

### Actividad VII.- Plan de restauración de los sitios

Con los resultados de las pruebas del punto anterior así como de los datos de campo y laboratorio mencionados en las actividades anteriores, se seleccionará una o más metodologías para el saneamiento del sitio de acuerdo a las especificaciones. Esta propuesta será presentada por la PEMEX Refinación a la PROFEPA estatal. Si la propuesta no es autorizada por la PROFEPA se presentará otra metodología de saneamiento. Dentro de este apartado se incluyen todas y cada una de las especificaciones.

### Actividad VIII.- Informes

Se elaborará un informe final que describa cada una de las actividades y resultados obtenidos en todos los puntos indicados anteriormente y que incluya memorias de campo, tablas, gráficas, croquis, mapas.

## **XI.-Para desarrollar un trabajo practico de Caracterización de sitios contaminados por hidrocarburo, en este caso de Diesel se desarrollara de acuerdo a la siguiente Metologia.**

### **XII.- INTRODUCCIÓN**

El transporte de combustible por ductos ha demostrado ser la forma más eficiente y barata de distribuir las diferentes mezclas de hidrocarburos a lo largo y ancho del país. En el norte y noreste de México ha sido un sistema muy conveniente para hacer llegar los diversos combustibles a las ciudades. Esta importante actividad tiene implícito un margen de seguridad en la operación de los mismos, que parcialmente permite garantizar la integridad de los ecosistemas y centros de población que se encuentran cercanos al trazo de los poliductos.

Sin embargo, existen condiciones que no pueden controlarse y que provocan fugas del hidrocarburo; tal es el caso de las tomas clandestinas (robos de combustible dentro del derecho de vía de los poliductos). Las fugas de hidrocarburos en los ductos, generan daños importantes en el ambiente al liberarse en el ecosistema, afectando suelo y agua, impidiendo la aireación de los mismos y ocasionando en el suelo, la muerte de los microorganismos edáficos y la pérdida de superficie de suelo útil para usos agrícola, forestal, residencial e industrial. En el caso de los cuerpos de agua, su calidad puede disminuir de tal manera que no es posible aprovecharla, además de que se

origina la muerte de los organismos que habitan en ella. Asimismo, algunos de los componentes de los hidrocarburos son volátiles y por tanto durante un derrame se forman vapores que se incorporan a la atmósfera. También los hidrocarburos pueden lixiviar por efecto de la lluvia, pudiendo llegar hacia el manto acuífero, lo que provoca la contaminación de éstos y en consecuencia, en la mayoría de los casos, la pérdida de esta fuente potencial de abastecimiento de agua potable.

Por otra parte, algunos componentes que constituyen a los hidrocarburos pueden ingresar en el organismo del humano por diferentes vías, como son, la cutánea, digestiva y respiratoria. Para algunos de los componentes de los hidrocarburos se han identificado efectos carcinogénicos o teratogénicos. Para estos se han establecido límites de exposición arriba de los cuales existe riesgo de enfermedad por lo que, en ocasiones, es necesario evaluar a las poblaciones cercanas o expuestas a concentraciones altas en hidrocarburos. No obstante, siempre se deberá realizar una evaluación de los daños provocados, para lo que se requiere una caracterización del sitio afectado que proporcione la información necesaria para su rehabilitación, lo que se logra hasta que el sitio es saneado y se comprueba que no existe ningún riesgo para las poblaciones o ecosistemas que se establezcan en la zona donde ocurrió el derrame.

En México, la dependencia a la que le compete establecer las metodologías, normatividades y guías que se deben seguir para realizar los trabajos de caracterización y remediación de sitios contaminados es el Instituto Nacional de Ecología y a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente le corresponde el vigilar que esto se cumpla y establecer los límites de limpieza a la cual se debe llegar para eliminar o minimizar los riesgos a la salud y las afectaciones al ambiente que se pudieran haber generado.

A continuación se describe brevemente las características del poliducto de 10"  $\varnothing$  en donde tuvo lugar la fuga.

▪ **Poliducto RNOA 003.**

Este poliducto tiene un diámetro de 10 pulgadas y una longitud de 321 600 metros. Sus puntos de origen y destino son las estaciones de bombeo, respectivamente. De la estación Satélite se bombean, a través de este poliducto los combustibles denominados Pemex Magna, Pemex Premium, Pemex Diesel, hacia la estación de bombeo de Gómez Palacio. De acuerdo con la información proporcionada por PEMEX, el poliducto se construyó en 1960, con una capacidad de transportación de diseño de 1,000 bls/hr. Actualmente transporta un volumen de 24,000 bls/día y la presión máxima de operación es de 60 Kg/cm<sup>2</sup>. El poliducto cuenta con las instalaciones especiales que se resumen en las Tablas 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4.

Tabla 1.1. Cruzamientos del poliducto de 10 pulgadas de diámetro Satélite-Gómez Palacio.

Tipo de cruzamiento	Numero	Observaciones
Caminos/Tipo	19	Cruzamiento con carreteras
Vías F.F.C.C./Tipo	4	Con vías férreas Monterrey - Gómez Palacio
Ríos/ Tipo	20	Con río Nazas y corrientes intermitentes

Fuente: Pemex – Refinación.

Tabla 1.2. Válvulas de seccionamiento del poliducto de 10 pulgadas de diámetro Satélite-Gómez Palacio.

Válvula	Ubicación (Km)	Tamaño	Observaciones
1. Arco Vial	9+582	10 pulgadas	Operación manual
2. Ojo Caliente	39+067	10 pulgadas	Operación manual
3. El Cabrito	53+935	10 pulgadas	Operación manual
4. El Pinto	80+965	10 pulgadas	Operación manual
5. Hipólito	105+965	10 pulgadas	Operación manual
6. El Dorado	128+778	10 pulgadas	Operación manual
7. El Carmen	152+312	10 pulgadas	Operación manual
8. San Rafael	207+545	10 pulgadas	Operación manual
9. Mayrán	235+000	10 pulgadas	Operación manual
10. Bolívar	264+611	10 pulgadas	Operación manual
11. Compuertas	293+814	10 pulgadas	Operación manual

Fuente: Pemex - Refinación.

Tabla 1.3. Estaciones de bombeo del poliducto de 10 pulgadas de diámetro Satélite-Gómez Palacio.

NOMBRE	UBICACION	CONDICION
Satélite	0+000	En operación
Intermedia	8+186	En operación
Cuesta de los Muertos	29+883	En operación

Fuente: Pemex - Refinación.

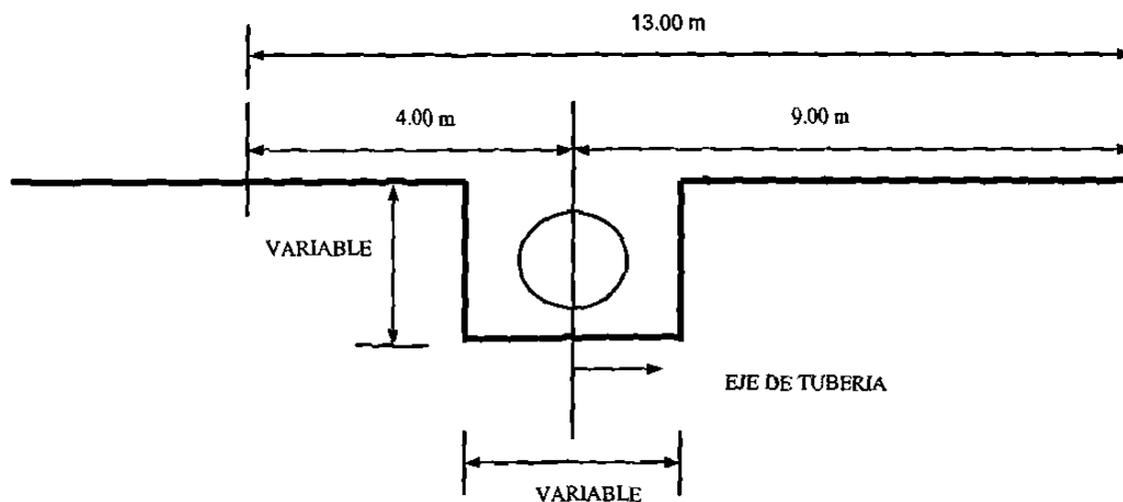
Tabla 1.4. Trampas de diablos del poliducto de 10 pulgadas de diámetro Satélite-Gómez Palacio.

Nombre	Ubicación	Tipo
Satélite	0+000	Envío
Intermedia	8+108	Recibo y envío
Cuesta de los Muertos	30+072	Recibo y envío
Paila	165+165	Recibo y envío
Gómez Palacio	319+571	Recibo

Fuente: Pemex - Refinación.

En la figura 1.2 se pueden observar las dimensiones para un derecho de vía de un poliducto de 10 - 18 pulgadas de diámetro, como lo marca la normatividad de Petróleos Mexicanos. Sin embargo esto es cuando el ducto se encuentre solo en su derecho de vía, que no es el caso del área afectada, donde de acuerdo a la información proporcionada por Pemex Refinación, el derecho de vía tiene un ancho de 18 m, debido a que existen 3 ductos más.

Figura 1.2. Derecho de vía para tubería de 10 pulgadas de diámetro.



## XII.1 ANTECEDENTES

La afectación de suelo por hidrocarburos en el área (poliducto de 10 “ pulgadas de diámetro Monterrey - Torreón), se originó por una fuga de diesel provocada por una toma clandestina. De acuerdo con la información proporcionada por PEMEX Refinación (Ductos Norte) el área afectada se encuentra a la altura del kilómetro 112 de la carretera Federal 40 Saltillo – Torreón. Las acciones correctivas realizadas a cargo Pemex Refinación, se llevaron a cabo de la siguiente manera.

Se derramó un volumen aproximado de 80 barriles de diesel a través de un orificio de ¼” de diámetro. Se afectó un área de 60 m<sup>2</sup> y se recuperaron 6.28 barriles de combustible. La reparación efectuada consistió en la instalación de un sellado tipo “Smith-Clamp” con tapón “Weld Cap” de 8 pulgadas de diámetro.

Las acciones que de manera general se llevaron a cabo para controlar la fuga se describen de manera cronológica.

- a. Se suspende inmediatamente el bombeo del ducto, coordinando los recursos para el control de la fuga.
- b. Se reúne el personal que intervendrá en la eliminación de la fuga y se trasladan al sitio del derrame con la maquinaria, herramienta y equipo de protección personal requerido para este tipo de contingencias y establecido en los procedimientos internos de PEMEX. En la sede del sector se establece un coordinador para enviar la maquinaria y equipo que se requiera. Todas las actividades que se realizan son informadas a los superintendentes de área.
- c. Se bloquea la válvula de seccionamiento para evitar la continuación de bombeo del hidrocarburo.
- d. Ya en el sitio se inician labores de excavación manual para localizar el ducto, una vez localizado se determinan las causas que originaron la fuga, descubriéndose el accesorio utilizado para la toma clandestina el cual consiste en: cincho de 2 pulgadas de acero al carbón permeable en ambos extremos con pernos de ¾” diámetro, dos en ambos lados, cople soldado al cincho superior de ½” diámetro y dos válvulas tipo esfera de apertura rápida de 150 lb, unidas a éstas, un niple galvanizado de 12” de largo roscable de ½” diámetro, por debajo del cincho superior se encontraba un empaque de neopreno de ¼” diámetro de espesor por 2” de largo.
- e. Se retira el accesorio para toma clandestina y se inicia una inspección ultrasónica para verificar la sanidad del material en el área donde se aplicará soldadura a fin de sujetar la abrazadera así como instalar el tapón “Weld Cap”.

- f. Queda instalada la abrazadera tipo "Smith-Clamp", sujetándola mediante soldadura para recibir posteriormente al tapón "Weld cap" con objeto de proteger y asegurar la grapa "Smith-Clamp".
- g. Se procedió a extraer el suelo contaminado, tratando de evitar que el producto (diesel) se infiltrara a mayor profundidad, excavándose solo a 3 m, debido a que el equipo con el que se extrajo el suelo (retroexcavadora) no alcanzaba mayor profundidad, el suelo contaminado se colocó en dos lonas impermeables de 15 x 35 y de 50 x 50 m respectivamente a un costado del derecho de vía para su posterior tratamiento y se rellena el sitio con suelo limpio de una zona aledaña.

