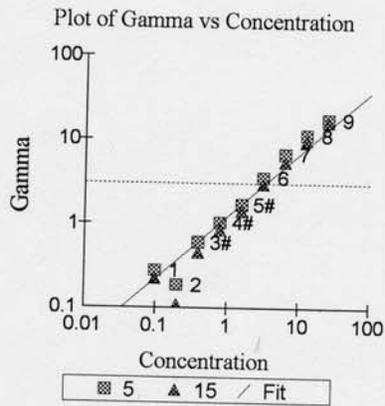
Toxicant: -

Reagent Lot no.:

Test description: BTEX 2000 ug/ml

Data File: Untitled Data File

## Ensayo 3 a 5 minutos



Sample	Conc	5 Mins Data:				15 Mins Data:		
		Io	It	Gamma	% effect	It	Gamma	% effect
Control	0.000	96.90	120.40	1.243 #		126.22	1.303 #	
1	0.0976	97.69	94.83	0.2800	21.87%	103.93	0.2244	18.33%
2	0.1953	98.09	102.55	0.1885	15.86%	115.14	0.1097	9.885%
3	0.3906	97.83	75.73	0.6051 #	37.70%	87.18	0.4617 #	31.59%
4	0.7813	97.18	59.14	1.042 #	51.02%	68.17	0.8569 #	46.15%
5	1.563	99.22	45.79	1.692 #	62.86%	53.22	1.428 #	58.82%
6	3.125	97.76	26.62	3.563	78.08%	31.94	2.987 #	74.92%
7	6.250	99.15	15.82	6.787	87.16%	20.01	5.454 #	84.51%
8	12.50	98.83	9.89	11.42	91.95%	11.67	10.03	90.93%
9	25.00	101.01	6.74	17.62	94.63%	7.49	16.57	94.31%

# - used in calculation; \* - invalid data; D - deleted from calcs.  
Autocalc has been used.

Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 0.7589 ug/ml (95% confidence range: 0.6378 to 0.9030)

95% Confidence Factor: 1.190

Estimating Equation:  $\text{LOG C} = 1.347 \times \text{LOG G} - 0.1198$

Coeff. of Determination ( $R^2$ ): 0.9989

Slope: 0.7419

Correction Factor: 1.243

Toxicity units (TU50): 131.8 (97.20 to 178.6)

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration:0.9502ug/ml (95% confidence range: 0.8678 to 1.040)  
95% Confidence Factor: 1.095  
Estimating Equation:LOG C =1.117 x LOG G -0.0216  
Coeff. of Determination (R<sup>2</sup>):0.9975  
Slope: 0.8926  
Correction Factor: 1.303  
Toxicity units (TU50): 105.2 (87.65 to 126.4)

There is no QA data available for this test.

# Ensayo 3 a 15 minutos

Signature: \_\_\_\_\_

Printed: 3/03/2004 05:09 PM

# MicrotoxOmni Test Report

Date: 3/03/2004 05:17 PM

Test Protocol: 90% Basic Test for Pure Compounds

Sample: BTEX 2000 ug/ml

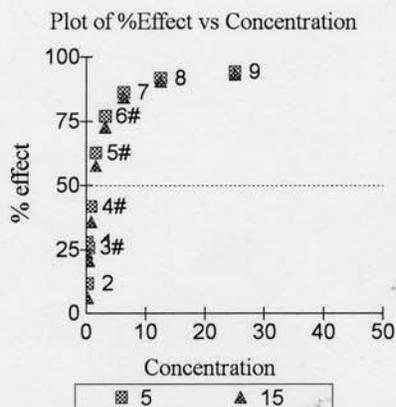
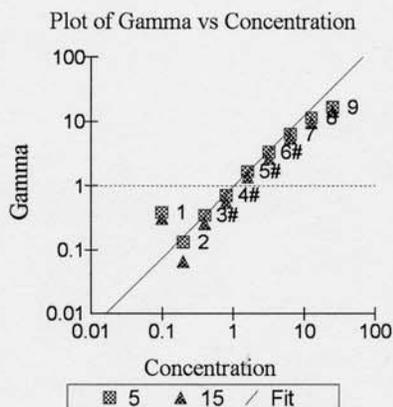
Toxicant: -

Reagent Lot no.:

Test description: BTEX 2000 ug/ml

Data File: Untitled Data File

## Ensayo 4 a 5 minutos



Sample	Conc	5 Mins Data:				15 Mins Data:		
		Io	It	Gamma	% effect	It	Gamma	% effect
Control	0.000	98.37	123.44	1.255 #		138.49	1.408 #	
1	0.0976	98.25	88.65	0.3907	28.10%	105.58	0.3101	23.67%
2	0.1953	98.94	109.41	0.1348	11.88%	130.60	0.0665	6.240%
3	0.3906	97.77	90.95	0.3490 #	25.87%	109.11	0.2615 #	20.73%
4	0.7813	99.14	72.25	0.7219 #	41.92%	89.25	0.5639 #	36.06%
5	1.563	101.90	47.44	1.695 #	62.90%	60.43	1.374 #	57.88%
6	3.125	104.32	29.83	3.388 #	77.21%	39.97	2.674 #	72.78%
7	6.250	105.32	17.85	6.404	86.49%	22.84	5.492 #	84.60%
8	12.50	106.91	10.62	11.63	92.08%	14.05	9.713	90.67%
9	25.00	107.91	7.57	16.89	94.41%	9.71	14.65	93.61%

# - used in calculation; \* - invalid data; D - deleted from calcs.  
Autocalc has been used.

Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 1.016ug/ml (95% confidence range: 0.9177 to 1.126)

95% Confidence Factor: 1.107

Estimating Equation: LOG C = 0.9020 x LOG G + 0.0071

Coeff. of Determination (R<sup>2</sup>): 0.9985

Slope: 1.107

Correction Factor: 1.255

Toxicity units (TU50): 98.39 (80.58 to 120.1)

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 1.282ug/ml (95% confidence range: 1.163 to 1.413)  
95% Confidence Factor: 1.102  
Estimating Equation:  $\text{LOG C} = 0.9045 \times \text{LOG G} + 0.1081$   
Coeff. of Determination ( $R^2$ ): 0.9977  
Slope: 1.103  
Correction Factor: 1.408  
Toxicity units (TU50): 77.99 (63.84 to 95.28)

There is no QA data available for this test.

# Ensayo 4 a 15 minutos

Signature: \_\_\_\_\_

Printed: 3/03/2004 05:38 PM

# MicrotoxOmni Test Report

Date: 3/03/2004 05:43 PM

Test Protocol: 90% Basic Test for Pure Compounds

Sample: BTEX 2000 ug/ml

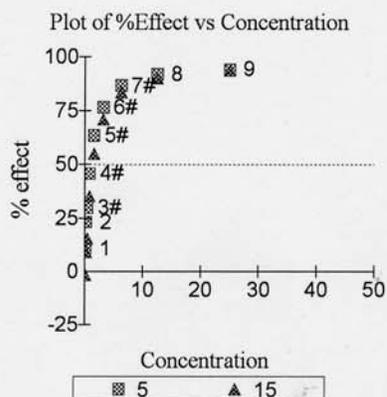
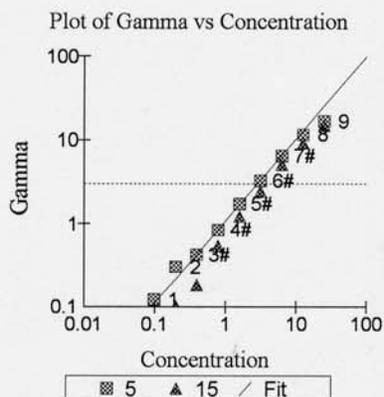
Toxicant: -

Reagent Lot no.:

Test description:

Data File: Untitled Data File

## Ensayo 5 a 5 minutos



Sample	Conc	5 Mins Data:				15 Mins Data:				
		Io	It	Gamma	% effect	It	Gamma	% effect		
Control	0.000	95.51	133.67	1.400	#	149.73	1.568	#		
1	0.0976	94.05	117.19	0.1232	10.97%	149.73-0.0152	*	-1.552%		
2	0.1953	94.36	101.28	0.3039	23.31%	134.17	0.1025	9.300%		
3	0.3906	95.16	93.20	0.4290	#	30.02%	125.87	0.1852	15.63%	
4	0.7813	95.14	71.98	0.8498	#	45.94%	96.37	0.5477	#	35.39%
5	1.563	95.31	48.52	1.749	#	63.63%	67.04	1.229	#	55.13%
6	3.125	96.28	31.35	3.298	#	76.73%	43.57	2.464	#	71.13%
7	6.250	96.27	17.74	6.595	#	86.83%	24.42	5.180	#	83.82%
8	12.50	98.39	10.80	11.75	92.16%	14.85	9.387	90.37%		
9	25.00	98.32	7.69	16.89	94.41%	9.53	15.17	93.82%		

# - used in calculation; \* - invalid data; D - deleted from calcs.

Autocalc has been used.

Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 0.9156ug/ml (95% confidence range: 0.8837 to 0.9487)

95% Confidence Factor: 1.036

Estimating Equation: LOG C = 1.016 x LOG G - 0.0382

Coeff. of Determination (R<sup>2</sup>): 0.9997

Slope: 0.9841

Correction Factor: 1.400

Toxicity units (TU50): 109.2 (102.5 to 116.4)

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 1.339ug/ml (95% confidence range: 1.227 to 1.461)  
95% Confidence Factor: 1.091  
Estimating Equation:  $\text{LOG C} = 0.9313 \times \text{LOG G} + 0.1269$   
Coeff. of Determination ( $R^2$ ): 0.9992  
Slope: 1.073  
Correction Factor: 1.568  
Toxicity units (TU50): 74.70 (66.01 to 84.53)

There is no QA data available for this test.

Signature: \_\_\_\_\_

# Ensayo 5a 15 minutos

Printed: 3/03/2004 06:03 PM

## **SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

**NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-138-ECOL-2002,  
Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos  
afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos  
para la restauración.**

**Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos  
Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.**

CASSIO LUISELLI FERNANDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5 fracciones V, VI, XI, XVI, 98 fracción V, 134 fracción V, 139, 140, 150, 151 Bis y 152 Bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 40 fracción X, 41 y 48 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 86 fracción VI, 96, 119, 120, 121, 122 y 123 de la Ley de Aguas Nacionales; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 4, 5, 6, 8 fracciones II y VI, y 42 del Reglamento a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos; y 6 fracción VIII y 24 fracciones I y IV del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

### **CONSIDERANDO**

Que el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, tiene como primer objetivo el de detener y revertir la contaminación de los recursos agua, aire y suelo, con el propósito de garantizar su conservación para las generaciones futuras.

Que no se cuenta con un marco normativo suficiente y transparente que precise los límites máximos permisibles de contaminación en suelos, la metodología para caracterizar los sitios contaminados, ni los procedimientos que se deben llevar a cabo cuando se produce una emergencia por derrame de hidrocarburos y/o en las acciones de restauración de suelos contaminados por éstos o sus derivados.

Que la fracción XVI del artículo 3o. de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, define como "Emergencia ecológica: Situación derivada de actividades humanas o fenómenos naturales que al afectar severamente a sus elementos, pone en peligro a uno o varios ecosistemas".

Que las principales sustancias involucradas en los derrames de hidrocarburos son: petróleo crudo, combustóleo, diesel, gasolina y turbosina.

Que los derrames de hidrocarburos, por las sustancias que involucran, se consideran como emergencias ambientales debido a que pueden poner en peligro en los lugares donde se producen, la integridad de los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

Que un derrame de hidrocarburos, cuando permanece sin ser atendido, causa daños constantes y crecientes al suelo y a otros recursos naturales.

Que aun cuando en el país se cuenta con un número suficiente de empresas especializadas en la atención de emergencias ambientales y la restauración de suelos, quienes contratan sus servicios no tienen elementos de certidumbre sobre la efectividad de los resultados y sobre si éstos serán finalmente aceptados por la autoridad.

Que la falta de procedimientos estandarizados para la restauración de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos constituye uno de los principales factores de dicha incertidumbre.

Que en el documento Procedimiento para Atención de Emergencias Ambientales Asociadas con Sustancias Químicas, Caracterización y Restauración de Suelos, elaborado por el Grupo Interno de Trabajo de la SEMARNAT y la PROFEPA, se establecen criterios de limpieza de suelos contaminados por sustancias provenientes de la industria petrolera, pero que éstos no tienen el carácter jurídico de una Norma Oficial Mexicana.

Que dada la urgente necesidad de atender las emergencias ambientales provocadas por derrame de hidrocarburos para evitar el riesgo que implican al medio ambiente, y para dar certidumbre en sus acciones de restauración, a quienes causen los derrames o a quienes sean contratados con el propósito de restaurar los sitios afectados, he tenido a bien expedir la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM-138-ECOL-2002, QUE ESTABLECE LOS  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACION EN SUELOS AFECTADOS POR  
HIDROCARBUROS, LA CARACTERIZACION DEL SITIO Y PROCEDIMIENTOS  
PARA LA RESTAURACION**

**INDICE**

1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Abreviaturas
6. Límites máximos permisibles
7. Caracterización del sitio
8. Procedimientos para la restauración de suelo
9. Evaluación de la conformidad
10. Grado de concordancia con normas internacionales
11. Bibliografía
12. Observancia de esta Norma

**1. Objetivo**

El objetivo de esta Norma Oficial Mexicana es establecer los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y los procedimientos para la restauración.

**2. Campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para quienes lleven a cabo actividades en cuyo desarrollo se produzcan derrames de hidrocarburos, sus mezclas y/o sustancias derivadas de los mismos.

**3. Referencias**

No existen al momento de elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia.

**4. Definiciones**

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y las que a continuación se mencionan:

**4.1 Agente químico oxidante**

Es toda sustancia que produce una reacción de oxidación. El agente debe 1) proveer el oxígeno a la sustancia para ser oxidada (en este caso el agente deberá ser un oxígeno o contenerlo), o 2) recibir los electrones que están siendo transferidos a partir de la sustancia que está siendo oxidada.

**4.2 Agente tensoactivo o surfactante**

Compuesto químico que reduce la tensión superficial de un líquido o la tensión interfacial de dos líquidos o de un líquido y un sólido, aumentando el contacto entre una fase orgánica hidrofóbica y una fase acuosa.

**4.3 Cadena de custodia**

Registro de las muestras, su transportación y movimientos, desde su recolección hasta su ingreso al laboratorio.

**4.4 Caracterización del sitio**

Determinación cualitativa y cuantitativa de la distribución de un parámetro. Cuando se refiere al suelo se deberá interpretar como la determinación cualitativa y cuantitativa de la distribución de una sustancia en el mismo, expresada en términos de la concentración de la sustancia medida por un método aprobado. La determinación puede ser completada con la determinación de una o más características de interés, las

cuales a manera enunciativa, más no limitativa, pueden ser geológicas, hidrogeológicas, biológicas y químicas.

#### **4.5 Contingencia ambiental**

Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas.

#### **4.6 Derrame**

Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos u otras sustancias peligrosas, en estado líquido, que se presenten en tierra y/o cuerpos de agua.

#### **4.7 Dilución de suelo contaminado**

Acción de adición de un material que se agrega específicamente para reducir la concentración de uno o más contaminantes.

#### **4.8 Efluentes**

Descarga de contaminantes al ambiente, parcial o totalmente tratados o en su estado natural; este término es generalmente usado para la descarga de aguas residuales a ríos, lagos o cuerpos de agua en general.

#### **4.9 Emergencia ambiental**

Evento o circunstancia indeseado, que ocurre repentinamente y que resulta en la liberación no controlada, incendio o explosión de una o varias sustancias peligrosas para el ambiente y/o la salud humana, de manera inmediata o a largo plazo.

#### **4.10 Entidades de acreditación**

La Entidad Mexicana de Acreditación, A.C.

#### **4.11 Hidrocarburos**

Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.

#### **4.12 Laboratorio de Pruebas**

El laboratorio de pruebas acreditado y aprobado conforme lo establece la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

#### **4.13 Ley**

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

#### **4.14 Lixiviado**

Líquido proveniente de residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

#### **4.15 Métodos Analíticos**

Los métodos propuestos en el inciso 6 de esta Norma, mediante los cuales se harán los análisis para la caracterización de las muestras de los sitios contaminados por hidrocarburos.

#### **4.16 Muestreo dirigido**

Tipo de muestreo casuístico que se lleva a cabo sobre determinados puntos, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado (normalmente uno solo) y se puede determinar la extensión de la afectación y el tiempo transcurrido desde el derrame.

#### **4.17 Muestreo estadístico**

Muestreo realizado conforme los métodos matemáticos establecidos, cuya función es dar certidumbre a través de observaciones determinadas, sobre diferentes parámetros para el total del universo.

#### **4.18 Pasivo ambiental**

Suelo, subsuelo, mantos freáticos y/o cuerpos de agua, que fueron contaminados mediante un proceso prolongado, cuya restauración no se ha efectuado, debido a una o varias de las siguientes condiciones: las dimensiones, las características específicas de la(s) sustancia(s) involucrada(s), el elevado costo y/o la complejidad; pero que implican una obligación de corrección de acuerdo al marco legal vigente.

#### **4.19 Residuos aceitosos**

Mezclas de hidrocarburos o residuos de hidrocarburos de cadena larga. En esta clasificación encontramos entre otros, al petróleo crudo, combustóleo, emulsiones y asfalto.

#### **4.20 Restauración**

Es el conjunto de actividades tendientes a la recuperación y reestablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. En relación con el suelo, se entiende como el conjunto de acciones necesarias para recuperar y restablecer sus condiciones, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para el predio o zona respectiva. Para los propósitos de esta Norma, se utiliza el término restauración como sinónimo de remediación, reversión, saneamiento, limpieza, rehabilitación y regeneración.

#### **4.21 Riesgo ambiental**

La probabilidad de que las personas físicas o morales, a través de sus actividades, procesos o accidentes durante los mismos, afecten adversamente a los ecosistemas, o el bienestar, integridad y salud de la población.

#### **4.22 Sitio**

Lugar, espacio, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos, relacionados con suelos contaminados por materiales y residuos peligrosos.

#### **4.23 Suelo**

Material no consolidado 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.

#### **4.24 Suelo contaminado**

Aquél en el que se encuentran presentes uno o más materiales o residuos peligrosos y que puede constituir un riesgo para el ambiente y la salud.

#### **4.25 Unidad de verificación**

La persona física o moral acreditada y aprobada conforme a la Ley, que realiza actos de verificación.

#### **4.26 Uso de suelo**

Adaptación más o menos racional de la gestión de un territorio a las necesidades humanas.

#### **4.27 Uso de suelo predominante**

Uso de suelo o actividad cuyo desarrollo es congruente con las características y diagnóstico ambiental (aptitud territorial); responde a la estrategia de desarrollo definida por los planes de desarrollo de ordenamiento territorial, para esa porción del territorio; se pretende incentivar en función de las metas estratégicas regionales o tiene un mayor grado de ocupación de la unidad territorial.

#### **4.28 Verificación**

La constatación ocular o comprobación mediante medición y pruebas que se realizan para evaluar la conformidad con esta Norma Oficial Mexicana.

### **5. Abreviaturas**

#### **5.1 BTEX**

Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.

#### **5.2 COATEA**

Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales.

#### **5.3 DGMIC**

Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes de la SEMARNAT.

#### **5.4 EMA**

Entidad Mexicana de Acreditación, A.C.

#### **5.5 EPA (siglas en inglés)**

Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica.

#### **5.6 HTP**

Hidrocarburos totales del petróleo.

**5.7 HAP**

Hidrocarburos aromáticos polinucleares.

**5.8 p.p.m.**

Partículas por millón.

**5.9 PROFEPA**

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

**5.10 SEMARNAT**

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**6. Límites máximos permisibles**

**6.1** Los productos asociados a los derrames de hidrocarburos para los que se establecen límites máximos permisibles de contaminación en suelos se enlistan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Parámetros a analizar asociados a los hidrocarburos para los que se establecen límites máximos permisibles de contaminación en suelos**

<b>Parámetro Productos</b>	<b>HTP Fracción de productos aceitosos</b>	<b>HTP Fracción de diesel</b>	<b>HTP Fracción de gasolina</b>	<b>BTEX</b>	<b>HAP</b>
Petróleo crudo	X				X
Combustóleo	X				X
Emulsiones	X				X
Asfalto	X				X
Parafinas	X				X
Diesel		X			X
Turbosina		X			X
Keroseno		X			X
Aceites lubricantes		X			X
Vaselinas		X			X
Aceites combustibles ligeros		X			X
Gasavión			X	X	
Gasolvente			X	X	
Gasolina magna			X	X	
Gasolina premium			X	X	
Gas nafta			X	X	
Eter de petróleo			X	X	
Ligroina			X	X	
Thiner			X	X	
Producto alquilado			X	X	
Aromina			X	X	

**6.2** Los límites máximos permisibles de contaminación en suelos por hidrocarburos, medidos en mg/kg (ppm), se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminación en suelos (valores referidos a base seca) mg/kg (ppm)**

Contaminantes	Uso de suelo predominante <sup>1</sup>			Método analítico (EPA)
	Agrícola, forestal, recreativo y de conservación	Residencial comercial	Industrial	
<u>Gasolina</u>				
HTP	200.00	200.00	500.00	8015B
Benceno	20.00	20.00	50.00	8240*, 8260*
Tolueno	40.00	40.00	100.00	8240*, 8260*
Xilenos	40.00	40.00	100.00	8240*, 8260*
<u>Diesel</u>				
HTP	1,000.00	1,000.00	2,000.00	8015B
Benzo[a]pireno	0.08	0.08	0.80	8310*, 8270*
Benzo[a]antraceno	0.80	0.80	8.00	8310*, 8270*
Benzo[b]fluoranteno	0.80	0.80	8.00	8310*, 8270*
Benzo[k]fluoranteno	8.00	8.00	80.00	8310*, 8270*
Criseno	80.00	80.00	800.00	8310*, 8270*
<u>Productos aceitosos</u>				
HTP	1,000.00	1,000.00	2,000.00	418.1
Benzo[a]pireno	0.08	0.08	0.75	8310*, 8270*
Benzo[a]antraceno	0.80	0.80	7.50	8310*, 8270*
Benzo[b]fluoranteno	0.80	0.80	7.50	8310*, 8270*
Benzo[k]fluoranteno	8.00	8.00	75.00	8310*, 8270*
Criseno	80.00	80.00	750.00	8310*, 8270*

\* Métodos analíticos alternativos

<sup>1</sup> Para usos de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados.

## 7. Caracterización del sitio

### 7.1 Elementos de la caracterización

7.1.1 La caracterización del sitio deberá contener los siguientes elementos:

- a) Estudios de campo del sitio.
- b) Muestreo y caracterización del sitio.
- c) Selección del equipo de muestreo apropiado.
- d) Selección del recipiente apropiado y conservación de las muestras.
- e) Número de muestras.
- f) Responsabilidades de la empresa muestreadora.
- g) Identificación de las muestras.
- h) Registro de la información del muestreo.

### 7.1.2 Estudios de campo del sitio

7.1.2.1 Deberá verificarse la documentación disponible acerca del sitio y del contaminante, a través del propietario del predio, de entrevistas a los vecinos sobre las actividades desarrolladas en el terreno, de reportes geológicos existentes, de planos geohidrológicos y de información municipal existente del sitio.