Dentro de los procedimientos para este tipo de eventos se describe lo siguiente:

Si el daño real es mayor, se suspende el transporte de combustible para realizar la reparación de la falla.

Si el daño aparente no es mayor se procede directamente al saneamiento de las áreas contaminadas. Cuando se confirma que el daño real no es mayor, se realiza una reparación provisional y la consecuente restauración de las áreas contaminadas.

Una vez que se ha concluido a las reparaciones necesarias se procede a la puesta en operación del ducto y finalmente al análisis del accidente y/o reporte de reparación, el cual debe incluir la ubicación exacta del derrame, las acciones descritas específicamente durante la reparación, con horarios, materiales, personal involucrado y un reporte fotográfico del evento debidamente identificando.

Se informa a la PROFEPA sobre el derrame una vez que se confirmó su existencia y cuando se terminaron los trabajos de reparación se le entregó un informe detallado sobre las actividades realizadas.

## **XII.1.2.- OBJETIVOS.**

### ***General***

Caracterizar cualitativa y cuantitativamente el grado de contaminación por derrame de hidrocarburo en un Poliducto de 10" Ø de Pemex Refinación y los daños ocasionados al ambiente y a la población, que se encuentre cercana al sitio contaminado, determinando las características biológicas y sociales del área.

## Particulares

- Determinar las características ambientales específicas de la zona (hidrología, geología, climatología, geohidrología y socioeconómica)
- Determinar las fuentes de contaminación en el sitio (en caso de desconocerse).
- Determinar los contaminantes presentes en suelo, subsuelo, aguas superficiales y subterráneas y sus concentraciones.
- Identificar los estratos presentes en el subsuelo contaminados con hidrocarburos.
- Delimitar la forma de la pluma o plumas de contaminación en tres dimensiones.
- Determinar el área y volumen de suelo y agua contaminados en tres dimensiones.
- Identificar y evaluar los daños al ambiente.
- Evaluar el riesgo ambiental, a la salud humana y a las actividades que se desarrollan en el área.
- Determinar la metodología de saneamiento del sitio.
- Elaborar un plan de saneamiento específico del sitio.

### XII.1.3.- ENTORNO.

Los elementos del ambiente están definidos por las características físicas y biológicas del sitio, así como por las características sociales y económicas que prevalecen entre la población y su entorno, estableciendo el medio natural y socioeconómico. Su descripción reviste gran importancia para la caracterización de un sitio contaminado, ya que ayuda a determinar junto con los resultados de geofísica y de laboratorio, el comportamiento del contaminante en el medio y los daños a la salud y al ambiente.

La información climatológica y meteorológica de Parras (05-026), que se encuentra a una altitud de 1500 msnm. Se eligió por ser la más cercana al área de estudio que cuenta con un registro histórico mayor a 10 años (35 años). Tiempo mínimo para que este tipo de información se considere confiable.

En los apartados de geología y geohidrología se utilizó la información generada durante la visita de campo y de los estudios existentes de la zona.

En cuanto a la metodología utilizada para describir las características de la flora, se contemplan los siguientes aspectos:

- Identificar y hacer observaciones *in situ* de las diferentes comunidades vegetales, a partir de su fisonomía.
- Hacer muestreos con fines de identificación, en aquellas áreas donde destaca la cubierta vegetal y en los sitios con vegetación secundaria conspicua.
- Comparar con la información existente relativa a la flora de la región.

La metodología utilizada para describir las características de la fauna, contempla los siguientes aspectos:

- Identificar y hacer observaciones *in situ* de las diferentes comunidades animales, a partir de su fisonomía.
- Formular preguntas a los pobladores del lugar con la finalidad de conocer las especies animales que se presentan en las inmediaciones del sitio, ya sea porque no pueden ser vistas de día o que lo hacen en diferentes épocas del año.
- Comparar con la información existente relativa a la fauna de la región.

La información relativa a las características socioeconómicas se obtienen de entidades oficiales, tales como el Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO).

#### 4.1. Climatología.

Los datos climatológicos permiten conocer el tipo de clima de la región, la precipitación que ocurre en el sitio de interés y los meses que con mayor frecuencia se presenta; así como la dirección y magnitud de los vientos dominantes. Estas referencias son criterios importantes para delimitar la zona de influencia de los contaminantes y permiten manejar de manera más apropiada los resultados geofísicos y geológicos obtenidos, que indican como es la infiltración del agua en el subsuelo y si se establece la formación de lixiviados.

El tipo de clima predominante en la zona donde ocurrió el derrame, datos de la estación meteorológica identificada como Parras (05-026), en el estado de Coahuila. La estación se localiza en la coordenada 25°27' latitud norte y 102°11' longitud oeste y a una altitud de 1500 msnm. Se analizaron, los datos de esta estación por ser representativa para esta área y por ser la más cercana al sitio de estudio además de contar con un registro histórico de 35 años.

El tipo de clima que se presenta en el área de estudio, es árido.

Bsohx' (w) (e). Es un clima intermedio entre los climas muy áridos BW y los húmedos A o C, por consiguiente es un clima Bs, cercano al límite de los climas

húmedos, que presenta mayor precipitación que uno cercano al límite de los muy secos como es el caso de la estación Parras cuyo cociente P/T se encuentra por debajo del valor 22.9 (el registro en la Estación Parras es de 17.5), su porcentaje de lluvia en invierno es de 7.5%. Se considera extremoso debido a que la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es de 12.2°C.

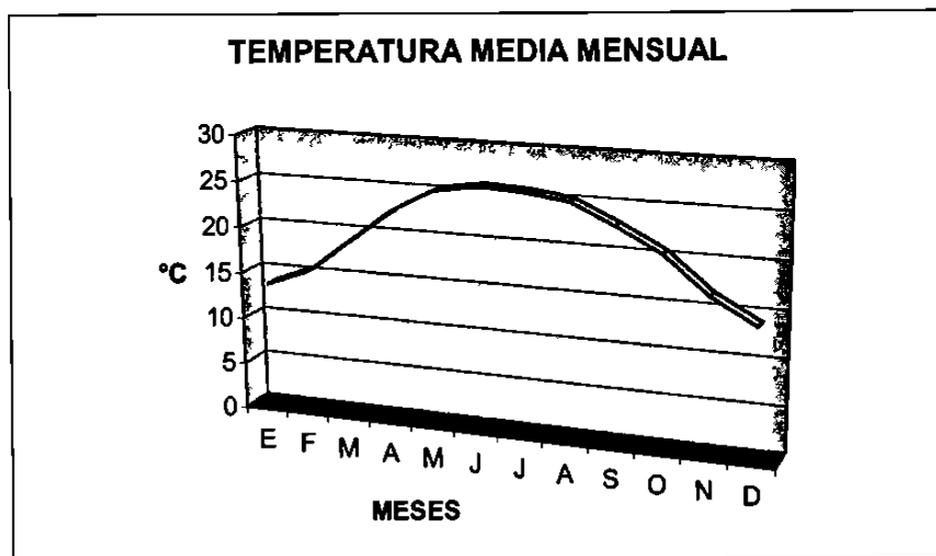
- Temperatura ambiente.

La temperatura es uno de los elementos que constituyen el clima, por lo que su caracterización es indispensable para cualquier análisis climatológico. La temperatura se expresa en términos de la diferencia entre calor absorbido por la superficie terrestre y el emitido por radiación. El resultado de la diferencial entre temperaturas es la temperatura sensible registrada por los instrumentos. La temperatura máxima registrada para el área donde se localiza la fuga, es de 45°C (Agosto / 62), en tanto que la mínima es de -10.5°C (19/Enero/1941). Las temperaturas promedio anual y mensual se presentan en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1. Temperatura media mensual y anual en la estación Parras, para un periodo de 35 años.**

Meses	Temperatura (°C)	Meses	Temperatura (°C)
Enero	13.7	Julio	25.7
Febrero	15.5	Agosto	25.1
Marzo	19.1	Septiembre	22.9
Abril	22.7	Octubre	20.5
Mayo	25.2	Noviembre	16.6
Junio	25.9	Diciembre	14.0
Promedio anual		20.5	

**Figura 4.1. Temperatura media mensual en la estación Parras, para un período de 35 años.**



▪ **Precipitación.**

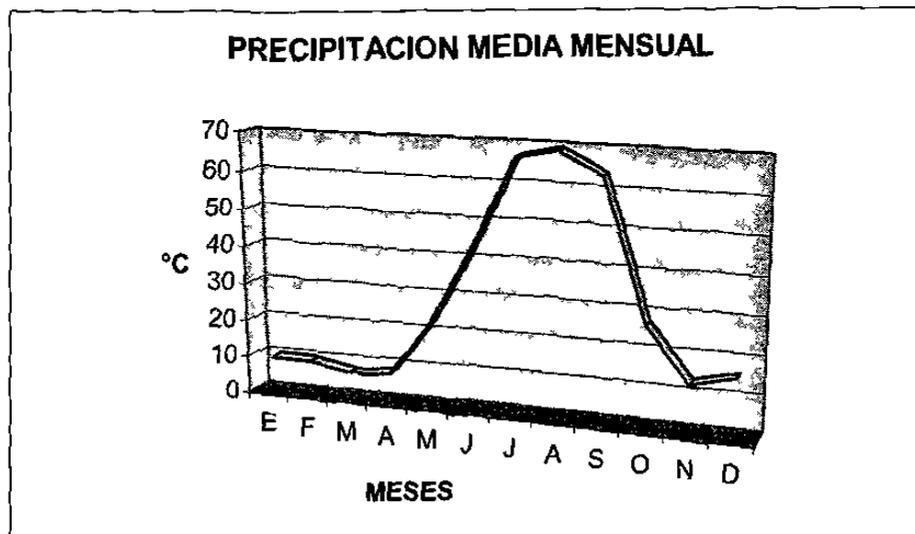
La precipitación, es uno de los componentes en el ciclo hidrológico y llega a la superficie de la tierra como agua, ya sea en estado líquido o sólido, por efecto del movimiento general de la atmósfera que se efectúa en las zonas de baja presión.

La precipitación pluvial registrada, en el periodo de 35 años, en el área aledaña de la fuga el año más lluvioso fue 1990 con una precipitación de 579.4 mm, y el año más seco fue 1994 con una precipitación de 268.9 mm (139). Las precipitaciones promedio mensual y anual para la estación meteorológica más cercana al área de estudio se presentan en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2. Precipitación media mensual y anual en la estación Parras, para un periodo de 35 años.**

Mes	Precipitación (mm)	Mes	Precipitación (mm)
Enero	9.9	Julio	67.1
Febrero	9.6	Agosto	69.4
Marzo	7.6	Septiembre	64.0
Abril	8.4	Octubre	27.4
Mayo	23.1	Noviembre	13.3
Junio	43.4	Diciembre	16.0
Anual		359.2	

**Figura 4.2. Precipitación media mensual en la estación Parras, para un periodo de 35 años.**



#### Intemperismos severos

La humedad relativa media anual es del 35%; el número de días con heladas es de 22, la primera se da en octubre y la última en el mes de abril; el número de días promedio al año con granizo es de 1.4. Los vientos dominantes son hacia el norte y hacia el noreste con 4% de calmas.

#### 4.2. Hidrología superficial.

Desde el punto de vista de la hidrología superficial, el área de estudio se encuentra dentro de la Región Hidrológica, específicamente en la Cuenca de Lagunas de Mayrán-Viesca. Esta cuenca hidrológica está formada por la parte más baja de las lagunas así como su cuenca oriental. Dentro del área del estudio y a 1,000 metros a la redonda no existen corrientes importantes aprovechables debido a la escasa precipitación y al alto índice de evaporación de la zona. El área de estudio presenta un coeficiente de escurrimiento del 0 al 5%.

De esta manera en el área de estudio no se desarrollan escurrimientos superficiales permanentes, por lo que no existe una red hidrológica definida. Localmente, el tipo de escurrimiento predominante es el laminar.

Los cuerpos de agua, permanentes o intermitentes, más cercanos al área de estudio son los siguientes:

Corriente Santa Rosa (intermitente), a 6 Km al sur.  
Arroyo Las Liebres (intermitente), a 12 Km al noreste.