7.1.2.1 Con base en la revisión documental citada en el punto anterior, se deberán realizar estudios directos de estratigrafía y edafología para determinar las condiciones reales del sitio a fin de poder realizar estimaciones correctas y apropiadas sobre el posible comportamiento del contaminante en el sitio afectado.

7.1.2.2 Estos estudios deberán ser entregados a la PROFEPA para que cuente con elementos técnicos de análisis.

**7.1.2.3** Una vez conjuntada, revisada y evaluada dicha información, el responsable de la contaminación procederá a establecer la estrategia de muestreo.

#### 7.1.3 Muestreo y caracterización del sitio

**7.1.3.1** En el caso de eventos notificados como emergencias ambientales a PROFEPA, en los que se conoce el producto derramado (normalmente uno solo), y se puede determinar la extensión de la afectación y el tiempo transcurrido desde la ocurrencia del evento, se podrá aplicar el método de muestreo dirigido.

**7.1.3.2** En el caso de sitios abandonados o pasivos ambientales, en los cuales se desconoce la extensión y la profundidad de la afectación, generalmente se tiene una mezcla de contaminantes y ha transcurrido un lapso prolongado desde que se depositaron los contaminantes, se aplicará el muestreo estadístico.

**7.1.3.3** La metodología debe incluir los puntos seleccionados de muestreo, la profundidad y el número, volumen y tipos de muestras que habrán de tomarse.

#### 7.1.4 Selección del equipo de muestreo apropiado

**7.1.4.1** En la Tabla 3 se presenta una lista de equipo que se recomienda utilizar para la toma de muestras sólidas.

**Tabla 3. Equipo para toma de muestras**

Tipo de muestreador	Aplicación	Observación
Cuchara o cucharones	Se podrá aplicar este tipo de dispositivos para el muestreo de suelos hasta 0.3 metros de profundidad o cuando se deba realizar la toma de muestras en fondo de fosas o paredes de fosas.	Este tipo de dispositivo de muestreo, solamente se deberá aplicar en muestreos someros o como elemento auxiliar en la colección de muestras extraídas con barrenas.
Barrenas (auger) de cualquier tipo	Unicamente se podrá utilizar este equipo cuando las condiciones particulares del sitio (por ejemplo, manto rocoso cercano a la superficie) impidan el uso de los nucleadores. Por ello, se debe realizar la descontaminación de la barrena antes de la toma de muestra y esta muestra no podrá ser utilizada para la determinación de compuestos orgánicos volátiles (hpt fracción gasolina y BTEX).	No existe restricción en cuanto al tipo de suelo y profundidad, solamente se restringe su uso en función del compuesto que se muestra.
Nucleadores	Uso general.	Los nucleadores podrán ser utilizados con tubos (liners) y tapas de teflón.
Penetrómetros	Podrán ser utilizados para el muestreo de cualquier tipo de contaminante, pero previo a su uso se deberán descontaminar.	El transvasado de la muestra de suelo al recipiente se deberá realizar con guantes de látex o equivalentes. Cuando se utilice para gasolina y compuestos orgánicos volátiles, la operación deberá realizarse inmediatamente.
Tubo Shelby	Podrán ser utilizados para el muestreo de cualquier tipo de contaminante, pero previo a su uso se deberán descontaminar.	El trasvase de la muestra de suelo al recipiente se deberá realizar con guantes de látex o equivalentes. Cuando se utilice para gasolina y compuestos orgánicos volátiles, la operación deberá realizarse inmediatamente.
Nucleadores por empuje directo	Uso general.	Los nucleadores deberán ser utilizados con tubos (liners) y tapas de teflón.

2. Las muestras de suelo no podrán ser recolectadas de las barras o extensiones de la barrena, ya sea helicoidal (sólida o hueca), extensiones sólidas o de las uniones de las extensiones; es decir, solamente podrán ser tomadas de la sección de corte de la barrena.

#### 7.1.5 Selección del recipiente apropiado y conservación de las muestras

**7.1.5.1** Para la selección del recipiente apropiado y la preservación de las muestras deben observarse las especificaciones contenidas en la Tabla 4; estos recipientes deberán ser nuevos o bien deberán haber sido aprobados por el laboratorio responsable del análisis.

**Tabla 4. Recipientes para las muestras, conservación y tiempo máximo de retención por tipo de parámetro**

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de retención <sup>2</sup>
Htp Fracción aceites	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón.	Enfriar a 4°C	14 días
BTEX	Vial de vidrio, con tapa y sello de teflón. Liner de teflón (sumistro original del fabricante del equipo de muestreo, si se emplea nucleador) con tapas de teflón.	Enfriar a 4°C	7 días
HTP Fracción Gasolina		Enfriar a 4°C	14 días
Htp Fracción Diesel	original del fabricante del equipo de muestreo, si se emplea nucleador) con tapas de teflón.	Enfriar a 4°C	14 días
HAP		Enfriar a 4°C	14 días
Potencial de hidrógeno	Plástico o vidrio	No aplica	Análisis de inmediato

<sup>2</sup> El tiempo máximo de retención o tiempo máximo de almacenamiento se refiere al lapso que no deberá ser excedido desde que se toma la muestra hasta que se realiza la extracción del analito de interés.

#### 7.1.6 Número de muestras

**7.1.6.1** El número de muestras para garantizar la cobertura física, en extensión y profundidad, del suelo contaminado se determinará de acuerdo con los siguientes lineamientos:

**7.1.6.1.1** Se deberá tomar una muestra simple (no compuesta) de suelo superficial (intervalo de profundidad 0.00 a 0.15 m) por cada 100 m<sup>2</sup> de área afectada. La toma de una muestra de suelo superficial por cada 100 m<sup>2</sup> no es limitativa, por lo que podrá tomarse más de una muestra superficial por cada 100 m<sup>2</sup>.

**7.1.6.1.2** Además de las muestras superficiales, se deberán tomar en cada uno de los puntos en los que se hayan tomado cada una de las muestras superficiales, una muestra simple por cada metro de profundidad que abarque desde los 0.15 m inmediatos anteriores a cada metro, hasta llegar a puntos donde el suelo esté por debajo del límite máximo permisible establecido.

**7.1.6.1.3** En los casos en que por las particulares circunstancias del sitio afectado, la extensión, los intervalos de profundidad o la cantidad de muestras anteriormente señaladas sean modificados, se deberá justificar tal situación en el cuerpo de la propuesta de caracterización, con elementos técnicos verificables.

**7.1.6.1.4** Como un procedimiento de aseguramiento de calidad, se tomará una muestra duplicada por cada cinco muestras tomadas.

**7.1.6.1.5** Cuando se observe en la inspección que la afectación involucra líquidos que por su viscosidad tengan apariencia de sólidos, o cuando se trate de sólidos que no estén percolándose o infiltrándose, sólo se tomarán muestras superficiales.

**7.1.6.1.6** Para disminuir la posibilidad de contaminación cruzada, el equipo de toma de muestras deberá ser cambiado por uno limpio o lavado con un detergente adecuado después de que la muestra haya sido tomada.

#### 7.2 Responsabilidades de la empresa restauradora

**7.2.1** Seleccionar los equipos y trajes individuales de protección personal contra los riesgos de origen químico, biológico y físico que puedan presentarse durante el muestreo.

**7.2.2** Proporcionarlos a todos los participantes, y

**7.2.3** Verificar su correcto uso, mantenerlos, manejarlos y, en su caso, descontaminarlos, debiendo contar con registros de dichas operaciones.

#### 7.3 Identificación de las muestras

**7.3.1** Cada muestra deberá ser etiquetada y sellada apropiada e inmediatamente después de ser tomada. En la etiqueta debe incluirse la profundidad a la que corresponden las muestras, el número de muestra, fecha

y hora de recolección, punto de muestreo y nombre del técnico que lo realizó. Los sellos con papel adhesivo deberán estar debidamente firmados por quienes intervienen en la diligencia.

#### **7.4 Registro de la información del muestreo**

**7.4.1** Toda la información pertinente con respecto al muestreo deberá quedar asentada en una bitácora foliada, la cual será resguardada por cinco años para cualquier aclaración posterior. Deberá registrarse como mínimo la siguiente información:

- a) Descripción y localización del sitio contaminado.
- b) Localización de los puntos de muestreo.
- c) Observaciones en campo.
- d) Tipo de contaminante presente.
- e) Número y volumen de las muestras tomadas.
- f) Fecha y hora de recolección.
- g) Número de identificación de la muestra.
- h) Distribución de la muestra.
- i) Mediciones realizadas en campo.
- j) Croquis con referencias de los puntos de muestreo.

**7.4.2** En cualquier caso se debe anotar la información necesaria y suficiente para que otra persona pueda reconstruir la situación de muestreo.

#### **7.5 Llenado y registro de la cadena de custodia**

**7.5.1** Para documentar formalmente la transportación y movimientos de las muestras desde el momento de su recolección hasta su ingreso al laboratorio, se debe llevar un registro de cadena de custodia, mismo que tendrá que acompañar a las muestras.

**7.5.2** La cadena de custodia debe apegarse a los procedimientos autorizados a los laboratorios acreditados para realizar pruebas conforme a los métodos analíticos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma.

#### **7.6 Envío de las muestras al laboratorio**

**7.6.1** Cuando se envíe una muestra al laboratorio, deberá ser empacada de acuerdo a lo establecido en la Tabla 4 y se deberá verificar que llegue íntegra y con la temperatura establecida en la misma tabla.

**7.6.2** Todos los paquetes deberán estar acompañados por la cadena de custodia de análisis y el registro de la cadena de custodia, las cuales deben ser legibles en cada uno de los paquetes, adicionalmente deberá contener la dirección completa de la persona que manda el envío y la dirección del laboratorio que recibe las muestras.

### **8. Procedimientos para la restauración de suelos en caso de emergencias ambientales.**

#### **8.1 Notificación**

**8.1.1** Las emergencias ambientales se notificarán a la PROFEPA de inmediato, y se ratificarán dentro de los tres días siguientes al día en que haya ocurrido el siniestro.

**8.1.2** El Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA), perteneciente a la PROFEPA, está facultado para proporcionar información sobre las características de riesgo y las medidas a considerar sobre la(s) sustancia(s) involucrada(s) en el evento.

**8.1.3** La PROFEPA verificará en el lugar de la emergencia las primeras acciones para su control.

**8.1.4** La PROFEPA levantará un acta de inspección a efecto de circunstanciar los hechos u omisiones detectados en el sitio.

#### **8.2 Muestreo y caracterización del sitio**

**8.2.1** El muestreo para la caracterización del sitio se llevará a cabo conforme quedó establecido en los numerales 7.1.3 a 7.1.6 y 7.3 a 7.6 de esta Norma.

**8.2.2** Se deberá dar aviso por escrito a la PROFEPA del inicio de los trabajos de caracterización con cinco días de anticipación.

**8.2.3** Los análisis de las muestras deberán ser efectuados por un laboratorio acreditado para realizar pruebas de acuerdo a los métodos analíticos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma.

**8.2.4** Para determinar si se requiere de la restauración de un suelo contaminado por hidrocarburos se deberán considerar los límites máximos permisibles de contaminación de suelos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma.

**8.2.5** En el caso de que las pruebas de laboratorio indiquen que existe contaminación de agua (superficial y/o subterránea) la CNA procederá a la aplicación de los procedimientos establecidos en el Manual de Atención de Emergencias Hidroecológicas Relacionadas con las Aguas Nacionales Continentales.

**8.2.6** En el caso de que los resultados de los análisis de las muestras tomadas en la caracterización se encuentren niveles de contaminación iguales o menores a los límites máximos permisibles de contaminación en suelos, establecidos en el numeral 6.1 de esta Norma, no serán necesarios los trabajos de restauración; sin embargo, la PROFEPA podrá solicitar la restitución de vegetación o la reparación de algún otro daño ocasionado a los recursos naturales.

### **8.3 Restauración del sitio**

**8.3.1** En el caso de que los resultados del laboratorio se encuentren por arriba de los límites máximos permisibles de contaminación en suelos, establecidos en el numeral 6.1 de esta Norma, el responsable de la contaminación, deberá presentar a la Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes de la SEMARNAT, una propuesta de restauración de suelo en la que se indiquen, entre otras cosas, la metodología por seguir y el tiempo en que se llevará a cabo.

**8.3.2** Las observaciones sobre la propuesta de restauración a que se refiere el numeral 8.3.1 de esta Norma, que, en su caso, formule la DGMIC, deberá comunicarlas al responsable de la contaminación durante las 24 horas siguientes cuando se trate de una emergencia ambiental, o en los 10 días posteriores en otros casos.

**8.3.3** En la propuesta de restauración se deberán tomar en cuenta los siguientes criterios:

**8.3.3.1** Considerar el control o tratamiento de emisiones y efluentes, en caso de que los contaminantes se puedan transferir de una matriz a otra.

**8.3.3.2** No generar mayores disturbios ambientales que los producidos por el derrame. Queda prohibida la dilución de suelo contaminado, entendiéndose por ello la mezcla de suelo contaminado con suelo limpio o menos contaminado.

**8.3.3.3** Cuando se utilicen en el lavado de suelos fórmulas comerciales, agentes tensoactivos u otros compuestos como sustratos, se deberá cuidar que los productos resultantes de las reacciones no representen un riesgo mayor al ambiente y a la preservación del hábitat natural de las especies de flora y fauna. No deberán utilizarse agentes químicos oxidantes como sustitutos de procesos de carácter biológico. Cuando las actividades de limpieza impliquen la construcción de obra civil o hidráulica adicional a la existente se deberá presentar una manifestación de impacto ambiental.

**8.3.4** Solamente en aquellos sitios en los que el responsable de la contaminación demuestre mediante testimonios documentales que no es factible cumplir con los límites máximos permisibles de contaminación en suelos, establecidos en los numerales 6.1 y 6.2 de esta Norma, y que los niveles alcanzados no representan riesgo al medio ambiente y/o a la preservación del hábitat natural de las especies de flora y fauna, la DGMIC podrá autorizar por excepción, niveles de limpieza diferentes.

**8.3.5** El responsable de la contaminación comunicará a la PROFEPA, con 10 días hábiles de anticipación, el término de los trabajos de restauración del suelo, para que el personal de ésta asista al sitio en un plazo no mayor de 10 días hábiles a fin de supervisar la toma de muestras en los puntos que, bajo los criterios técnicos establecidos en esta Norma, seleccionen los inspectores de la PROFEPA. Las muestras deberán enviarse a un laboratorio acreditado ante una entidad mexicana de acreditación para realizar pruebas de acuerdo a los métodos analíticos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma.

### **8.4 Liberación del sitio**

**8.4.1** Una vez recibidos en la PROFEPA los resultados de los análisis de las muestras del suelo de acuerdo a lo establecido en el numeral 8.2.1 de esta Norma, ésta analizará dicha información y determinará lo

conducente, en un plazo no mayor a diez días hábiles, pudiendo dar por concluidos los trabajos de restauración, siempre y cuando no haya contaminación de agua superficial, subterránea o sedimentos, en cuyo caso, la PROFEPA se deberá coordinar con la Comisión Nacional del Agua para, de conformidad, dar por terminados los trabajos de restauración.

## 9. Evaluación de la conformidad

**9.1** La evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia será realizada por la SEMARNAT.

**9.2** En el caso de lo dispuesto en los numerales 7.1.3.1 a 7.1.3.3, 7.1.4.1, 7.1.5.1, 7.1.6.1 a 7.1.6.6, 7.2.1 a 7.2.3, 7.3.1, 7.4.1, 7.4.2, 7.5.1, 7.5.2, 7.6.1 y 7.6.2, la evaluación de la conformidad podrá ser realizada por los laboratorios acreditados ante una entidad mexicana de acreditación, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

## 10. Grado de concordancia con normas internacionales

Esta Norma no coincide con ninguna Norma Internacional por no existir Norma Internacional sobre el tema que integre las disposiciones técnicas y de procedimientos que se establecen en la presente Norma. Sin embargo, ésta se elaboró con base en métodos analíticos y fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## 11. Bibliografía

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Lineamientos Finales para la Evaluación de Exposiciones. FR 57 (104) 22888-22938. 1992.

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Metas Preliminares para la Región IX (PRGs). 1999. <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg>.

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Remediaciones Supuestas. Caracterización del Sitio y Selección de Tecnologías para Sitios Contaminados con Componentes Orgánicos Volátiles en Suelos. Referencias Rápidas. Oficina de Emergencias y División de Control 5203G de Respuestas de Remediación en Sitios Peligrosos.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Análisis de Hidrocarburos del Petróleo en el Medio Ambiente (Volumen 1) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1998.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Evaluación de Riesgo a la Salud de Sitios Liberados de Petróleo: Implementación de los Acercamientos del Grupo de Trabajo (Volumen 4) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1997.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Selección de fracciones representativas de HTP basada en consideraciones de transporte y destino. (Volumen 3) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1997.

Grupo de Trabajo PROFEPA-SEMARNAT Procedimiento para Atención de Emergencias Ambientales, Asociadas con Sustancias Químicas, Caracterización y Restauración de Suelos, Documento Interno. México, mayo de 2002.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 17a. Edición. Porrúa. México. 1999.

Ley de Aguas Nacionales. Publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 1 de diciembre de 1992.

Reglamento a la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos. Publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de noviembre de 1998. México, 1998.

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de enero de 1994. México, 1994.

Saval, Susana. Remediación y restauración. En: Pemex Ambiente y Energía, Los Retos del Futuro, UNAM-Petróleos Mexicanos, México, 1995. Págs.151-189.

Saval, Susana. La Biorremediación como alternativa para la limpieza de sitios contaminados con hidrocarburos. En Memorias del Seminario Internacional sobre Restauración de Sitios Contaminados, Instituto Nacional de Ecología, México, 26 al 29 de mayo, México. 1997. Págs. 141-147.

Saval, Susana. Exitos y fracasos de la remediación de suelos. En: Conservación y Restauración de Suelos, UNAM, PUMA, SEMARNAP, Editores: Christina Siebe *et al.*, México,1999. Págs. 511-526.

Seoanez Calvo, Mariano *et al.* Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. 1996. Ed. Mundi-Prensa, Barcelona.

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group. Human Health Risk-based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing The Working Group Approach (Volume 4). Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1997.

Seoanez Calvo, Mariano. El gran diccionario del medio ambiente y la contaminación. Mundi-Reusa/Coediciones. México, 1997.

## **12. Observancia de esta Norma**

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y la Comisión Nacional del Agua, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales y demás disposiciones legales aplicables.

### **TRANSITORIO**

**UNICO.-** La presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia, entrará en vigor el día siguiente a su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, Distrito Federal, a los dos días del mes de agosto de dos mil dos.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, **Cassio Luiselli Fernández**.- ...Rúbrica.

# SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE

## Y RECURSOS NATURALES

**PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, Que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y restauración.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS Y LAS ESPECIFICACIONES PARA SU CARACTERIZACION Y RESTAURACION.**

**JUAN JOSE GARCIA DE ALBA BUSTAMANTE, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II y IV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5 fracciones V y XI, 15 fracción IV, 36, 37 Bis, 98 fracción V, 134 fracción V, 139 y 151 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 40 fracción X, 44, 46 fracción I y 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 4, 5, 6 y 42 del Reglamento a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, y 1, 4 y 8 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; he tenido a bien expedir, para consulta pública, el siguiente Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, Que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y restauración.**

El presente Proyecto de Norma Oficial Mexicana fue aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión celebrada el 21 de mayo de 2003, y se publica, para consulta pública, de conformidad con el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, a efecto de que los interesados dentro de los 60 días naturales, contados a partir de la fecha de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**, presenten sus comentarios ante el citado Comité, sito en bulevar Adolfo Ruiz Cortines número 4209, quinto piso, colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, código postal 14210, Distrito Federal, o en los correos electrónicos: [aescamilla@semarnat.gob.mx](mailto:aescamilla@semarnat.gob.mx), [oaraiza@semarnat.gob.mx](mailto:oaraiza@semarnat.gob.mx), [jnavarro@semarnat.gob.mx](mailto:jnavarro@semarnat.gob.mx) Durante el plazo mencionado, la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estará a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité antes señalado.

## **PREFACIO**

- En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron:
- SECRETARIA DE ENERGIA
- SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
- SECRETARIA DE SALUD
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA  
Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
- PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCION AMBIENTAL  
Subprocuraduría de Inspección Ambiental  
Subprocuraduría de Auditoría Ambiental
- COMISION NACIONAL DEL AGUA
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION

- CONFEDERACION DE CAMARAS INDUSTRIALES
- ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ)
- ONEXPO NACIONAL, A.C.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
  - Instituto de Geografía
  - Instituto de Ingeniería
- INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
- COLEGIO DE INGENIEROS PETROLEROS
- COLEGIO DE INGENIEROS AMBIENTALES DE MEXICO
- SOCIEDAD DE RESTAURACION DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA, A.C.
- AGENCIA DE COOPERACION TECNICA ALEMANA-GTZ
- PETROLEOS MEXICANOS
  - Dirección Corporativa de Seguridad Industrial y Protección Ambiental
  - Pemex Exploración y Producción
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- FERROCARRILES NACIONALES DE MEXICO
- OPERADORA INTERGRUPO, S.A. DE C.V.

## **INDICE**

0. Introducción
1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Abreviaturas
6. Límites máximos permisibles
7. Especificaciones para la caracterización
8. Especificaciones ambientales para la restauración
9. Evaluación de la conformidad
10. Grado de concordancia con normas internacionales
11. Bibliografía
12. Observancia de esta Norma
  - Anexo A
  - Anexo B

### **0. Introducción**

El Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, tiene como primer objetivo detener y revertir la contaminación de los recursos naturales, agua, aire y suelo, con el propósito de garantizar su conservación para las generaciones futuras.

Los derrames de hidrocarburos, por las sustancias que involucran, pueden poner en peligro los lugares donde se producen, la integridad de los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

Cuando un derrame de hidrocarburos permanece sin ser atendido puede causar daños constantes y crecientes al suelo y a otros recursos naturales.

La falta de especificaciones ambientales para la restauración de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos constituye uno de los principales factores de incertidumbre sobre la efectividad de los resultados de la restauración. Ante la situación descrita, el 20 de agosto de 2002 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, la Norma Oficial Mexicana de Emergencia, Límites máximos permisibles de contaminación en suelos por hidrocarburos, caracterización del sitio y procedimientos para la restauración, la cual fue prorrogada por seis meses más, el 20 de febrero de 2003.

Con el propósito de dar certidumbre en las acciones de caracterización y restauración a los causantes de la contaminación he tenido a bien expedir la presente Norma Oficial Mexicana.

### **1. Objetivo**

Establecer los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y restauración.

### **2. Campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para quienes ocasionen contaminación con hidrocarburos en suelos.

### **3. Referencias**

Esta Norma no hace referencia a ninguna Norma Oficial Mexicana.

### **4. Definiciones**

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y las que a continuación se mencionan:

#### **4.1 Cadena de custodia**

Registro que acompaña a las muestras desde su obtención hasta su entrega al laboratorio de pruebas y en caso de esta Norma debe incluirse en el informe de resultados.

#### **4.2 Caracterización**

Determinación cualitativa o cuantitativa de la distribución de un parámetro.

#### **4.3 Derrame**

Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos que se presente en suelo.

#### **4.4 Dilución de suelo contaminado**

Acción de adicionar un material determinado a un suelo contaminado, con el propósito específico de reducir la concentración de uno o más contaminantes.

#### **4.5 Hidrocarburos**

Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.