Se presenta el patrón de escurrimiento superficial que prevalece en la zona, así mismo se indican las corrientes superficiales, intermitentes en su mayoría, y la ubicación del sitio afectado por derrame de hidrocarburos. Debido a que son corrientes intermitentes, no se registran volúmenes promedio anuales o gastos hidrométricos.

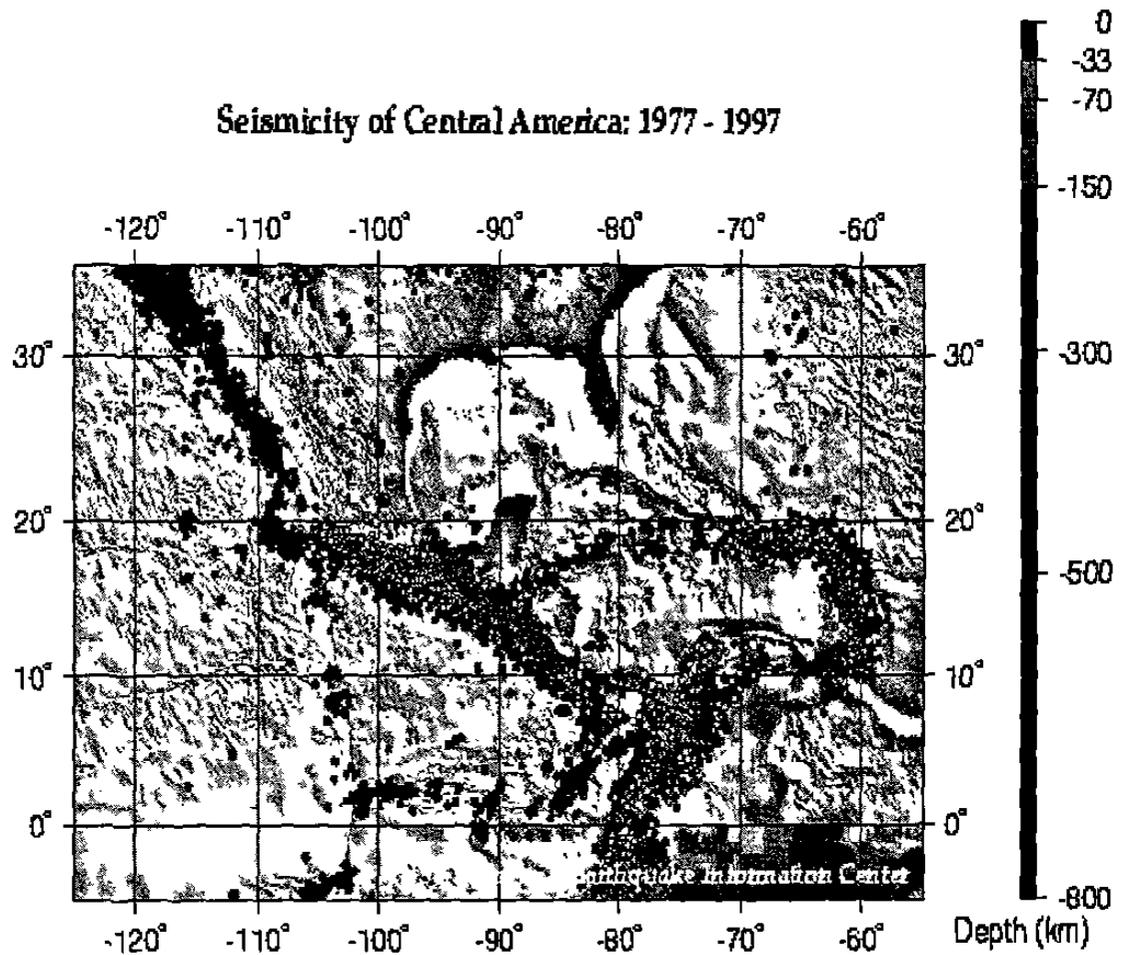
### **4.3. Geología.**

Prácticamente todas las rocas que afloran en la región donde se localiza el área de estudio son de origen sedimentario. Los sedimentos acumulados en el fondo de los mares primitivos se convirtieron en rocas calizas, lutitas y areniscas. Las capas, relativamente horizontales, fueron alteradas por enormes fuerzas geológicas que provocaron grandes rupturas y plegamientos así como movimientos ascensionales que elevaron el fondo marino por encima del nivel superficial del agua.

De manera regional, las rocas que afloran se localizan a 5 kilómetros al sur (Sierra Boquilla) y a 8 kilómetros al este (Sierra Santa Inés) del área de estudio. La secuencia estratigráfica que presentan estas elevaciones corresponde al Cretácico Superior, constituido principalmente de calizas limosas, lutitas arenosas y areniscas (Formación Indidura). Al sur y al noroeste de la fuga, aflora un conglomerado constituido por los fragmentos del Cretácico principalmente por fragmentos de las Formaciones Caracol, Parras y Difunta, los cuales forman el paquete de rocas del Cretácico Superior.

Localmente, el área presenta depósitos aluviales del Cuaternario, conformados por arenas y arcillas con diferentes proporciones de limo. Son materiales no consolidados, pero que presentan, de manera general, permeabilidades bajas. Es en estos depósitos aluviales donde se aloja el hidrocarburo derramado, por lo que la caracterización detallada de estos materiales es importante para el conocimiento de la dinámica que pudiera tener el hidrocarburo, misma que se realiza con la determinación de la estratigrafía durante la perforación de los pozos exploratorios y con los análisis fisicoquímicos de los diferentes estratos presentes en el sitio.

El área de estudio, por su localización geográfica se encuentra en la región noreste del país, la cual está considerada como una zona asísmica, como lo indica la división del territorio nacional en zonas según la probabilidad de sufrir intensidades máximas, elaborado por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México. En la figura 4.3, se muestra un mapa con la distribución de los sismos más frecuentes en el territorio nacional.



**Figura 4.3.** Distribución de los sismos en la República Mexicana.

**Fuente:** USGS

#### **4.4 Geohidrología.**

En la región existen diferentes acuíferos, algunos son someros y otros profundos, sin embargo, este comportamiento no es homogéneo en toda la región, ya que los acuíferos someros no se presentan en toda la zona. Por ejemplo, a varios kilómetros de distancia del predio afectado existen pozos con profundidades al nivel estático de aproximadamente 200 metros (15 Km al

SW), mismos que explotan un acuífero no termal confinado es decir, está limitado superior e inferiormente por formaciones relativamente impermeables, que contienen agua a mayor presión que la atmosférica. En cambio, los aprovechamientos cuyas profundidades varían entre los 15 a 40m (ubicados a 15 y 9 Km al E y NE), se consideran lentes rocosos de poco espesor con permeabilidades mayores a los materiales que les infrayacen, por lo que el agua que se infiltra desde la superficie se acumula en estos cuerpos formando mantos colgados. Estos aprovechamientos no se consideran para consumo humano debido su alto contenido de sales.

Las aguas subterráneas se muestran los tipos de material predominantes en la zona, en el área donde se ubica el proyecto existe material no consolidado con posibilidades medias, lo que quiere decir que sus valores de permeabilidad y su capacidad para conducir, almacenar y ceder agua no se consideran de regulares a malos. La unidad geohidrológica que corresponde al área donde se localiza el proyecto, esta compuesta por material no consolidado con rendimiento medio a bajo (<10 lps). La dirección del flujo subterráneo es hacia el norte-noreste.

#### **4.5 Topografía.**

El área de estudio se encuentra dentro de un valle alargado formado por la Sierra de Parras al suroeste y la Sierra de Paila al noreste. En forma general, se describe como una planicie con una pendiente descendente hacia el noreste de 6 %. Esta dirección de la pendiente es evidenciada por la tendencia general del drenaje intermitente en toda la zona. se muestran la topografía del área aledaña del poliducto de 10"Ø donde se puede apreciar que la tendencia general del drenaje y la pendiente es hacia el norte-noreste. El sitio afectado se encuentra entre las cotas 1180 y 1190 msnm, localmente éste se encuentra en una planicie que se ve interrumpida por pequeñas elevaciones (menores a 0.5 m) propias de la instalación de los ductos que se encuentran muy cercanos unos de otros. Debido a esto, el escurrimiento superficial se vio alterada modificándose la dirección de escurrimiento del derrame hacia el sureste. En el área donde se realizaron las mediciones geofísicas y la perforación y muestreo,

#### **4.6 Edafología.**

El tipo de suelo predominante en el área de estudio es el Yermosol cálcico con Yermosol háplico de clase textural media (Yk+Yh/2). El Yermosol tiene una capa superficial de color claro y muy pobre en materia orgánica, debajo puede haber un subsuelo rico en arcillas, muy parecido a la capa superior, presenta cristales de yeso o carbonatos. Se localizan en zonas áridas o semiáridas, su vegetación natural es de matorrales. Son suelos de baja susceptibilidad a la erosión. (INEGI, 1988)

#### 4.7 Flora.

En la zona donde se localiza el área de estudio se identifican dos formas fundamentales de vegetación que compiten por el dominio, matorral xerófilo y pastizal.

Bajo esta denominación se agrupan a un conjunto de comunidades vegetales dominadas por plantas de porte arbustivo, que se desarrolla en las regiones áridas y semiáridas.

Las especies que forman el matorral en raras ocasiones rebasan los cuatro metros de alto, sus tallos se ramifican desde la base o muy cerca del suelo y pueden presentar varias adaptaciones, como la presencia de espinas en los tallos o ramas, hojas de tamaño pequeño con puestas de varios folíolos o segmentadas, para evitar la transpiración excesiva; muchas especies son caducifolias.

Son comunes también las especies con hojas gruesas y duras, a menudo de bordes espinosos o aserrados, que se agrupan formando una roseta basal o ubicada en el ápice de los tallos. En algunos de los matorrales abundan las cactáceas con tallos globosos o cilíndricos y varias especies tienen sus tallos y hojas cubiertas con ceras. Las herbáceas crecen profusamente durante la temporada de lluvias y cumplen su ciclo de vida en pocas semanas o meses, por lo que durante el resto del año no son fáciles de observar.

Aunque tiene variadas morfologías, en términos generales las especies comunes de este tipo de matorral se presentan en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Composición florística del matorral Xerófilo.**

Nombre Científico	Nombre Común
<i>Acacia farnesiana</i>	Huisache
<i>Acacia rigidula</i>	Chaparro prieto
<i>Caesalpinia mexicana</i>	Hierba del potro
<i>Cercidium macrum</i>	Palo verde
<i>Dyispiros texana</i>	Chapote prieto
<i>Dyispiros virginiana</i>	Chapote manzano
<i>Fraxinus greggii</i>	Escobilla
<i>Mascagnia macroptera</i>	Mariposa
<i>Mimosa malacophylla</i>	Charrasquillo

### Matorral xerófilo micrófilo.

Este tipo de vegetación se caracteriza por el predominio de especies tipo arbustivo, con hoja pequeña y a menudo colorida. Se encuentran abundantes cactáceas de tallos esféricos o planos; asimismo plantas tipo palma que se localizan abundantemente en terrenos planos o en abanicos aluviales de lomas o cerros en el altiplano. Las especies características son, gobernadora, hojasén y ocotillo.

En términos generales las especies comunes de este tipo de matorral se presentan en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4. Composición florística del matorral Xerófilo micrófilo.**

Nombre científico	Nombre común
<i>Acacia berlandieri</i>	Guajillo
<i>Flourensia cernua</i>	Hojasén
<i>Fouquieria splendens</i>	Ocotillo
<i>Larrea tridentata</i>	Gobernadora
<i>Prosopis glandulosa</i>	Mezquite

### Pastizal halófilo.

Entre las formas biológicas de las comunidades predominan las gramíneas rizomatosas y estoloníferas y sus representantes se muestran en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.5. Composición florística del Pastizal halófilo.**

Nombre científico	Nombre común
<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite
<b>Scleropogon brevifolius</b>	
<i>Sphaeralcea angustifolia</i>	

### Pastizal

Las comunidades vegetales denominadas pastizal corresponden a aquellas en que las gramíneas son dominantes. No obstante, bajo este termino se incluyen diversas composiciones florísticas, condiciones ecológicas y estadios serales.

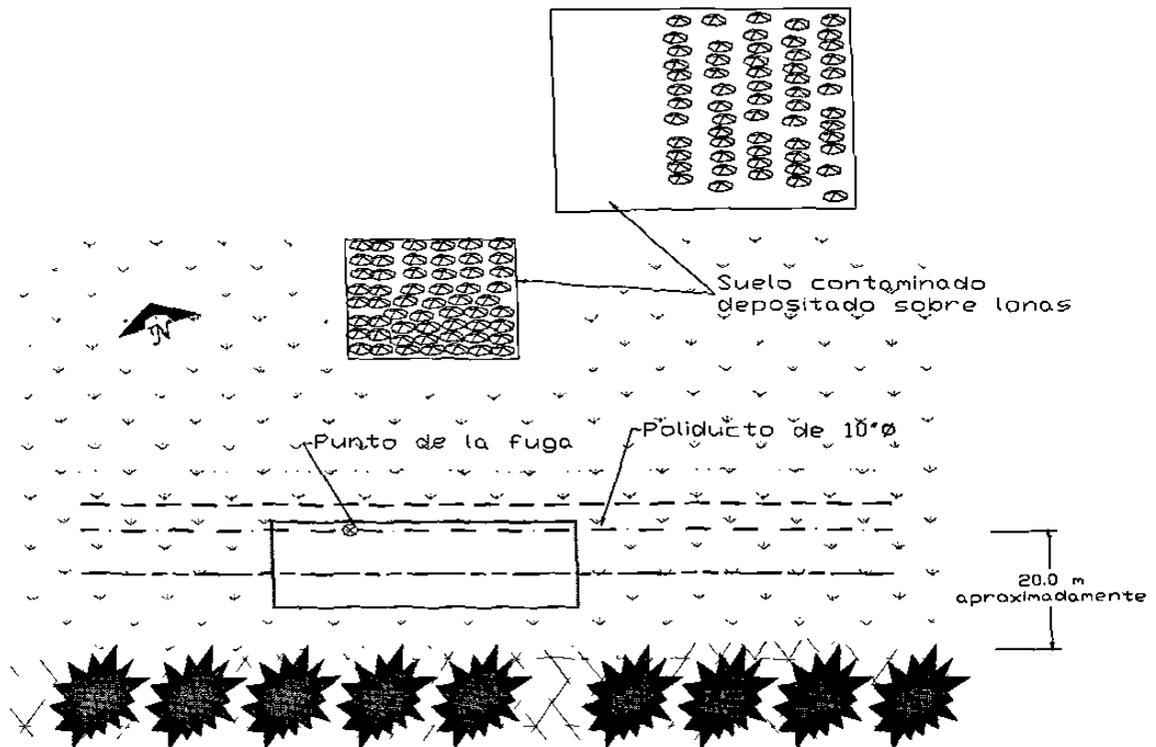
Su estructura es sencilla, pues además de un estrato rasante, formado principalmente por especies rastreras, hay un solo estrato herbáceo, el cual está dominado por las gramíneas. Las plantas leñosas juegan un papel secundario y mantienen una distribución azarosa de tipo sabanoide. La composición de este tipo de plantas se enuncia en la Tabla 4.6.

## 4.6. Composición florística del Pastizal.

Nombre científico	Nombre común
<i>Aristida sp</i>	Zacate
<b><i>Bouteloua gracilis</i></b>	Navajita
<i>Prosopis glandulosa</i>	Mezquite
<i>Tridens texana</i>	

En el área de estudio de manera general se presenta una cubierta vegetal escasa y discontinua, con zonas cubiertas por pequeños manchones de arbustos y zonas con herbáceas y pastos dispersos, al sur del derecho de vía se localiza una zona cubierta con arbustos de 1 a 2 metros de altura lo suficientemente denso para impedir el tránsito normal de una persona, las especies identificadas en esta zona son huizache (*Acacia farnesiana*), hierba del potro (*Caesalpinia mexicana*), palo verde (*Cercidium macrum*); por otro lado dentro de las herbáceas y pastos encontrados tenemos los siguientes: charrasquillo (*Mimosa malacophylla*), hojaseñ (*flourensia cernuda*), ocotillo (*fuquieria splendens*), gobernadora (*Larrea tridentata*) y Navajilla (*Bouteloua gracilis*). En la figura 4.4 se presenta el croquis de distribución de la vegetación donde se aprecia en la parte sur del poliducto un área de color verde representando el manchón de arbustos presente y de color el resto del área de estudio dentro de la cual observamos, al norte del poliducto algunos organismos herbáceos y arbustivos aislados muy escasos, así como el área que comprende el derecho de vía del poliducto donde se observan pastos muy disperso y zonas totalmente desprovistas de vegetación.

Figura 4.4. Distribución de la vegetación en el área de estudio.



#### 4.8 Fauna.

Las perturbaciones existentes en los ecosistemas y comunidades bióticas producidas por la ganadería extensiva y la agricultura en el territorio donde se localiza el área de estudio, han derivado en cambios sustanciales dentro de la dinámica poblacional de las especies animales. Aunado a las actividades mencionadas se tienen efectos acumulativos y sinérgicos por el establecimiento de infraestructura social (carreteras, líneas férreas y eléctricas), por ser la causa de fragmentación del hábitat. Por esta razón, las poblaciones animales cambian continuamente su distribución siendo difícil la caracterización puntual, en las tablas 4.7 a 4.10 se da un listado de la fauna observada en el matorral y pastizal involucrados en el área estudiada.

#### 4.7. Población de Anfibios reportados en el área.

Nombre científico	Nombre común
<i>Bufo speciosus</i>	Sapo texano
<i>Bufo valliceps</i>	Sapo temporalero

#### 4.8. Población de Reptiles reportados en el área.

Nombre científico	Nombre común
<i>Amastridium veliferum</i>	Zacatera negra
<i>Arizona elegans</i>	Culebra
<i>Sceloporus cautus</i>	Lagartija espinosa llanera
<i>Sceloporus couchi</i>	Lagartija de roca
<i>Sceloporus scalaris</i>	Lagartija rasposa
<i>Xerobates berlandieri</i>	Tortuga del desierto

#### 4.9. Población de Aves reportadas en el área.

Nombre científico	Nombre común
<i>Auriparus flaviceps</i>	Parido desértico
<i>Cathartes aura</i>	Aura común
<i>Columbina passerina</i>	Tórtola
<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote
<i>Corvus imparatus</i>	Cuervo mexicano
<i>Cyrtonyx moctuzume</i>	Codomiz arlequín mexicana
<i>Sturnella magna</i>	Alondra
<i>Zenaida macroura</i>	Paloma huilota

#### 4.10. Población de Mamíferos reportados en el área.

Nombre científico	Nombre común
<i>Bassariscus astutus flavus</i>	Cacomixtle
<i>Chaetodipus nelsoni</i>	Ratón de bolsa
<i>Lepus gaillardi</i>	Liebre torda
<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo matorralero

#### 4.9. Aspectos Socioeconómicos.

El área aledaña al poliducto de 10" Ø se encuentra ubicada dentro del municipio de Parras, en el estado de Coahuila (Ver figura 1.1.).

La información obtenida de INEGI a través del Cuaderno Estadístico Municipal Parras, Coahuila reporta para este municipio lo siguiente.

##### **Población.**

Para el año de 1995 la población total era de 43,303 personas de las cuales el 50.7% eran hombres (21,972 personas) y el 49.3 % mujeres (21,331 personas).

La población femenina de 12 años y más era de 13,666 personas en 1990, de esta población 8,055 mujeres tuvieron hijos que nacieron vivos. El total de hijos nacidos vivos que han tenido estas mujeres es de 40,065, lo que nos da un promedio de 2.9 por cada mujer.

En el año de 1995 se registraron 1,190 nacimientos en total, 609 fueron de hombres y 581 de mujeres; las defunciones registradas fueron 231 en total, 131 de hombres y 100 de mujeres; las defunciones de menores de un año registradas fueron 17 en total 12 de hombres y 5 de mujeres; finalmente se tiene un registro de 336 matrimonios y 18 divorcios.

La población de 5 años y más fue de 37,981 personas, de éstas 15 hablaban alguna lengua indígena según datos registrados hasta noviembre de 1995, de las cuales, 2 hablaban Náhuatl, 2 Tarahumara y 11 otras (que incluye a la población que hablaba alguna lengua indígena insuficientemente específica

### **Vivienda.**

Hasta noviembre de 1995 se tenía un registro de 9,075 viviendas habitadas en total, 9,052 viviendas particulares, 43,089 personas ocupan viviendas particulares, habitando 4.8 personas por vivienda en promedio. Asimismo, los registros muestran que hay un total de 9 viviendas colectivas habitadas en el municipio con 161 ocupantes.

Hasta marzo de 1990, las viviendas particulares habitadas presentaban los materiales en pisos, paredes y techos que se muestran en la Tabla 4.11.

#### **4.11. Materiales de construcción para casas habitación en el municipio de Parras.**

<b>Material predominante</b>	<b>Absolutos</b>	<b>Relativos</b>
Pisos.	7,598	100.0
Pisos de tierra.	1,523	20.1
Cemento o firme.	5,023	66.2
Madera, mosaico u otros recubrimientos.	1,013	13.3
No especificado.	29	0.4
Paredes.	7,598	100
Lamina de cartón.	8	0.1
Carrizo, bambú o palma.	27	0.4
Embarro o bajareque.	38	0.5
Madera.	20	0.3
Lamina de asbesto o metálica.	18	0.2
Adobe.	6,538	86.0
Tabique, ladrillo, block, piedra o	761	10.0

cemento.		
Otros materiales.	165	2.2
No especificado.	23	0.3
Techos.	7,598	100
Lamina de cartón.	17	0.2
Palma, tejamanil o madera.	1,246	16.4
Lamina de asbesto o metálica.	43	0.6
Teja.	102	1.3
Losa de concreto, tabique o ladrillo.	798	10.5
Otros materiales.	5,356	70.5
No especificado.	36	0.5

### Salud.

La población derechohabiente de las instituciones del sector salud registrada hasta 1995 es de 23,685 en total, de los cuales son 6,709 los trabajadores asegurados y los familiares, pensionados y dependientes son 16,976.

Los asegurados en el IMSS son 19,890 en total 5,593 son trabajadores asegurados y 14,297 son familiares, pensionados y dependientes; en el ISSSTE son 3,795 los derechohabientes registrados, de los que 1,116 trabajadores asegurados y 2,697 familiares, pensionados y dependientes.

Las unidades médicas en servicio del sector salud según régimen, institución y nivel de operación, en 1995 para las que se tiene un registro de 44 unidades en total, de las cuales a Seguridad Social le corresponden 2 del IMSS, una de consulta externa y otra de hospitalización general; 1 del ISSSTE de consulta externa, 42 de asistencia social, y; 5 del IMSS-SOLIDARIDAD de consulta externa y 37 no especificados.

Los recursos humanos en las instituciones del sector salud por régimen e institución según tipo de personal son una planta de 232 médicos, 36 en el IMSS, 8 en el ISSSTE, y de Asistencia Social se cuenta con 5 médicos de IMSS-Solidaridad

De los recursos médicos con que cuenta el municipio se tienen 34 camas censables, 2 gabinetes de radiología, 3 laboratorios, 2 quirófanos y 2 salas de expulsión en total, distribuidas de la siguiente forma: 18 camas censables, 1 gabinete de radiología, 2 laboratorios, 1 quirófano y una sala de expulsión. En Seguridad Social por parte del IMSS; de Asistencia Social se tienen 16 camas censables, 10 consultorios, 1 gabinete de radiología, 1 laboratorios, 1 quirófano y 1 sala de expulsión.

## **Educación.**

La población de 5 años y más que asiste a la escuela es de 34,674 en total de los cuales 5,926 son hombres y 5,518 son mujeres que asisten a la escuela, 11,626 hombres y 11,519 mujeres que no asisten y 186 hombres y 199 mujeres no especificado.

Los alumnos inscritos en total son 12,292, personal docente son 658 y en total se cuenta con 176 escuelas. En preescolar hay 1,848 alumnos inscritos, 89 personas conforman el personal docente y se cuenta con 57 escuelas. En instituciones federales se cuenta con 183 alumnos, un personal docente de 24 personas y 24 escuelas. Hay 1,665 alumnos inscritos en instituciones estatales y cuentan con 65 personas de personal docente y 33 escuelas.