#### **4.6 Laboratorio de pruebas**

Laboratorio con métodos acreditados y aprobados conforme a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

#### **4.7 Lixiviado**

Líquido proveniente de residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

#### **4.8 Métodos analíticos**

Los métodos propuestos en el Anexo A de esta Norma, mediante los cuales se harán los análisis para determinar el grado de contaminación de suelos contaminados por hidrocarburos.

#### **4.9 Muestreo dirigido**

Tipo de muestreo casuístico que se lleva a cabo sobre determinados puntos, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado (normalmente uno solo) y se puede determinar la extensión de la afectación y el tiempo transcurrido desde el derrame.

#### **4.10 Muestreo estadístico**

Muestreo realizado conforme los métodos matemáticos establecidos, cuya función es dar certidumbre a través de observaciones determinadas, sobre diferentes parámetros para el total del universo.

#### **4.11 Pasivo ambiental**

Suelo y subsuelo que fueron contaminados mediante un proceso prolongado, cuya restauración no se ha efectuado, debido a una o varias de las siguientes condiciones: las dimensiones, las características específicas de la(s) sustancia(s) involucrada(s), el elevado costo y/o la complejidad, pero que implican una obligación de corrección de acuerdo al marco legal vigente.

#### **4.12 Restauración de suelos**

Es el conjunto de actividades tendientes a la recuperación y reestablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. En relación con el suelo, se entiende como el conjunto de acciones necesarias para recuperar y restablecer sus condiciones, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para el predio o zona respectiva. Para los propósitos de esta Norma, se utiliza el término restauración como sinónimo de remediación, reversión, saneamiento, limpieza, rehabilitación y regeneración.

#### **4.13 Suelo**

Material no consolidado 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.

#### **4.14 Suelo contaminado**

Aquél en el que se encuentran presentes uno o más materiales contaminantes o residuos peligrosos y que puede constituir un riesgo para el ambiente y la salud.

### **5. Abreviaturas**

#### **5.1 BTEX**

Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (suma de isómeros).

#### **5.2 HAP**

Hidrocarburos aromáticos polinucleares.

## 6. Límites máximos permisibles

6.1 Los productos asociados a los derrames de hidrocarburos para los que se establecen límites máximos permisibles de contaminación en suelos se enlistan en la tabla 1.

Tabla 1.- Hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante

PRODUCTO CONTAMINANTE	HIDROCARBUROS					
	FRACCION PESADA	HAPs	FRACCION MEDIA	HAPs	FRACCION LIGERA	BTEX
Mezclas desconocidas	X	X	X	X	X	X
Petróleo crudo	X	X	X	X	X	X
Combustóleo	X	X				
Emulsiones asfálticas	X	X				
Asfalto	X	X				
Parafinas	X	X				
Petrolatos	X	X				
Aceites	X	X				
Gasóleo			X	X		
Diesel			X	X		
Turbosina			X	X		
Keroseno			X	X		
Creosota			X	X		
Gasavión					X	X
Gasolvente					X	X
Gasolinas					X	X
Gasnafta					X	X

6.2 Los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2.- Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo

FRACCION DE HIDROCARBUROS	Uso de suelo predominante <sup>1</sup> (mg/kg base seca)			Método analítico
	Agrícola <sup>2</sup>	Residencial <sup>3</sup>	Industrial	
Ligera	200	200	500	Anexo A.1
Media	1,000	1,000	3,000	Anexo A.2
Pesada	3,000	3,000	6,000	Anexo A.3

1. Para usos de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados.
2. Agrícola incluye suelo forestal, recreativo, y de conservación.
3. Residencial incluye comercial.

Tabla 3.- Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en suelo

Hidrocarburos específicos	Uso de suelo predominante <sup>1</sup> (mg/kg base seca)			Método analítico
	Agrícola <sup>2</sup>	Residencial <sup>3</sup>	Industrial	
Benceno	6	6	15	Anexo A.4
Tolueno	40	40	100	Anexo A.4
Etilbenceno	10	10	25	Anexo A.4
Xilenos (suma de isómeros)	40	40	100	Anexo A.4
Benzo[a]pireno <sup>4</sup>	2	2	10	Anexo A.5
Dibenzo[a,h]antraceno <sup>4</sup>	2	2	10	Anexo A.5
Benzo[a]antraceno <sup>4</sup>	2	2	10	Anexo A.5
Benzo[b]fluoranteno <sup>4</sup>	2	2	10	Anexo A.5
Benzo[k]fluoranteno <sup>4</sup>	8	8	80	Anexo A.5
Indeno (1,2,3-cd)pireno <sup>4</sup>	2	2	10	Anexo A.5

1. Para usos de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados.
2. Agrícola incluye suelo forestal, recreativo, y de conservación.
3. Residencial incluye comercial.
4. La determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares deberá realizarse únicamente en los casos que se pretende demostrar que se está cumpliendo con los límites máximos permisibles.

## 7. Especificaciones para la caracterización

Para la caracterización del sitio se debe recabar información que sirva de base para conocer la dimensión de la afectación. En caso de derrames o fugas la caracterización se debe realizar posterior a las medidas de urgente aplicación conforme lo establezcan los Programas de Protección Ambiental o Planes de Atención de Emergencias.

La caracterización del sitio debe contener como mínimo los siguientes elementos:

- Descripción del sitio y de la afectación
- Estrategia de muestreo
- Plan de muestreo
- Informe
- 

### 7.1 Descripción del sitio y de la afectación

**7.1.1** Se debe localizar con coordenadas geográficas la zona de afectación en un plano a escala que permita su ubicación a nivel regional y local.

**7.1.2** Se deben determinar las características mínimas del sitio que permitan evaluar la distribución del contaminante y del grado de afectación e indicar el uso de suelo actual y la topografía del mismo.

**7.1.3** Cuando se trate de un derrame o fuga reciente se debe indicar la cantidad y el tipo de contaminantes derramados.

**7.1.4** Cuando se trate de un pasivo ambiental se debe realizar una recopilación de los antecedentes históricos sobre las actividades y sucesos que originaron la contaminación.

**7.1.5** La caracterización debe incluir un plan de muestreo que se debe realizar conforme a lo establecido en numeral 7.3.

### 7.2 Estrategia de muestreo

Para asegurar la interpretación de los numerales de este apartado, se incluye el Anexo B.

**7.2.1** En el caso de derrames o fugas recientes en los que el contaminante sea visible en superficie, se podrá realizar un muestreo dirigido para conocer la distribución tridimensional de la zona afectada.

**7.2.1.1** Una vez delimitada el área de afectación a través de un muestreo dirigido, se deben tomar como mínimo el número de puntos de muestreo establecidos en la Tabla 4.

**7.2.2** Cuando el muestreo dirigido no permita delimitar el área afectada, ni determinar los contaminantes y su concentración, se debe realizar una estrategia de muestreo considerando métodos estadísticos.

**7.2.3** Cuando la contaminación no es visible y/o homogénea y/o reciente se debe aplicar una estrategia de muestreo considerando métodos estadísticos.

**7.2.4** La selección de los puntos de muestreo debe abarcar, vertical y horizontalmente, la distribución del contaminante en el suelo, y se debe tomar en cuenta la topografía y la dirección del flujo del manto freático.

**Tabla 4.- Puntos de muestreo de acuerdo al área contaminada**

<b>AREA CONTAMINADA (ha)</b>	<b>PUNTOS DE MUESTREO</b>
0.1	2
0.2	9
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1.0	20
2.0	25
3.0	27
4.0	30
5.0	33
10.0	38
15.0	40
20.0	45
30.0	50
40.0	53
50.0	55
100.0	60

### **7.3 Plan de muestreo**

**7.3.1** El responsable del muestreo debe integrar un Plan de Muestreo, en el que:

- Se organicen y definan las responsabilidades del personal involucrado en cada procedimiento.
- Se sustente la ubicación y el número de los puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de las muestras.
- Se describan la técnica de muestreo, el equipo de muestreo y las medidas de seguridad.
- Se documenten las medidas de aseguramiento de calidad del muestreo incluyendo la cadena de custodia.
- Se especifiquen los contenedores, la preservación y el transporte de la muestra.

### **7.4 Especificaciones técnicas para llevar a cabo el muestreo**

**7.4.1** Para la toma de muestras se debe apegar al plan de muestreo elaborado.

**7.4.2** Las muestras a tomar en un suelo contaminado siempre serán simples (material colectado en un solo punto de muestreo).

**7.4.3** En el muestreo estadístico no se pueden tomar muestras en los mismos puntos que los utilizados en el muestreo dirigido.

**7.4.4** Se debe evitar el uso de fluidos de perforación y la utilización de equipo que permita la pérdida de hidrocarburos volátiles y la contaminación cruzada.

**7.4.5** Durante la perforación para la obtención de muestras no se deben afectar los acuíferos.

**7.4.6** Como un procedimiento de aseguramiento de calidad, se tomará y analizará una muestra duplicada por cada diez muestras tomadas.

i. En los casos en que se sospeche la presencia de hidrocarburos ajenos al problema de contaminación que se esté evaluando, se deben tomar muestras que sirvan para establecer niveles de fondo.

ii. Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre, debe entregarse al laboratorio junto con las muestras de suelo para calibrar el equipo de análisis.

### **7.5 Especificaciones sobre la integridad, identificación y manejo de las muestras**

**7.5.1** Para seleccionar el recipiente apropiado deben observarse las especificaciones contenidas en la tabla 5 de esta Norma Oficial Mexicana.

**7.5.2** Los recipientes deben ser nuevos o libres de contaminantes.

**Tabla 5.- Recipientes para las muestras, temperaturas de preservación y tiempo máximo de conservación por tipo de parámetro**

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación
Hidrocarburos Fracción ligera	Vial de vidrio, con tapa y sello de teflón Liner de teflón y/o metálicos (suministro original del fabricante del equipo de muestreo, si se emplea nucleador) con sello de teflón	4°C	14 días
BTEX		4°C	7 días
Hidrocarburos Fracción media	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón Liner de teflón y/o metálicos (suministro original del fabricante del equipo de muestreo, si se emplea nucleador) con sello de teflón	4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción pesada		4°C	14 días
HAP		4°C	14 días

<sup>1</sup> /El tiempo máximo de conservación se refiere al lapso que no deberá ser excedido desde que se toma la muestra hasta que se realiza la extracción del analito de interés.

**7.5.3** Cada muestra deberá ser sellada y etiquetada inmediatamente después de ser tomada y debe ser entregada para su análisis a un laboratorio de pruebas.

**7.5.3.1** No se deben analizar muestras cuyos sellos han sido violados.

**7.5.3.2** Todos los sellos deben contar con el número o clave única de la muestra.

**7.5.3.3** Todas las etiquetas deben contar con la siguiente información como mínimo: nombre de la persona que tomó la muestra, fecha y hora de muestreo, nombre de la empresa, lugar del muestreo, y número o clave única misma que la del sello.

**7.6** El informe de la caracterización debe contener lo establecido en todos los numerales de este capítulo, así como los resultados de los análisis realizados, los métodos utilizados, la interpretación de los resultados, y se debe anexar la cadena de custodia correspondiente.

## **8. Especificaciones ambientales para la restauración**

**8.1** En el caso de que la concentración de hidrocarburos en todas las muestras de suelo analizadas sean iguales o menores a los límites máximos permisibles de contaminación establecidos en las tablas 2 y 3 del capítulo 6 de esta Norma Oficial Mexicana, no serán necesarios los trabajos de restauración.

**8.2** Todo aquel suelo que presente concentraciones de hidrocarburos por arriba de los límites máximos permisibles de contaminación establecidos en las tablas 2 y 3 del capítulo 6 de esta Norma Oficial Mexicana, deben ser restaurados hasta cumplir con el numeral 8.1.