En nivel primaria, 6,837 alumnos inscritos, 300 docentes y 92 escuelas en total, de los cuales respecto a escuelas federales se registran 88 alumnos inscritos, 16 docentes y 16 escuelas; respecto a escuelas estatales son 6,289 alumnos, 266 personal docente y 73 escuelas, finalmente para escuelas particulares se tienen 460 alumnos inscritos, 18 docentes y 3 escuelas. En el nivel secundaria existen 16 escuelas, 15 estatales y 1 particular, 2,129 alumnos inscritos en escuela estatal y 114 en particular, 108 docentes en escuelas estatales y 18 en la escuela particular.

En nivel profesional medio existen 2 escuelas estatales con 109 alumnos inscritos y 21 docentes. Así mismo también existe una escuela normal con 315 alumnos inscritos y 44 docentes. De nivel bachillerato en total se tienen 754 alumnos inscritos 49 docentes y 4 escuelas, 1 escuela es federal y tiene inscritos 364 alumnos y 6 docentes; 1 es estatal con una población estudiantil de 145 personas con 17 docentes; 1 escuela particular con 39 alumnos y 9 docentes, finalmente 1 bachilleres autónomo con 206 alumnos y 17 docentes.

## **Empleo y salarios.**

Para el registro de la población de 12 años y más económicamente activa se tienen los siguientes datos: 27,416 personas en total de las cuales 13,750 son hombres y 13,666 son mujeres, de los cuales los económicamente activos ocupados son 11,327 de los cuales 9,034 son hombres y 2,293 son mujeres, desocupados son 382 personas de las cuales 325 son hombres y 57 son mujeres, la población económicamente inactiva es de 15,364 personas de las cuales 4,223 son hombres y 11,141 son mujeres.

El salario mínimo general registrado en el año de 1996 durante el período del 1º de enero al 31 de marzo fue de 17.00 pesos/día, del 1º de abril al 2 de diciembre fue de 19.050 pesos/día y a partir del 3 de diciembre de 22,500 pesos/día.

## **XII.1.4.- DESARROLLO DE LOS TRABAJOS.**

### **▪ Topografía.**

El terreno donde se encuentra el área afectada es sensiblemente plano, no existiendo diferencias de desnivel dentro del predio evaluado mayores o iguales a 1 m, por lo que la topografía se presenta de un área más grande para que se puedan apreciar las curvas de nivel y con ello la dirección de la pendiente del terreno. Ver plano 5.

Sin embargo, dentro del terreno se realizó un levantamiento por medio de distancias y ángulos para delimitar y ubicar el área afectada así como, los rasgos importantes dentro o cerca de la zona levantada como son lonas donde se apiló el material extraído en las excavaciones para reparar la fuga, los tendidos de geofísica, los pozos exploratorios, el derecho de vía, los ductos presentes dentro del derecho de vía, entre otros. El equipo empleado fue brújula, cinta y odómetro (Meassure meter).

Durante los trabajos de campo no se observaba en superficie alguna área afectada ya que la tierra había sido removida, sin embargo, en la figura 5.1 se presenta el área que se encontraba impregnada de hidrocarburos a la llegada del personal de Pemex para restaurar la fuga.

### **▪ Geofísica.**

De acuerdo a las características de los materiales que conforman el subsuelo somero del área de estudio y a la naturaleza del contaminante, se planteó la necesidad de aplicar una tecnología, que pudiese generar un diagnóstico de información amplio y seguro del estado en que se encuentra el subsuelo afectado. Se aplicó una metodología de tipo indirecta como es la geofísica por medio del arreglo polo-dipolo; método geoelectrico resistivo, misma que a la fecha es de lo más avanzado en los diagnósticos de contaminación en el subsuelo. Dicha metodología esta basada en la determinación de parámetros de conductividad eléctrica de los materiales del subsuelo. Para realizar los trabajos de prospección con el método de resistividad eléctrico polo-dipolo, se extiende en formación lineal sobre el terreno un cable de 11 polos separados entre sí cada 4 metros, donde se conectan los electrodos (de bronce); este circuito se conoce como circuito de potencial. Un extremo del cable, se conecta a un selector de los diferentes pares de electrodos de potencial MN a fin de simplificar la tarea. La longitud del tendido puede variar dependiendo del estado físico con que se cuente. Un segundo dispositivo, denominado circuito de corriente consiste en clavar un electrodo a una distancia mayor (electrodo a infinito) a 25 veces la distancia entre cada dipolo de potencial y en dirección colineal con el dispositivo de potencial. El cierre del circuito de corriente se

produce al conectar otro electrodo en las posiciones intermedias de cada dipolo de potencial.

El equipo base que se utilizó para la prospección geofísica es un aparato de medida de resistividad absoluta, un aparato de medidas múltiples y una fuente de alimentación (corriente continua).

Para cada dipolo de potencial, se lee en primer lugar, el valor de potencial natural: enseguida, se inyecta la corriente leyéndose tanto el valor de esta como la del potencial inducido en el dipolo correspondiente. El proceso se repite hasta alcanzar la profundidad programada o en su caso, hasta donde lo permita el acceso al terreno.

La transformación de resistividad aparente a resistividad real y las correspondientes profundidades de los contactos geoelectricos, se obtiene mediante procesos computacionales donde se compara la curva obtenida en el campo, con curvas teóricas.

De esta manera se obtuvo el perfil isorresistivo de la estructura del subsuelo de forma Continúa y tridimensional. El espectro, se analizó e interpretó delimitando las alteraciones generadas por productos artificiales y también correlacionándose con las propiedades del terreno, en donde se involucran anomalías de tipo natural que pueden corresponderse a fallas, fracturas, fisuras o disoluciones generadas por aguas ácidas, que finalmente son el medio por donde se dan fenómenos de migración.

La ubicación de los tendidos, se delimitó con estacas de madera la forma de la afectación encontrada en superficie cuando se atendió la fuga ya que al momento de realizar los trabajos no había evidencias de la misma ya que el terreno afectado se había removido y depositado en el área de lonas), asimismo, se tomaron en cuenta los rasgos topográficos más importantes del área aledaña como lo son direcciones de las pendientes preferenciales y o rasgos como zonas de erosión por corrientes intermitentes. También se tomaron en cuenta las características generales del suelo como su granulometría ya que el conocimiento de este, nos ayuda a entender el comportamiento del fluido con respecto al tiempo, los rasgos geológicos locales fueron otro factor que se tomó en cuenta, los cuales se observaron en los cortes de la carretera que da acceso al área.

Se instalaron 5 tendidos en el área de estudio de 40 m de longitud cada uno y un sexto de 15 m de longitud ubicado a un costado de los montones de material contaminado sobre lonas al norte del área afectada, estos tendidos presentan, al ser interpretados por el equipo de geólogos, hidrogeólogos y geofísicos, los conceptos litoestratigráficos en forma detallada, así como las zonas alteradas

por los efectos de la contaminación. La ubicación de los tendidos de geofísica se realizó de acuerdo a la naturaleza de la fuga de la siguiente forma:

Los tendidos T-1, T-2, T-3, T-4 y T-5 se instalaron paralelos entre sí y en forma perpendicular al ducto, con una orientación SE 18°, al ducto. El tendido T-2 está separado del tendido T-1 una distancia de 13 m; el tendido T-3 esta a una distancia de 11 m del tendido T-2; el tendido T-4 esta a una distancia de 13 m del tendido T-3; finalmente el tendido T-5 está a una distancia de 11 m del tendido T-4, ver fotografías 5 y 6 donde se muestra la instalación de un tendido y de la toma de medidas el tendido T-6 (cuya longitud es de 15 m) se encuentra en forma perpendicular a los anteriores, cercano a los montones de suelo contaminado depositados sobre lonas en la parte norte del área afectada.

Con las determinaciones de resistividad en ohm/metro, obtenidas a las diferentes profundidades previamente programadas se dedujeron los contactos litoeléctricos que delimitan al grupo de horizontes o estratos, que constituyen la estructura del subsuelo estudiado. Dichos horizontes para su descripción se les clasificó con las letras A, B, C y D. También, se llevó a cabo la interpretación basada en el análisis de los perfiles isorresistivos que se obtuvieron en forma Continúa, considerando las propiedades de conductividad eléctrica del terreno en sus dos direcciones, longitudinal y transversal. Por otro lado se analizaron las anomalías eléctrico resistivas, las de baja conductividad, las cuales se correlacionan a diversos fenómenos, provocados en algunos casos por elementos de naturaleza artificial, tal es el caso de la presencia de productos contaminantes que alteran el estado físico-químico del terreno, puesto que la ionización existente en la porosidad tiende a reaccionar al paso de la corriente eléctrica artificial enviada. Los otros fenómenos, pueden corresponder a fallamientos en la estructura, fracturas, fisuras y oquedades, así como a cambios contrastantes en la litología. La detección de lo antes citado se da con un amplio rango de seguridad ya que la metodología aplicada y la alta sensibilidad del equipo de prospección geofísica lo permiten.

La interpretación, que se hace a partir de los perfiles de isorresistividades, determinó varias anomalías que una vez analizadas se interpretan como artificiales debido, principalmente, a que no son comunes de acuerdo al análisis bibliográfico previo de la posible estratigrafía del lugar.

El tendido T-1 no presenta anomalías que puedan asociarse a contaminación sin embargo, presenta valores altos en la parte superficial del terreno. En caso de existir contaminación esta, tendrá valores muy bajos por lo que, se ubicó en esta zona el pozo P1 para verificar este comportamiento.

Se detectaron en el tendido T-2 anomalías de baja resistividad asociadas y localizadas cercanas al punto, previamente identificado, de la fuga, estas están identificadas por tonos azules y delimitan una posible pluma contaminante,

misma que se verificará con los pozos P2 y P11. Esta anomalía se encuentra ubicada entre los electrodos 7 y 10, de los perfiles de isorresistividades, misma que se extiende a una profundidad teórica de 35 m. De igual forma se identificó una segunda anomalía entre los electrodos 3 y 4 a una profundidad teórica de 20 m pero que se extiende desde la superficie a través de los tonos amarillos, la cual se asocia a humedad ya que, no existe relación con la fuga y si, con la franja de vegetación localizada al sur del derecho de vía del poliducto.

En el tendido T-3, se detectó una anomalía de baja resistividad entre los electrodos 6 y 11, anomalía que se extiende desde la superficie hasta una profundidad teórica de 20 m. Finalmente esta anomalía se interpretó como propia del terreno en donde se detectó una humedad natural por arriba de lo normal lo cual, se deduce como un lente arenoso el cual, ha captado la humedad de la zona, se ubicó un sondeo exploratorio P11, cerca de la zona antes descrita cuyos resultados se presentan en la tabla de resultados de laboratorio ( de resultados de laboratorio). De igual forma se detectaron dos anomalías más en el mismo tendido, una a la altura del electrodo 2 y 3 a una profundidad teórica de 15 m aproximadamente, la cual no se relacionan al producto propio de la fuga, lo cual se comprobará con los resultados del pozo exploratorio 6 ubicado entre ella y el ducto. Se asocia a humedad, ya que a en esa ubicación hay una serie de arbustos que pueden propiciarla. La otra anomalía se presenta entre los electrodos 4, 5 y 6 a una profundidad teórica de 32 m, la cual aparentemente no tiene relación con el ducto, sin embargo, eso se debe a que entre ella y éste hay material "sano" que fue colocado para rellenar que se realizó para reparar la fuga y extraer el material contaminado. A esta anomalía se le asocio con contaminación y se espera que esta sea la zona donde la pluma llegue a más profundidad ya que se encuentra muy cercana al punto donde se presento la fuga, para verificar lo anterior se perforará el pozo 4.