**8.3** Durante la restauración se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

**8.3.1** Se debe prevenir la transferencia de contaminantes al suelo limpio, al aire y al agua.

**8.3.2** No se deben generar mayores alteraciones ambientales que las producidas por el suceso que provocó la contaminación.

**8.3.3** No se debe diluir el suelo contaminado, entendiendo por ello la mezcla de suelo contaminado con suelo limpio o menos contaminado, cuando por esta acción directa se pretenda lograr concentraciones de hidrocarburos por debajo de los límites establecidos en esta Norma.

**8.3.4** Sólo se permite la adición de materia orgánica como co-sustrato cuando ésta sea parte de la técnica de restauración.

**8.3.5** Sólo se permite el uso de formulaciones químicas, o de microorganismos que no alteren las características y propiedades del ecosistema.

**8.3.6** No se deben utilizar microorganismos modificados genéticamente.

**8.3.7** Cuando la técnica de restauración utilizada modifique el pH del suelo, se debe garantizar al final de la restauración que éste sea similar al de la zona aledaña.

**8.3.8** Los residuos y lixiviados generados durante el tratamiento del suelo contaminado deberán manejarse conforme a la legislación vigente.

**8.3.9** Cuando las actividades de limpieza impliquen la construcción de obra civil o hidráulica adicional a la existente se deberá cumplir con la normatividad en materia de impacto ambiental.

## **9. Evaluación de la conformidad**

La evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana se realizará de acuerdo a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, además de lo siguiente:

**9.1** El procedimiento de evaluación de la conformidad se llevará a cabo por las Unidades de Verificación (UV's) y los laboratorios acreditados y aprobados, y en ausencia de éstos la evaluación se realizará por parte de las autoridades competentes.

**9.2** Durante la visita de evaluación, la UV o la autoridad competente comprobarán que se mantiene el cumplimiento de las disposiciones de la presente Norma.

**9.2.1** La Secretaría reconocerá las determinaciones analíticas que hayan sido muestreadas y analizadas por un laboratorio acreditado y aprobado conforme a las disposiciones legales aplicables, y de acuerdo a los métodos establecidos en los anexos A.1 a A.5 de la presente Norma.

## **10. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración**

Esta Norma no coincide con ninguna Norma Internacional por no existir Norma Internacional sobre el tema que integre las disposiciones técnicas y de procedimientos que se establecen en la presente Norma. Sin embargo, ésta se elaboró con base en métodos analíticos y fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## **11. Bibliografía**

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Lineamientos Finales para la Evaluación de Exposiciones. FR 57 (104) 22888-22938. 1992.

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Metas Preliminares para la Región IX (PRGs). 1999. <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg>.

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Remediaciones Supuestas. Caracterización del Sitio y Selección de Tecnologías para Sitios Contaminados con

Componentes Orgánicos Volátiles en Suelos. Referencias Rápidas. Oficina de Emergencias y División de Control 5203G de Respuestas de Remediación en Sitios Peligrosos.

Australian National Environment Protection Council. Guideline on the investigation levels for soil and Groundwater. Australia, 1999.

Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada-wide standards for petroleum hydrocarbons (PHCs) in soil. April, May 2001. Winnipeg, Canada.

Environmental Protection Division of the Prince Edward Island Department of Technology and Environment. Petroleum Contaminated Site Remediation Guideline. Canada, 1999.  
Environmental Research Advisory Council of the Canadian Association of Petroleum. Environmentally acceptable endpoints for residual petroleum hydrocarbons in soil. Canada, January 2001.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Análisis de Hidrocarburos del Petróleo en el Medio Ambiente (Volumen 1) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachussets. 1998.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Evaluación de Riesgo a la Salud de Sitios Liberados de Petróleo: Implementación de los Acercamientos del Grupo de Trabajo (Volumen 4) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachussets. 1997.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Selección de fracciones representativas de HTP basada en consideraciones de transporte y destino. (Volumen 3) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachussets. 1997.

Grupo de Trabajo PROFEPA-SEMARNAT Procedimiento para Atención de Emergencias Ambientales, Asociadas con Sustancias Químicas, Caracterización y Restauración de Suelos, Documento Interno. México, mayo de 2002.

NOM-EM-138-ECOL-2002, Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, publicada el 20 de agosto de 2002.

Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados. Ecuador, 2003.

NYC Department of Environmental Conservation, Division of Environmental Conservation Remediation. Spill technology and remediation series. August 1992.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 17a. Edición. Porrúa. México. 1999.

Ley de Aguas Nacionales. Publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 1 de diciembre de 1992.

Reglamento a la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos. Publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de noviembre de 1998. México, 1998.

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de enero de 1994. México, 1994.

Saval, Susana. Remediación y restauración. En: Pemex Ambiente y Energía, Los Retos del Futuro, UNAM-Petróleos Mexicanos, México, 1995. Págs. 151-189.

Saval, Susana. La Biorremediación como alternativa para la limpieza de sitios contaminados con hidrocarburos. En Memorias del Seminario Internacional sobre Restauración de Sitios Contaminados, Instituto Nacional de Ecología, México, 26 al 29 de mayo, México. 1997. Págs. 141-147.

Saval, Susana. Exitos y fracasos de la remediación de suelos. En: Conservación y Restauración de Suelos, UNAM, PUMA, SEMARNAP, Editores: Christina Siebe *et al.*, México, 1999. Págs. 511-526.

Seoanez Calvo, Mariano *et al.* Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. 1996. Editorial Mundi-Prensa, Barcelona.

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group. Human Health Risk-based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing The Working Group Approach (Volume 4). Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachussets. 1997.

Seoanez Calvo, Mariano. El gran diccionario del medio ambiente y la contaminación. Mundi-Reusa/Coediciones. México, 1997.

## **12. Observancia**

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás disposiciones legales aplicables.

### **TRANSITORIO**

**UNICO.-** La presente Norma Oficial Mexicana, entrará en vigor 60 días después de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Provéase la publicación de este Proyecto de Norma Oficial Mexicana en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, Distrito Federal, a los dieciséis días del mes de febrero de dos mil cuatro.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Juan José García de Alba Bustamante**.- Rúbrica.

### **ANEXO A**

#### **METODOS ANALITICOS PARA LA DETERMINACION DE HIDROCARBUROS EN SUELOS**

##### **A.1. DETERMINACION DE HIDROCARBUROS DE FRACCION LIGERA**

###### **1.1. Método analítico**

El análisis de hidrocarburos de fracción ligera deberá cubrir pesos moleculares entre C6 y C10, que en su mayoría corresponden a volátiles. La determinación cuantitativa se deberá realizar en un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama. Como resultado se obtiene un perfil de picos cuya separación está en función de los pesos moleculares de los hidrocarburos presentes.

## 1.2. Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente los hidrocarburos que están presentes en la muestra de suelo. Debe utilizarse cualquiera de los sistemas que se describen abajo, los cuales tienen como objetivo principal evitar la pérdida de los hidrocarburos por volatilización. Cualquiera de los sistemas va acoplado al cromatógrafo con la finalidad de introducir los hidrocarburos directamente a la columna de separación, inmediatamente después de haber sido extraídos del suelo, con lo cual se reduce la manipulación de la muestra y los tiempos entre la extracción y el propio análisis.

Purga y trampa.	Esta técnica consiste en hacer pasar una corriente de un gas inerte a temperatura ambiente a través de la muestra. Los hidrocarburos ligeros se desorben del suelo, pasan a un estado gaseoso y son entonces captados por un material adsorbente. Posteriormente, este material se calienta y se le hace pasar a contracorriente, un gas inerte que desorbe los hidrocarburos, arrastrándolos hacia la columna del cromatógrafo.
Volatilización en viales sellados.	Esta técnica se conoce comúnmente por su nombre en inglés "Head-Space". Las muestras de suelo contenidas en viales sellados herméticamente se someten a calentamiento aproximadamente una hora para permitir la volatilización al equilibrio de los hidrocarburos. Un automuestreador introduce una corriente de gas helio a presión, la cual obliga a los hidrocarburos que se encuentran en forma gaseosa en el espacio libre del vial, a avanzar hacia la columna del cromatógrafo.
Destilación al vacío.	La muestra contenida en un matraz es sometida a presión negativa, la fase gaseosa se hace pasar a un condensador. Posteriormente, una corriente de helio a alta temperatura conduce a los hidrocarburos en forma gaseosa hacia la columna del cromatógrafo.

## 1.3. Calibración

Para la calibración del equipo se deberá utilizar gasolina estándar con certificado de análisis, o bien, el producto específico derramado cuando se conoce su origen. Se deberán cumplir los requisitos de calidad establecidos en el numeral 1.6 de este Anexo A.1.

## 1.4. Cuantificación

La cuantificación deberá realizarse por la suma de áreas de todos los picos que conforman el perfil dentro del intervalo de C6 a C10, a partir de la línea base incluyendo los picos sin resolver propios de esta fracción.

1.5 rte del resultado Los resultados deben expresarse en mg/kg base seca, para lo cual será necesario determinar la humedad de la muestra de suelo conforme al Anexo A.6 de la presente Norma.

## 1.6. Referencias

EPA 5000 (1996). Sample Preparation for Volatile Organic Compounds (Revision 0, December 1996).

EPA 5021 (1996). Volatile Organic Compounds in Soils and other Solid Matrices Using Equilibrium Head Space Analysis (Revision 0, December 1996).

EPA 5030 B (1996). Purge and Trap for Aqueous Samples (Revision 2, December 1996).

EPA 5032 (1996). Volatile Organic Compounds by Vacuum Distillation (Revision 0, December 1996).

EPA 5035 (1996). Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste

Samples (Revision 0, December 1996).

EPA 8000 B (1996). Determinative Chromatographic separations (Revision 2, December 1996).

EPA 8015 C (2000). Non-Halogenated Organics Using GC/FID (Revision 3, November 2000).

## **A.2 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS DE FRACCION MEDIA**

### **2.1 Método analítico**

El análisis de hidrocarburos de fracción media deberá cubrir pesos moleculares entre C10 y C28. La determinación cuantitativa se deberá realizar en un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama. Como resultado se obtiene un perfil de picos cuya separación está en función de los pesos moleculares de los hidrocarburos presentes.

## 2.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente los hidrocarburos que están presentes en la muestra de suelo, mediante cualquiera de las técnicas que se enlistan a continuación.

Por Soxhlet.	Una muestra de suelo se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se coloca en un cartucho de celulosa para extraer los hidrocarburos en un equipo tipo Soxhlet. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1) (v/v), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1) (v/v).
Por sonicación.	Una muestra de suelo se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se somete a sonicación en presencia de un disolvente orgánico de una a tres veces, según el contenido de hidrocarburos. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1) (v/v), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1) (v/v). El extracto se separa del suelo por filtración al vacío o por centrifugación.

En cualquiera de los dos casos, se requiere de una extracción adicional además de una limpieza para eliminar interferencias. El disolvente de intercambio debe ser compatible con la instrumentación.

## 2.3 Calibración

Para la calibración del equipo se deberá utilizar diesel estándar con certificado de análisis, o bien, el producto específico derramado cuando se conoce su origen. Se deberán cumplir los requisitos de calidad para métodos analíticos establecidos en los métodos citados en el numeral 2.6 de Referencias.

## 2.4 Cuantificación

La cuantificación deberá realizarse por la suma de áreas de todos los picos que conforman el perfil dentro del intervalo de C10 a C28, a partir de la línea base, incluyendo los picos sin resolver propios de esta fracción.

## 2.5 Reporte del resultado

Se debe reportar la concentración de hidrocarburos de fracción media en mg/kg base seca, para lo cual será necesario determinar la humedad de la muestra de suelo conforme al Anexo A.6 de la presente Norma.

## 2.6 Referencias

- EPA 3500 B (1996). Organic Extraction and Sample Preparation (Revision 2, December 1996).
- EPA 3540 C (1996). Soxhlet Extraction (Revision 3, December 1996).
- EPA 3550 C (2000). Ultrasonic Extraction (Revision 3, December 2000).
- EPA 8000 B (1996). Determinative Chromatographic separations (Revision 2, December 1996).
- EPA 8000 B (1996). Determinative Chromatographic separations (Revision 2, December 1996).
- EPA 8015 C (2000). Non-Halogenated Organics Using GC/FID (Revision 3, November 2000).

### A.3 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS DE FRACCION PESADA

#### 3.1 Base del método

El análisis de hidrocarburos de fracción pesada deberá cubrir pesos moleculares entre C28 y C35. La determinación cuantitativa se deberá realizar en un equipo de espectroscopia infrarroja para leer la absorbancia de la banda de enlace C-H a una longitud de onda de 2930 cm<sup>-1</sup>. La lectura se compara con la curva de calibración que se obtiene con tres diferentes hidrocarburos.

#### 3.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente con cloruro de metileno, los hidrocarburos que están presentes en la muestra de suelo, mediante cualquiera de las técnicas que se enlistan a continuación.

Por Soxhlet.	Una muestra de suelo se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se coloca en un cartucho de celulosa para extraer los hidrocarburos en un equipo tipo Soxhlet.
Por sonicación.	Una muestra de suelo se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se somete a sonicación en presencia de un disolvente orgánico de una a tres veces, según el contenido de hidrocarburos. El extracto se separa del suelo por filtración al vacío o por centrifugación.

#### 3.3 Limpieza de la muestra

Un aspecto importante para la confiabilidad de este análisis radica en la limpieza de la muestra, la cual se deberá hacer con gel de sílice en una proporción de 30 gramos por cada gramo de material extraído.

#### 3.4 Calibración

Para la calibración del equipo se deberá utilizar una mezcla sintética con estándares de n-hexadecano, isooctano y clorobenceno con certificado de análisis. Se deberán cumplir los requisitos de calidad para métodos analíticos establecidos en los métodos citados en el numeral 3.6 de Referencias.

#### 3.5 Reporte del resultado

Se debe reportar la concentración de hidrocarburos de fracción pesada en mg/kg base seca, para lo cual será necesario determinar la humedad de la muestra de suelo conforme al Anexo A.6 de la presente Norma.

#### 3.6 Referencias

- EPA 418.1 (1978). Petroleum Hydrocarbons, Total Recoverable.
  - EPA 1664 (2002). n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-Polar Material) by Extraction and Gravimetry (revision A, July 2002).
  - EPA 3500 B (1996). Organic Extraction and Sample Preparation (Revision 2, December 1996).
  - EPA 3540 C (1996). Soxhlet Extraction (Revision 3, December 1996).
  - EPA 3550 C (2000). Ultrasonic Extraction (Revision 3, December 2000).
- #### A.4 DETERMINACION DE BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO Y XILENOS (SUMA DE ISOMEROS)

#### 4.1 Método analítico

La determinación cuantitativa de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (como la suma de los isómeros *orto*-, *meta*- y *para*-) se debe realizar en un equipo de cromatografía de gases. Pueden utilizarse cualquiera de los siguientes detectores: espectrometría de masas, fotoionización o conductividad electrolítica. De estos detectores, la espectrometría de masas es el que da los mejores resultados dado que en un solo análisis se hace la cuantificación y se confirma la identidad de cada uno de los hidrocarburos. Con los detectores de fotoionización y conductividad electrolítica se puede hacer la cuantificación, pero se requiere de un análisis adicional para confirmar la identidad de los hidrocarburos.

#### 4.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente los hidrocarburos de interés que están presentes en la muestra de suelo. Debe utilizarse cualquiera de los sistemas que se describen abajo, los cuales tienen como objetivo principal evitar la pérdida de los hidrocarburos por volatilización. Cualquiera de los sistemas va acoplado al cromatógrafo con la finalidad de introducir los hidrocarburos directamente a la columna de separación, inmediatamente después de haber sido extraídos del suelo, con lo cual se reduce la manipulación de la muestra y los tiempos entre la extracción y el propio análisis.

Purga y trampa.	Esta técnica consiste en hacer pasar una corriente de un gas inerte a temperatura ambiente, a través de la muestra. Los hidrocarburos ligeros se desorben del suelo, pasan a un estado gaseoso y son entonces captados por un material adsorbente. Posteriormente, este material se calienta y se le hace pasar a contracorriente, un gas inerte que desorbe los hidrocarburos, arrastrándolos hacia la columna del cromatógrafo.
Volatilización en viales sellados.	Esta técnica se conoce comúnmente por su nombre en inglés "Head-Space". Las muestras de suelo contenidas en viales sellados herméticamente se someten a calentamiento aproximadamente una hora para permitir la volatilización al equilibrio de los hidrocarburos. Un automuestreador introduce una corriente de gas helio a presión, la cual obliga a los hidrocarburos que se encuentran en forma gaseosa en el espacio libre del vial, a avanzar hacia la columna del cromatógrafo.
Destilación al vacío.	La muestra contenida en un matraz es sometida a presión negativa, la fase gaseosa se hace pasar a un condensador. Posteriormente, una corriente de helio a alta temperatura conduce a los hidrocarburos en forma gaseosa hacia la columna del cromatógrafo.

#### 4.3 Calibración

Para la calibración del equipo se deberán utilizar: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (isómeros *orto*, *meta* y *para*) estándares con certificado de análisis. Se deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en los métodos citados en el numeral 4.6 de Referencias.

#### 4.4 Cuantificación

Cuando se utiliza cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas, la cuantificación deberá realizarse considerando el área bajo la curva del ion principal de cada compuesto a partir de la línea base. Si se utiliza cromatografía de gases, ya sea con el detector de fotoionización o con el de conductividad electrolítica, para la cuantificación deberá considerarse el área bajo la curva de cada compuesto a partir de la línea base.

#### 4.6 Reporte del resultado

Se deberá reportar la concentración de los hidrocarburos de manera individual, benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (suma de isómeros), en mg/kg base seca, por lo cual será necesario determinar también la humedad de la muestra de suelo conforme al Anexo A.6 de la presente Norma.

#### 4.7 Referencias

EPA 5000 (1996). Sample Preparation for Volatile Organic Compounds (Revision 0, December 1996).  
EPA 5021 (1996). Volatile Organic Compounds in Soils and other Solid Matrices Using Equilibrium Head Space Analysis (Revision 0, December 1996).  
EPA 5030 B (1996). Purge and Trap for Aqueous Samples (Revision 2, December 1996).  
EPA 5032 (1996). Volatile Organic Compounds by Vacuum Distillation (Revision 0, December 1996).  
EPA 5035 (1996). Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste Samples (Revision 0, December 1996).  
EPA 8000 B (1996). Determinative Chromatographic separations (Revision 2, December 1996).  
EPA 8021 B (1996). Aromatic and Halogenated Volatiles by Gas Chromatography using Photoionization and/or Electrolytic Conductivity Detectors (Revision 2, December 1996).  
EPA 8260 B (1996). Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) (Revision 2, December 1996).

## **A.5 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLINUCLEARES**

### **5.1 Método analítico**

La determinación cuantitativa de hidrocarburos aromáticos polinucleares se debe realizar en un cromatógrafo de gases con detector de espectrometría de masas, o bien, en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución, ya sea con detector de ultravioleta o con detector de ultravioleta acoplado a fluorescencia.

Cuando se utiliza el detector de espectrometría de masas se obtienen los mejores resultados, dado que en un solo análisis se hace la cuantificación y se confirma la identidad de cada uno de los hidrocarburos. Además, con este detector se pueden alcanzar límites de detección muy bajos.

Si se utiliza un cromatógrafo de líquidos de alta resolución con cualquiera de los otros dos detectores mencionados, se puede hacer la cuantificación, pero se debe confirmar la identidad de los hidrocarburos. Los límites de detección que se logran son altos comparados con el análisis que utiliza detector de espectrometría de masas, por lo que este método en un futuro tenderá a desaparecer.

Por cualquiera de los métodos analíticos que se realice el análisis se podrán cuantificar por lo menos 16 hidrocarburos aromáticos polinucleares diferentes, aunque los importantes para efectos de aplicación de esta Norma serán: benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno.

### **5.2 Preparación de la muestra**

Para el análisis es necesario extraer previamente los hidrocarburos que están presentes en la muestra de suelo, mediante cualquiera de las técnicas que se enlistan a continuación.

Por Soxhlet.	Una muestra de suelo se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se coloca en un cartucho de celulosa para extraer los hidrocarburos en un equipo tipo Soxhlet. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1) (v/v), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1) (v/v).
Por sonicación.	Una muestra de suelo se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se somete a sonicación en presencia de un disolvente orgánico de una a tres veces, según el contenido de hidrocarburos. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1) (v/v), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1) (v/v). El extracto se separa del suelo por filtración al vacío o por centrifugación.

En cualquiera de los dos casos, se requiere de una extracción adicional además de una limpieza para eliminar interferencias. El disolvente de intercambio debe ser compatible con la instrumentación.

### 5.3 Calibración

Para la calibración del equipo se deberá utilizar benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno estándares con certificado de análisis. Se deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en los métodos citados en el numeral 2.6 de Referencias.

## 5.4 Cuantificación

Cuando se utiliza el método de cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas se deberá considerar el área bajo la curva del ion principal de cada compuesto a partir de la línea base.

Si se utiliza el método de cromatografía líquida de alta resolución, ya sea con el detector de UV o UV acoplado a fluorescencia se deberá considerar el área bajo la curva de cada compuesto a partir de la línea base.

## 5.5 Reporte del resultado

Se deberá reportar la concentración de benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno en mg/kg base seca, por lo cual será necesario determinar también la humedad de la muestra de suelo conforme al Anexo A.6 de la presente Norma.

## 5.6 Referencias

- EPA 3500 B (1996). Organic Extraction and Sample Preparation (Revision 2, December 1996).
- EPA 3540 C (1996). Soxhlet Extraction (Revision 3, December, 1996).
- EPA 3550 C (2000). Ultrasonic Extraction (Revision 3, December, 2000).
- EPA 8000 B (1996). Determinative Chromatographic separations (Revision 2, December 1996).
- EPA 8270 D (1998). Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) (Revision 4, January 1998).
- EPA 8310 (1986). Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (Revision 0, September 1986).

## ANEXO A.6 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE HUMEDAD DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS

### 6.1 Obtención de la muestra

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según Norma Mexicana NMX-AA-052.

### 6.2 Aparatos y equipo

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- Espátula para balanza
- Estufa con temperatura 423 K (150°C) con sensibilidad 1.5 K (1.5°C) capaz de mantener una temperatura constante
- Cajas de aluminio con tapa de 250 cm<sup>3</sup>
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio

### 6.3 Procedimiento

**6.3.1** Se coloca la caja abierta y su tapa en la estufa a 393 K (120°C) durante dos horas, transcurrido ese tiempo, se tapa la caja dentro de la estufa e inmediatamente se pasa al desecador durante dos horas como mínimo o hasta obtener peso constante.

**6.3.2** Se vierte la muestra sin compactar hasta un 50% del volumen de la caja.

**6.3.3** Se pesa la caja cerrada con la muestra y se introduce destapada a la estufa a 333 K (60°C) durante dos horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente. Se repite esta operación las veces que sea necesario hasta obtener peso constante (se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas la diferencia es menor al 0.01%).