El tendido T-4, ubicado casi en el extremo este del área afectada, se detecta una anomalía de alta resistividad la cual se presenta a lo largo de todo el tendido. Esta anomalía se interpreta como parte del relleno artificial y como parte de un horizonte de material con humedad natural muy baja sin embargo, dentro de esta misma anomalía se infiere que esta no es del todo continua ya que presenta valores bajos que se interpretan como anómalos por no tener una continuidad a lo largo del relleno. Se esperaría tener en el relleno tanto horizontal como verticalmente valores de resistividad altos lo cual, se debería a la falta de compactación que pudiera presentar el relleno dado que no se substituyó el suelo igualando las condiciones originales de compactación y granulometría y es por esta razón que el tener valores bajos dentro de esta zona no se considera normal y si como una anomalía a verificar con las perforaciones. Esta anomalía se localiza entre los electrodos 2 y 6 y en los electrodos 9 a 11. a una profundidad teórica de 3 y 4 m respectivamente en los perfiles de isorresistividad.

El tendido T-5, ubicado fuera del relleno, en el extremo este del área de estudio, presenta dos tipos de anomalías diferentes. La primera de alta resistividad identificada a lo largo de todo el tendido y una de baja resistividad, ambas no se relacionan al producto propio de la fuga. No obstante se ubica el pozo exploratorio de manera estratégica para corroborar lo siguiente.

▪ **Pozos exploratorios (perfiles estratigráficos y muestreo).**

De esta forma, el grupo de especialistas, después de haber analizado la información bibliográfica y de realizar las inspecciones de campo con relación a la topografía, el tipo de suelo, la geología local y los resultados de la geofísica (perfiles de isorresistividad), y las propiedades hidráulicas cualitativas de los materiales, definió un modelo conceptual preliminar de comportamiento del sistema y procedió a ubicar en un plano de la zona, los sondeos exploratorios y a determinar la profundidad de los mismos. Cabe mencionar que esta ubicación puede cambiar de acuerdo a lo encontrado en la perforación de cada uno de ellos, ya que con cada pozo se debe revalorizar y ajustar de ser necesario el modelo conceptual preliminar, por lo que es indispensable tener como responsable de la perforación un geólogo con experiencia en este tipo de proyectos y una coordinación general por parte de un Hidrogeólogo. Se ubicaron los pozos de perforación en los sitios donde se determinó que la pluma podría presentar mayor profundidad o concentraciones más altas. Estos pozos exploratorios se perforan con máquina tipo rotatoria Foremost Mobile modelo B-59,

Las actividades de campo se iniciaron con un recorrido del área evaluada, con la finalidad de ubicar físicamente los puntos en los que se realizarían las perforaciones de los pozos exploratorios. Asimismo, se determinó en que perforaciones se tomaría muestra de subsuelo mediante el uso del tubo partido para pruebas de penetración estándar, el cual se hincó a golpes mediante la energía proporcionada por una masa de 64 Kg de peso que se deja caer libremente de una altura de 75 cm de acuerdo con la Norma ASTM D1586-98. También se utilizó el muestreador del tipo tubo partido California de 3" de diámetro externo, hincado de igual forma que el muestreador estándar. Nunca se utilizó fluido de perforación ya que, este contaminaría la muestra y no sería representativa de la zona, impidiendo obtener así una muestra con las propiedades naturales de la zona, así como, del elemento contaminante por lo que, la interpretación de los resultados no tendrá la validez que se desea. Por esta razón, se recomienda el muestreo inalterado. La profundidad de los sondeos se presenta en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1. Relación de pozos perforados y su profundidad.**

Pozo	PROFUNDIDAD EN METROS
1	5.00
2	8.60
3	4.60
4	16.30
5	15.00
6	5.28
7	4.00
8	12.30
9	4.41
10	4.50
11	4.60
12	6.00

La descripción y clasificación de los materiales detectados se realizaron de acuerdo con los lineamientos del SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), tanto en seco como en húmedo, debido a la especificidad, detalle y precisión de las descripciones ahí contenidas necesarias para comprender el comportamiento del contaminante en este tipo de material.

▪ **Estratigrafía.**

La estratigrafía detectada en cada una de las perforaciones realizadas, así como las profundidades a las cuales se realizó el muestreo, tanto con el penetrómetro estándar como el tubo California de 3", se muestra en los perfiles estratigráficos incluido en el anexo de documentos. A continuación se presenta la descripción de cada uno de ellos.

En el área comprendida en las inmediaciones de esta línea de conducción, aflora en la superficie limo (diámetro de partícula = 0.0005-0.05 mm) arcilloso (diámetro de partícula = 0.0002-0.0005 mm) con un color crema claro con un contenido de materia orgánica que de acuerdo con los pozos tiene un espesor que va de 1.50m (sondeo 1) a 2.50 m (sondeo 6) hasta 3.50m como el caso del sondeo 10. Dentro de la secuencia de limos arcillosos se detectaron lentes de arena (arena = 0.05-2.0 mm de diámetro), gravas (grava = 2.0-20.0 mm) y gravillas (gravilla = 20.00-200 mm de diámetro) (sondeo 4, 7 8, 9, 10, 12) de calizas bien redondeados, estos lentes de gravas se encontraron a diferentes profundidades y no rebasaban los 50 cm de longitud por los 50 cm de espesor. En el caso del sondeo 5 se detectó un lente de estas características a la profundidad de 14 m con un espesor de 40 cm. Por debajo del limo arcilloso con lentes de arena, gravas y gravillas, se identificó un estrato compuesto por una arcilla limosa de color verde con vetillas de arcilla cuya base no se detectó por lo que, no se define tal profundidad para este estrato.

Se resume que el área del estudio tiene una secuencia relativamente sencilla, de acuerdo a los resultados de los sondeos, un horizonte de espesor variable de 1-4.5 m de composición limo arcilloso con lentes de compuestos por arenas, gravas y gravillas que suprayacen a un estrato compuesto por arcillas limosas con lentes aislados y menos frecuentes que el estrato superior compuesto por arenas, gravas y en algunos casos por gravillas, ver perfil estratigráfico del sondeo.

De los dos horizontes descritos anteriormente, se le puede considerar al primero, como a una unidad de permeabilidad alta con valores de 13.10 cm/h, ver resultados de análisis fisicoquímicos, al segundo como una unidad de permeabilidad baja a media de acuerdo a su granulometría.

El comportamiento hidrogeológico de las unidades arriba descritas, es el siguiente:

En la zona la precipitación media anual es menor a los 400 mm, por lo que el agua de lluvia apenas alcanza a satisfacer el déficit de humedad del suelo, por lo que el escurrimiento superficial es muy bajo como lo confirma la escasez de cauces bien definido de arroyos o ríos. Asimismo, la recarga vertical a los acuíferos es escasa y en cuanto a la calidad del agua, las altas temperaturas que se registran en la zona propician una evapotranspiración elevada por lo que el agua que se infiltra ve disminuida su calidad por los elevados valores en sales y sólidos totales disueltos.

Los materiales presentes en el sitio son de permeabilidades de medias a bajas, del orden de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$ , en general la granulometría va de los limos a las arcillas, sin embargo durante las perforaciones se encontraron lentes arenosos y de gravas de calizas de algunas decenas de centímetros de espesor, sin llegar al metro. Estos horizontes se consideró que eran lentes porque no presentaban continuidad horizontal ya que no aparecieron en los pozos cercanos.

El nivel freático se encuentra a más de 30 m ya que no fue detectado con las perforaciones o la geofísica, por lo que la contaminación no ha entrado en contacto con el agua subterránea.

En cuanto al comportamiento de un contaminante en estas unidades se menciona lo siguiente:

El contaminante al entrar en contacto con los materiales del subsuelo tendrá un movimiento vertical descendente conforme a la ley de gravedad, sin embargo, esa velocidad variará de acuerdo a los materiales de los mismos.

Las conductividades hidráulicas son de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$ , predominando el promedio de estas, sin embargo, en el área donde se ubica la fuga, entre los pozos 2 y cuatro existe una zona de debilidad donde debido a una posible fractura la permeabilidad es mayor y en promedio la permeabilidad en ese punto es del orden de 8.16 cm por día, por lo que en los ocho meses que tiene de haber ocurrido la fuga, la contaminación a llegado a 19.584 m.

No se presenta un desplazamiento horizontal importante porque la pluma contaminante no llegó a un obstáculo que le impidiese el movimiento descendente y obligará a un desplazamiento lateral como podría ser el espejo de agua o un estrato con una permeabilidad marcadamente menor.

▪ **Muestreo.**

Todas las perforaciones se llevaron a cabo utilizando barrenas "Hollow steam" de 4 1/4" de diámetro externo, la toma de muestras se realizó mediante el uso del tubo partido para pruebas de penetración estándar de acuerdo a la norma ASTM-D-1552, dicho penetrómetro se lavó antes y después de cada toma de muestra de suelo utilizando jabón, alconox, agua potable, guantes de látex y cepillo de nylon. Las muestras para las pruebas de laboratorio se obtuvieron de acuerdo a la norma ASTM-D-5048. Todas estas actividades se realizaron conforme a los procedimientos y metodología desarrolladas.

Los parámetros que se determinaron en las muestras de suelo, para este trabajo se definieron con anterioridad (términos de referencia). En la tabla 5.2 se relacionan los parámetros y los métodos de laboratorio que se aplicarán.

**Tabla 5.2. Selección de parámetros a analizar.**

<b>ANALISIS DE SUELO</b>	
•	TPH's (Método EPA 8015B)
•	Hidrocarburos Poliaromáticos (Método EPA 8310)
•	Benzopireno (Método EPA 8310)
<b>Físicoquímicos</b>	
•	Fracción mineral (%)
•	Humedad (agua)
•	Materia orgánica (KMnO <sub>4</sub> )
•	Textura y Estructura
•	Permeabilidad
•	Porosidad
•	Saturación

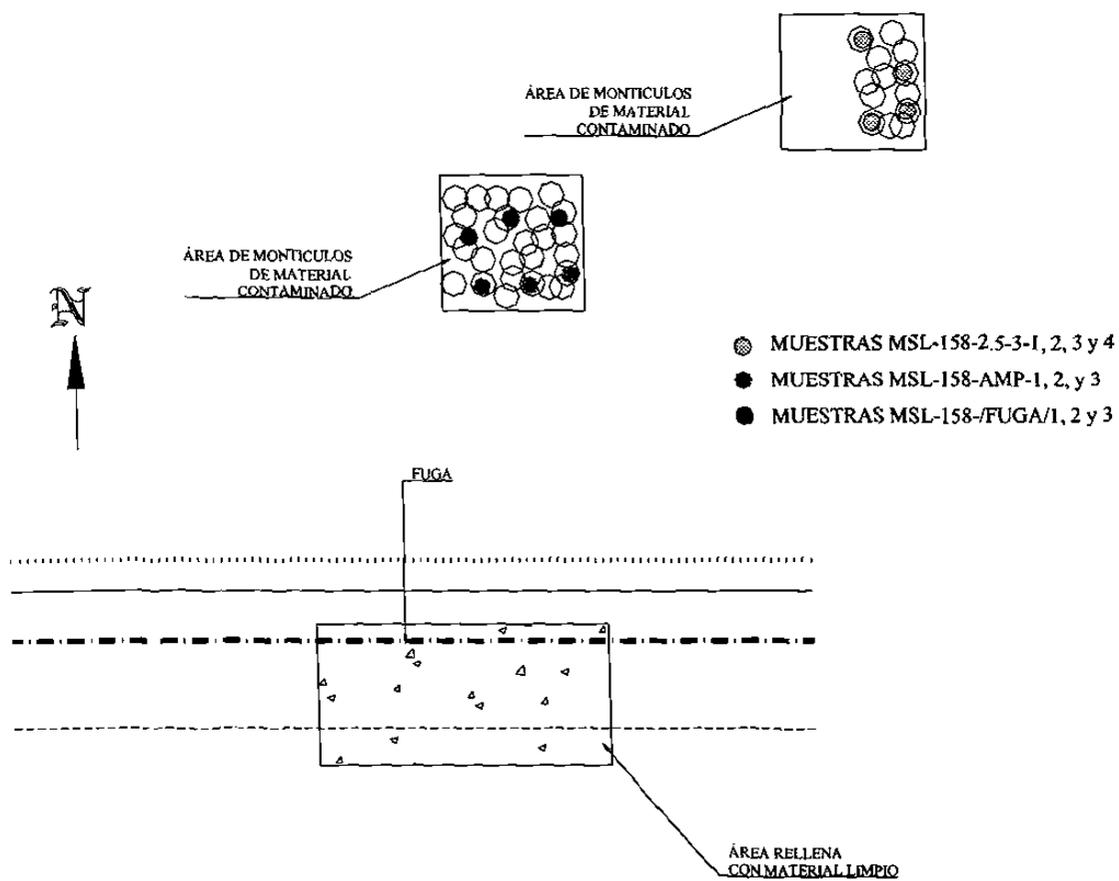
• PH
• Densidad real
• Densidad aparente
• Capacidad de intercambio iónico, aniónico y catiónico.
• Velocidad de absorción y adsorción
• Modificación de la estructura química
• Composición microbiológica

La toma de muestras de suelo del material ubicado en las lonas (parte norte del área de estudio) se realizó de acuerdo al orden que guarda este material respecto de su extracción del área afectada según lo indicado por la Supervisión de PEMEX, Ductos Norte, Sector Monterrey. Es decir, durante los trabajos de excavación se guardó un estricto orden al disponer los materiales sobre las lonas de tal manera que existen tres zonas. La primera, que es la que tiene el material con mayores concentraciones de hidrocarburos, es el suelo extraído para ubicar y reparar la fuga, la segunda corresponde al material que fue extraído por debajo del ducto hasta una profundidad máxima de 3.5 m y la tercera zona corresponde a la aplicación de la excavación, que se realizó con fin de extraer el material que aún se apreciaba que estaba contaminado.