**Nota:** Durante este procedimiento debe utilizarse pinzas.

#### **6.4** Cálculos

El porcentaje de humedad se calcula con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que para obtener G y G1 se debe restar el peso de la caja.

$$H = \frac{G - G_1}{G} \times 100$$

H = Humedad en %

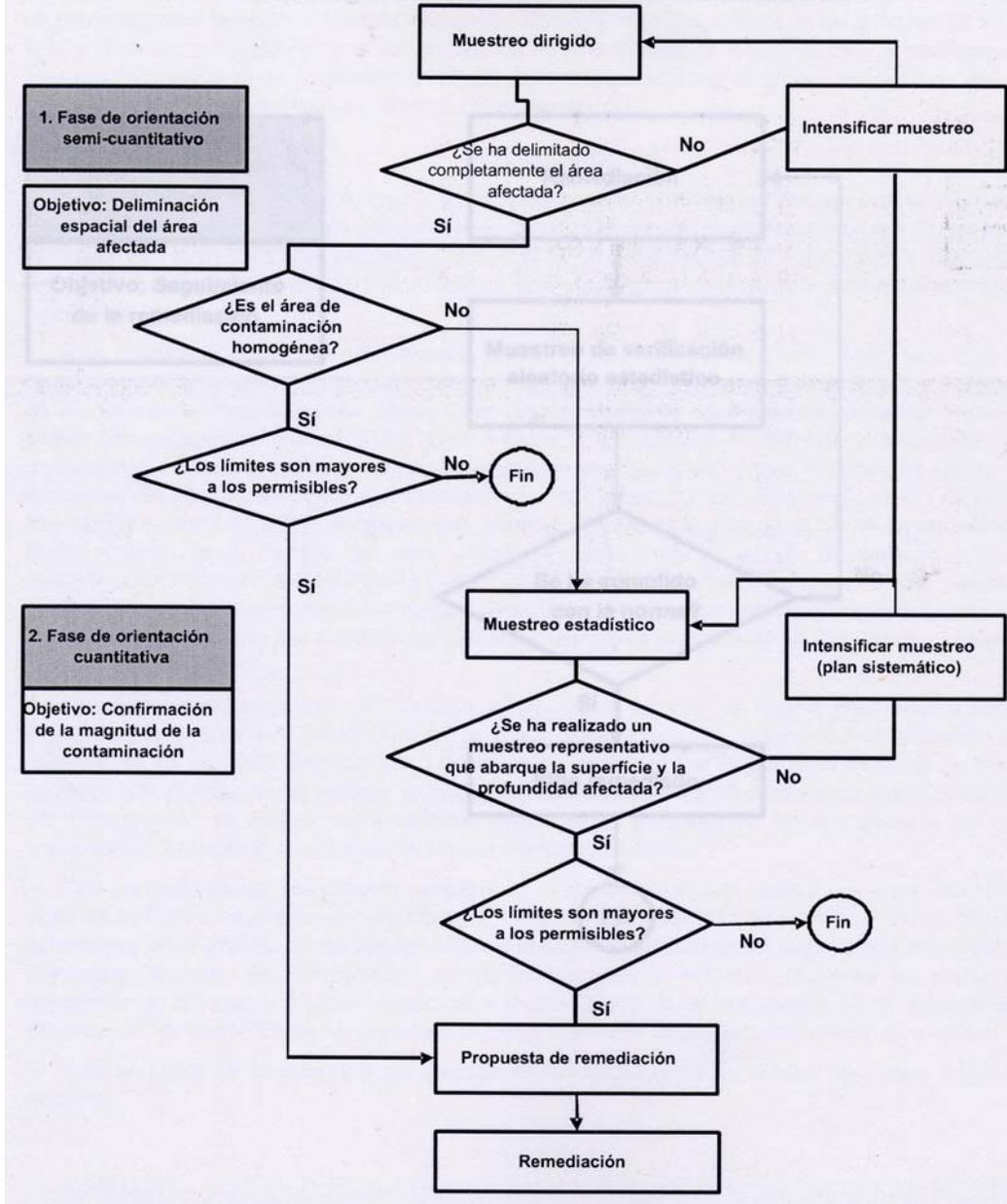
G = Peso de la muestra humedad en g

G1= Peso de la muestra seca en g

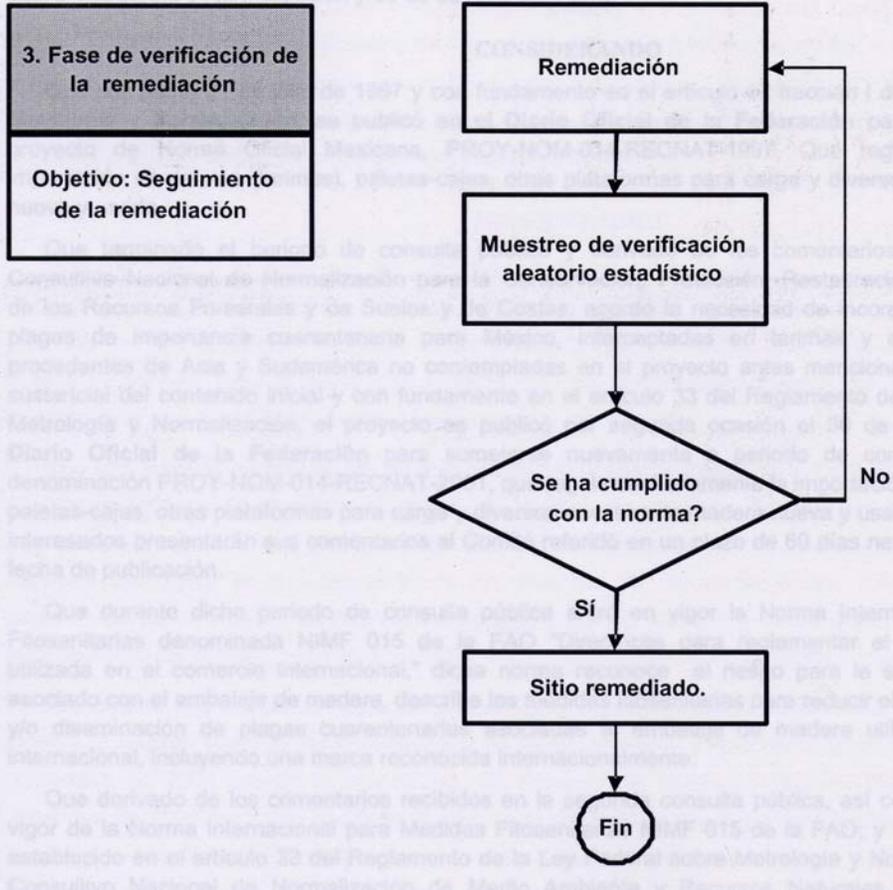
#### **6.5** Reproducibilidad

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1% en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

## ANEXO B Estrategia General de Muestreo



### Estrategia General de Muestreo - continuación



**AVISO de cancelación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-RECNAT-2001, Que regula sanitariamente la importación de paletas (tarimas), paletas-cajas, otras plataformas para carga y diversos envases de madera nueva y usada, publicado el 30 de enero de 2002.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

JUAN JOSE GARCIA DE ALBA BUSTAMANTE, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales con fundamento en los artículos 32 bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 1, 6 fracción IV y 8 fracciones V y VI del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 44 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 33 de su Reglamento, y

**CONSIDERANDO**

Que con fecha 21 de julio de 1997 y con fundamento en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** para consulta pública el proyecto de Norma Oficial Mexicana, PROY-NOM-014-RECNAT-1997, Que regula sanitariamente la importación de paletas (tarimas), paletas-cajas, otras plataformas para carga y diversos envases de madera nueva y usada.

Que terminado el periodo de consulta pública y derivado de los comentarios recibidos, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Conservación, Protección, Restauración y Aprovechamiento de los Recursos Forestales y de Suelos y de Costas, acordó la necesidad de incorporar al proyecto otras plagas de importancia cuarentenaria para México, interceptadas en tarimas y embalajes de madera procedentes de Asia y Sudamérica no contempladas en el proyecto antes mencionado; debido al cambio sustancial del contenido inicial y con fundamento en el artículo 33 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el proyecto se publicó por segunda ocasión el 30 de enero de 2002 en el **Diario Oficial de la Federación** para someterse nuevamente a periodo de consulta pública bajo la denominación PROY-NOM-014-RECNAT-2001, que regula sanitariamente la importación de paletas (tarimas), paletas-cajas, otras plataformas para carga y diversos envases de madera nueva y usada, a efecto de que los interesados presentarán sus comentarios al Comité referido en un plazo de 60 días naturales posteriores a la fecha de publicación.

Que durante dicho periodo de consulta pública entró en vigor la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias denominada NIMF 015 de la FAO "Directrices para reglamentar el embalaje de madera utilizada en el comercio internacional," dicha norma reconoce el riesgo para la salud de los vegetales asociado con el embalaje de madera, describe las medidas fitosanitarias para reducir el riesgo de introducción y/o diseminación de plagas cuarentenarias asociadas al embalaje de madera utilizada en el comercio internacional, incluyendo una marca reconocida internacionalmente.

Que derivado de los comentarios recibidos en la segunda consulta pública, así como por la entrada en vigor de la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias NIMF 015 de la FAO; y de conformidad con lo establecido en el artículo 33 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales en sesión del 26 de noviembre de 2003 acordó la publicación en el **Diario Oficial de la Federación** de un aviso de cancelación del proyecto de Norma Oficial Mexicana en comento, por haber quedado parcialmente sin materia.

Que en razón de lo anterior y en ejercicio de las atribuciones conferidas, he tenido a bien expedir el siguiente:

## **AVISO**

Se cancela el proyecto de Norma Oficial Mexicana publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el día 30 de enero de 2002, PROY-NOM-014-RECNAT-2001, Que regula sanitariamente la importación de paletas (tarimas), paletas-cajas, otras plataformas para carga y diversos envases de madera nueva y usada. Para los efectos legales correspondientes.

Dado en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de enero de dos mil cuatro.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Juan José García de Alba Bustamante**.- Rúbrica.

**AVISO de cancelación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-025-RECNAT-2001, Que establece los procedimientos y especificaciones para la recolección y distribución del germoplasma forestal con fines comerciales o de investigación que tenga como destino la forestación o reforestación, publicado el 7 de diciembre de 2001. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.**

JUAN JOSE GARCIA DE ALBA BUSTAMANTE, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en los artículos 32 bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 1, 6 fracción IV y 8 fracciones V y VI de Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 44 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 33 de su Reglamento, y

## **CONSIDERANDO**

Que con fecha 7 de diciembre de 2001 y con fundamento en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** para consulta pública el proyecto de Norma Oficial Mexicana, PROY-NOM-025-RECNAT-2001, Que establece los procedimientos y especificaciones para la recolección y distribución del germoplasma forestal con fines comerciales o de investigación que tenga como destino la forestación o reforestación.

Que con fecha 25 de febrero de 2003 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable; derivado de ésta y de diversos comentarios se concluyó que la Ley establece aspectos que el proyecto de norma no considera como: los recursos genéticos forestales, los recursos biológicos, el reconocimiento de los derechos de las comunidades, asimismo, se encuentran contradicciones en materia de recolección de germoplasma, por lo que se consideró necesario realizar las adecuaciones pertinentes, mismas que modificarían sustancialmente el contenido de la norma.

Que debido a la entrada en vigor del ordenamiento legal antes citado y a las adecuaciones propuestas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión del 26 de noviembre de 2003 acordó la cancelación del proyecto de NOM-025-RECNAT-2001, publicada el 7 de diciembre de 2001 por haber quedado parcialmente sin materia; por lo que con fundamento en el artículo 33 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se ordenó la publicación de un aviso por medio del cual se diera a conocer dicha decisión.

Que en razón de lo anterior y en ejercicio de las atribuciones conferidas, he tenido a bien expedir el siguiente:

## **AVISO**

Se cancela el proyecto de Norma Oficial Mexicana publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el día 7 de diciembre de 2001, PROY-NOM-025-RECNAT-2001, Que establece los procedimientos y especificaciones para la recolección y distribución del germoplasma forestal con fines comerciales o de investigación que tenga como destino la forestación o reforestación. Para los efectos legales correspondientes.

Dado en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de enero de dos mil cuatro.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Juan José García de Alba Bustamante**.- Rúbrica.