Tratando de obtener un promedio de cada una de las zonas y uno total se ubicaron tres muestras en cada zona, excepto la segunda que se tomaron cuatro muestras por considerar que el material era más heterogéneo. En relación con su ubicación espacial dentro de cada zona, éstas se distribuyeron de manera equidistante.

Como se mencionó anteriormente, el muestreo del suelo en las lonas se realizó de acuerdo a su distribución en las mismas dado que, estas conservan un orden en cuanto a su extracción. Las muestras con clave MSL-158-2.5-3/1 a MSL-158-2.5-3/3 corresponden a la zona de extracción máxima de suelo que fue de 2.5 a 3.0 m a partir de la superficie del terreno. Las muestras con la clave MSL-158/FUGA/1 a MSL-158/FUGA/3 corresponden al suelo de la parte más cercana al punto de la fuga. Finalmente, las muestras identificadas como MSL-158/AMP/1 a MSL-158/AMP/3, corresponden a la parte de la ampliación a partir del punto de la fuga en dirección al sur. A continuación se muestra la figura 5.2 con la interpretación de lo antes descrito:

**Figura 5.2. Croquis de ubicación del muestreo de suelo en área de las lonas.**



En la tabla 5.3 se relacionan los pozos perforados, todas las muestras obtenidas y las profundidades a las que se obtuvieron.

**Tabla 5.3. Relación del total de muestras obtenidas de suelo y su profundidad.**

<b>No. POZO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
1	MS-158-1-1.0	1.0-1.6
	MS-158-1-2.0	2.0-2.40
	MS-158-1-3.0	3.0-3.60
	MS-158-1-4.0	4.0-4.35
	MS-158-1-5.0	5.0-5.10
2	MS-158-2-2.0	2.0-2.60
	MS-158-2-3.0	3.0-3.60
	MS-158-2-4.0	4.0-4.60
	MS-158-2-5.0	5.0-5.60
	MS-158-2-6.0	6.0-6.60
	MS-158-2-8.0	8.0-8.60
3	MS-158-3-1.0	1.0-1.60
	MS-158-3-2.0	2.0-2.60
	MS-158-3-3.0	3.0-3.60
	MS-158-3-4.0	4.0-4.60
4	MS-158-4-4.0	4.0-4.60
	MS-158-4-5.0	5.0-5.60
	MS-158-4-6.0	6.0-6.60
	MS-158-4-8.0	8.0-8.60
	MS-158-4-10.0	10.0-10.45
	MS-158-4-12.0	12.0-12.55
	MS-158-4-14.0	14.0-14.20
	MS-158-4-16	16.0-16.20
<b>No de Pozo</b>	<b>Identificación</b>	<b>Porofundidad</b>
5	MS-158-5-2.0	2.0-2.60
	MS-158-5-3.0	3.0-3.10
	MS-158-5-4.0	4.0-4.10
	MS-158-5-5.0	5.0-5.60
	MS-158-5-6.0	6.0-6.60
	MS-158-5-8.0	8.0-8.60
	MS-158-5-10.0	10.0-10.60
	MS-158-5-12.0	12.0-12.60
	MS-158-5-14.0	14.0-14.05
	MS-158-5-15.0	15.0-15.10

6	MS-158-6-1.0	1.0-1.60
	MS-158-6-2.0	2.0-2.45
	MS-158-6-3.0	3.0-3.35
	MS-158-6-4.0	4.0-4.15
	MS-158-6-5.0	5.0-5.10
7	MS-158-7-1.0	1.0-1.60
	MS-158-7-2.0	2.0-2.60
	MS-158-7-3.0	3.0-3.60
	MS-158-7-4.0	4.0-4.10
8	MS-158-8-2.0	2.0-2.60
	MS-158-8-3.0	3.0-3.60
	MS-158-8-4.0	4.0-4.60
	MS-158-8-5.0	5.0-5.60
	MS-158-8-6.0	6.0-6.60
	MS-158-8-8.0	8.0-8.60
	MS-158-8-10.0	10.0-10.60
	MS-158-8-12.0	12.0-12.30
<b>No. POZO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
9	MS-158-9-1.0	1.0-1.60
	MS-158-9-2.0	2.0-2.60
	MS-158-9-3.0	3.0-3.60
	MS-158-9-4.0	4.0-4.45
10	MS-158-10-1.0	1.0-1.60
	MS-158-10-2.0	2.0-2.60
	MS-158-10-3.0	3.0-3.15
	MS-158-10-4.5	4.50-4.55
11	MS-158-11-1.0	1.0-1.60
	MS-158-11-2.0	2.0-2.60
	MS-158-11-3.0	3.0-3.60
	MS-158-11-4.0	4.0-4.60
12	MS-158-12-0.30	0.30-0.90
	MS-158-12-1.20	1.20-1.80
	MS-158-12-2.10	2.10-2.70
	MS-158-12-3.0	3.0-3.15
	MS-158-12-4.4	4.40-4.50
	MS-158-12-5.0	5.0-5.10
	MS-158-12-5.5	5.50-5.55
	MS-158-12-6.0	6.0-6.10

A continuación en la tabla 5.4 se listan las muestras extraídas para análisis de laboratorio en el área de lonas.

**Tabla 5.4. Relación de muestras en el área de lonas.**

ZONA	IDENTIFICACIÓN	PROFUNDIDAD
	N	AD
1	MSL-158/2.5-3.0/1	N/A
	MSL-158/2.5-3.0/2	N/A
	MSL-158/2.5-3.0/3	N/A
	MSL-158/2.5-3.0/4	N/A
2	MSL-158/FUGA/1	N/A
	MSL-158/FUGA/2	N/A
	MSL-158/FUGA/3	N/A
3	MSL-158/AMP/1	N/A
	MSL-158/AMP/2	N/A
	MSL-158/AMP/3	N/A

Durante los trabajos de campo se toma un número de muestras mayor a lo programado con el fin de poder seleccionar en gabinete las más representativas de acuerdo al comportamiento de la pluma contaminante tanto en su forma como en la variación de concentraciones dentro de ella, por lo que con los resultados de la geofísica, se ubicaron las áreas con más probabilidades de presentar contaminación en las cuales, se ubican los pozos para muestreo a cuyas muestras se le realizarán análisis de hidrocarburos y en aquellas áreas donde hay menos posibilidades de encontrar contaminación lo que, de confirmarse durante la perforación, determina los parámetros a analizar. Así mismo, se toma en cuenta para seleccionar las muestras, la ubicación espacial con el fin de analizar aquellos cuya posición facilita la delimitación de la forma de la pluma. Las muestras que no se analizaron, son preservadas de acuerdo a normatividad en las instalaciones de Geología y Medio Ambiente con el fin de ser utilizadas en caso de que alguno de los resultados de las muestras analizadas cree controversia y para corroborar así el resultado obtenido o para realizar una corrida en otro laboratorio. Los muestreos seleccionados se muestran en la tabla 5.5.

**Tabla 5.5. Relación de muestras de suelo seleccionadas para análisis de laboratorio.**

<b>No. POZO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
1	MS-158-1-1.0	1.0-1.6
	MS-158-1-2.0	2.0-2.40
	MS-158-1-3.0	3.0-3.60
	MS-158-1-4.0	4.0-4.35
	MS-158-1-5.0	5.0-5.10
2	MS-158-2-2.0	2.0-2.60
	MS-158-2-3.0	3.0-3.60
	MS-158-2-4.0	4.0-4.60
	MS-158-2-5.0	5.0-5.60
	MS-158-2-6.0	6.0-6.60
3	MS-158-3-1.0	1.0-1.60
	MS-158-3-2.0	2.0-2.60
	MS-158-3-3.0	3.0-3.60
	MS-158-3-4.0	4.0-4.60
4	MS-158-4-4.0	4.0-4.60
	MS-158-4-5.0	5.0-5.60
	MS-158-4-6.0	6.0-6.60
<b>No. POZO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
4	MS-158-4-8.0	8.0-8.60
	MS-158-4-10.0	10.0-10.45
	MS-158-4-12.0	12.0-12.55
	MS-158-4-14.0	14.0-14.20
	MS-158-4-16	16.0-16.20
5	MS-158-5-2.0	2.0-2.60
	MS-158-5-5.0	5.0-5.60
	MS-158-5-6.0	6.0-6.60
	MS-158-5-8.0	8.0-8.60
	MS-158-5-10.0	10.0-10.60
	MS-158-5-12.0	12.0-12.60
	MS-158-5-14.0	14.0-14.05
MS-158-5-15.0	15.0-15.10	
6	MS-158-6-1.0	1.0-1.60
	MS-158-6-3.0	3.0-3.35
	MS-158-6-5.0	5.0-5.10
7	MS-158-7-1.0	1.0-1.60
	MS-158-7-2.0	2.0-2.60
	MS-158-7-3.0	3.0-3.60
	MS-158-7-4.0	4.0-4.10

8	MS-158-8-2.0	2.0-2.60
	MS-158-8-3.0	3.0-3.60
	MS-158-8-4.0	4.0-4.60
	MS-158-8-6.0	6.0-6.60
	MS-158-8-8.0	8.0-8.60
	MS-158-8-10.0	10.0-10.60
	MS-158-8-12.0	12.0-12.30
<b>No. POZO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
9	MS-158-9-1.0	1.0-1.60
	MS-158-9-2.0	2.0-2.60
	MS-158-9-3.0	3.0-3.60
	MS-158-9-4.0	4.0-4.45
10	MS-158-10-1.0	1.0-1.60
	MS-158-10-2.0	2.0-2.60
	MS-158-10-3.0	3.0-3.10
11	MS-158-11-1.0	1.0-1.60
	MS-158-11-2.0	2.0-2.60
	MS-158-11-3.0	3.0-3.60
	MS-158-11-4.0	4.0-4.60
12	MS-158-12-0.30	0.30-0.90
	MS-158-12-1.20	1.20-1.80
	MS-158-12-2.10	2.10-2.70
	MS-158-12-3.0	3.0-3.10

A continuación en la tabla 5.6, se listan las muestras de suelo extraídas para análisis de laboratorio en el área de lonas.

**Tabla 5.6. Relación de muestras de suelo en área de lonas.**

ZONA	IDENTIFICACION	PROFUNDIDAD
1	N MSL-158/2.5- 3.0/1	AD N/A
	MSL-158/2.5- 3.0/2	N/A
	MSL-158/2.5- 3.0/3	N/A
	MSL-158/2.5- 3.0/4	N/A

	MSL-158/FUGA/1	N/A
2	MSL-158/FUGA/2	N/A
	MSL-158/FUGA/3	N/A
3	MSL-158/AMP/1	N/A
	MSL-158/AMP/2	N/A
	MSL-158/AMP/3	N/A

En la tabla 5.7, se presenta un resumen de los resultados de laboratorio (ver originales en anexo de documentos junto con cadenas de custodia). Los valores que se presentan en esta tabla fueron comparados contra los límites establecidos por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente en sus Criterios Internos de Restauración de Suelos Contaminados con Hidrocarburos, los cuales marcan que para un suelo industrial el límite de HTP's es de 2000 ppm y para Benzopirenos es de 0.8 ppm. Los resultados que están por encima de dichos límites se encuentran marcados con "negritas".

El uso de suelo se consideró de tipo industrial porque el área que resulto afectada no rebasa los límites del derecho de vía del poliducto.

**Tabla 5.7. Resultados de laboratorio realizados a las muestras de suelo seleccionadas.**

No. POZO	IDENTIFICACIÓN	PROFUNDIDAD	TPH's (mg/Kg)	Benzopireno s (mg/Kg)	Poliarom áticos (mg/Kg)
1	MS-158-1-1.0	1.0	1.40	0.00	0.00
	MS-158-1-2.0	2.0	Físico-químicos*		
	MS-158-1-3.0	3.0	0.30	0.00	0.00
	MS-158-1-4.0	4.0	Físico-químicos*		
	MS-158-1-5.0	5.0	0.41	0.00	0.00
2	MS-158-2-2.0	2.0	1,504.00	0.00	0.00
	MS-158-2-3.0	3.0	<b>2,504.00</b>	0.00	0.00
	MS-158-2-4.0	4.0	353.0	0.00	0.00
	MS-158-2-5.0	5.0	154.30	0.00	0.00
	MS-158-2-6.0	6.0	1.53	0.00	0.00
	MS-158-2-8.0	8.0	0.72	0.00	0.00
3	MS-158-3-1.0	1.0	2.45	0.00	0.00
	MS-158-3-2.0	2.0	1.43	0.00	0.00
	MS-158-3-3.0	3.0	0.69	0.00	0.00
	MS-158-3-4.0	4.0	0.50	0.00	0.00

4	MS-158-4-4.0	4.0	1,565.00	0.00	0.00
	MS-158-4-5.0	5.0	3,207.00	0.00	0.00
	MS-158-4-6.0	6.0	3,036.00	0.00	0.00
	MS-158-4-8.0	8.0	1,998.00	0.00	0.00
	MS-158-4-10.0	10.0	1,772.00	0.00	0.00
	MS-158-4-12.0	12.0	2,804.00	0.00	0.00
	MS-158-4-14.0	14.0	1,536.00	0.00	0.00
	MS-158-4-16.0	16.0	1,570.76	0.00	0.00
5	MS-158-5-2.0	2.0	5.71	0.00	0.00
	MS-158-5-5.0	5.0	8.97	0.00	0.00
	MS-158-5-6.0	6.0	2.79	0.00	0.00
	MS-158-5-8.0	8.0	0.97	0.00	0.00
	MS-158-5-10.0	10.0	1.00	0.00	0.00
	MS-158-5-12.0	12.0	0.81	0.00	0.00
	MS-158-5-14.0	14.0	0.71	0.00	0.00
	MS-158-5-15.0	15.0	0.53	0.00	0.00
6	MS-158-6-1.0	1.0	136.00	0.00	0.00
	MS-158-6-3.0	3.0	117.60	0.075	0.00
	MS-158-6-5.0	5.0	111.00	0.00	0.00
7	MS-158-7-1.0	1.0	Físico-químicos*		
	MS-158-7-2.0	2.0			
	MS-158-7-3.0	3.0			
	MS-158-7-4.0	4.0			
8	MS-158-8-2.0	2.0	23.10	0.00	0.00
	MS-158-8-3.0	3.0	1,095.00	0.00	35.56
	MS-158-8-4.0	4.0	414.25	0.76	77.60
	MS-158-8-6.0	6.0	28.59	0.18	7.06
	MS-158-8-8.0	8.0	14.96	0.00	0.00
	MS-158-8-10.0	10.0	6.47	0.00	0.00
	MS-158-8-12.0	12.0	7.74	0.00	0.00
9	MS-158-9-1.0	1.0	9.74	0.00	0.00
	MS-158-9-2.0	2.0	10.58	0.00	0.00
	MS-158-9-3.0	3.0	1.29	0.00	0.00
	MS-158-9-4.0	4.0	1.49	0.00	0.00
10	MS-158-10-1.0	1.0	Físico-químicos*		
	MS-158-10-2.0	2.0			
	MS-158-10-3.0	3.0			
11	MS-158-11-1.0	1.0	3.85	0.00	0.00
	MS-158-11-2.0	2.0	1.55	0.00	0.00
	MS-158-11-3.0	3.0	1.02	0.00	0.00
	MS-158-11-4.0	4.0	0.79	0.00	0.00
12	MS-158-12-0.30	0.30	16.00	0.00	0.00
	MS-158-12-1.20	1.20	1.05	0.00	0.00
	MS-158-12-2.10	2.10	69.95	0.96	8.01
	MS-158-12-3.0	3.0	4.06	0.00	0.00

Nota: \*Ver resultados de laboratorio en anexo de documentos.

Al igual que con los resultados de las muestras obtenidas en los pozos, los de las muestras tomadas en las lonas también fueron comparados contra los límites establecidos por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente en sus Criterios Internos de Restauración de Suelos Contaminados con Hidrocarburos, considerando los límites para un suelo industrial (HTP's = 2000 ppm y Benzopirenos = 0.8 ppm). Los resultados que están por encima de dichos límites se encuentran marcados con "negritas" (tabla 5.8).

Aunque el sitio donde se encuentran las lonas ya no pertenece al derecho de vía, el uso de suelo se consideró de tipo industrial porque el área que resulto afectada y de la cual fue extraído el suelo si esta dentro del derecho de vía del poliducto y el suelo sobre el que se encuentran las lonas no esta siendo afectado. Sin embargo, es importante aclarar que el suelo una vez tratado deberá ser reincorporado al derecho de vía ya que de no ser así se deberá tratar considerando los límites que apliquen para el tipo de uso de suelo del lugar donde se depositará.

**Tabla 5.8. Resultados de laboratorio en muestras de suelo del área de lonas.**

ZONA	IDENTIFICACIÓN	PROFUNDIDAD	TPH's (mg/Kg)	BENZOPIR ENOS (mg/Kg)	POLIAROMÁTI COS (mg/Kg)
1	MSL-158/2.5-3.0/1	N/A	<b>29,795.00</b>	<b>2.17</b>	93.93
	MSL-158/2.5-3.0/2	N/A	<b>26,277.00</b>	<b>7.20</b>	80.17
	MSL-158/2.5-3.0/3	N/A	<b>30,846.00</b>	<b>2.96</b>	106.00
	MSL-158/2.5-3.0/4	N/A	<b>42,157.00</b>	<b>8.10</b>	79.65
2	MSL-158/FUGA/1	N/A	<b>38,785.25</b>	<b>8.80</b>	100.24
	MSL-158/FUGA/2	N/A	<b>52,901.00</b>	<b>13.50</b>	121.87
	MSL-158/FUGA/3	N/A	<b>44,973.80</b>	<b>4.30</b>	72.28
3	MSL-158/AMP/1	N/A	<b>11,795.00</b>	<b>10.76</b>	121.44
	MSL-158/AMP/2	N/A	<b>7,006.00</b>	<b>1.79</b>	16.14
	MSL-158/AMP/3	N/A	1,622.00	0.00	0.00

Los resultados de los análisis fisicoquímicos aportaron datos importantes para comprender la forma en que el contaminante puede comportarse en el subsuelo.

Los resultados de las muestras que se seleccionaron para practicarles análisis físico-químicos fueron de utilidad para conocer las permeabilidades y tamaño de grano de los materiales presentes en el subsuelo, así como otras propiedades que fueron de gran utilidad para determinar el comportamiento del contaminante y así determinar hasta donde se había extendido la pluma. Asimismo, éstos resultados ayudaron a seleccionar las muestras que se utilizarían para realizar las pruebas de tratabilidad.

En la tabla 5.9 se describen los resultados obtenidos en las muestras de suelo, para los parámetros fisicoquímicos.

**Tabla 5.9. Resultados de laboratorio para los análisis fisicoquímicos.**

PARAMETRO	PERFIL (profundidad en m)				
	MS-158-1-1.0	MS-158-1-2.0	MS-158-1-3.0	MS-158-1-4.0	MS-158-1-5.0
Fracción mineral (%)	93.21	93.59	93.56	93.76	94.80
Humedad (%)	5.90	5.40	5.52	5.26	4.23
Materia orgánica (%)	0.89	1.01	0.92	0.98	0.97
Índice de textura (%)	32.25	35.20	30.40	34.96	32.66
Estructura	Limo	Limo	Limo	Limo	Limo
Permeabilidad(cm/h)	13.10	7.60	9.60	5.90	7.40
Porosidad (%)	61.27	56.10	67.80	62.40	56.30
Saturación (%)	35.59	38.80	39.85	43.72	44.91
PH	8.05	8.47	8.16	8.30	7.92
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.81	2.80	2.33	2.49	2.89
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.75	1.60	1.56	1.58	1.64
Capacidad de intercambio iónico (meq/100g)	190.71	192.87	208.96	197.47	209.76
Sodio (meq/100g)	0.23	0.48	0.81	0.93	0.77
Calcio (meq/100g)	124.50	128.00	134.50	124.50	134.50
Magnesio (meq/100g)	3.30	4.51	4.07	4.69	4.04
Potasio (meq/100g)	0.16	0.18	0.19	0.17	0.25
Cloruros (meq/100g)	2.16	0.62	1.00	1.08	0.93
Sulfatos (meq/100g)	0.89	0.95	0.85	2.60	3.08

Carbonatos (meq/100g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos (meq/100g)	59.47	58.13	67.54	63.50	66.19
Capacidad de intercambio aniónico (meq/100g)	62.52	59.70	69.39	67.18	70.20
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	128.16	133.17	139.57	130.29	139.56
Velocidad de absorción (mL/h)	20.00	68.00	16.00	60.00	24.00
Potencial redox	18.60	21.94	21.32	21.60	20.84
Coliformes totales (NMP/100mL)	<2	<2	<2	<2	<2
Coliformes fecales (NMP/100mL)	<2	<2	<2	<2	<2
PARAMETRO	PERFIL (profundidad en m)				
	MS-158-7-1.0	MS-158-7-2.0	MS-158-7-3.0	MS-158-7-4.0	
Fración mineral (%)	97.01	97.87	97.62	97.61	
Humedad (%)	2.10	1.36	1.61	1.63	
Materia orgánica (%)	0.89	0.77	0.77	0.76	
Índice de textura (%)	29.0	17.36	21.60	23.39	
Estructura	Franco	Arena	Franco	Franco	
Permeabilidad (cm/h)	7.00	4.55	7.97	10.70	
Porosidad (%)	55.20	69.40	59.60	66.00	
Saturación (%)	88.40	41.30	91.00	93.80	
PH	8.59	8.80	8.86	8.95	
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.55	2.62	2.62	3.11	
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.61	1.81	1.79	1.80	
Capacidad de intercambio iónico (meq/100g)	207.80	201.38	214.61	215.02	
Sodio (meq/100g)	0.12	0.10	0.09	0.10	
Calcio (meq/100g)	138.00	136.50	146.00	146.25	

Magnesio (meq/100g)	2.08	2.23	3.13	2.37
Potasio (meq/100g)	0.05	0.06	0.07	0.11
Cloruros (meq/100g)	0.98	0.58	0.75	0.92
Sulfatos (meq/100g)	0.03	0.08	0.05	0.08
Carbonatos (meq/100g)	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos (meq/100g)	66.54	61.83	64.52	65.19
Capacidad de intercambio aniónico (meq/100g)	67.55	62.49	65.32	66.19
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	140.25	138.89	149.29	148.83
Velocidad de absorción (mL/h)	80.00	300.00	60.00	12.00
Potencial redox	22.18	22.60	22.72	22.90
Coliformes totales (NMP/100mL)	<2	<2	<2	<2
Coliformes fecales (NMP/100mL)	<2	<2	<2	<2

PARAMETRO	PERFIL (profundidad en m)		
	MS-158-10-1.0	MS-158-10-2.0	MS-158-10-3.0
Fracción mineral (%)	97.59	97.91	97.70
Humedad (%)	1.63	1.26	1.56
Materia orgánica (%)	0.78	0.80	0.74
Índice de textura (%)	32.60	34.00	26.80
Estructura	Limo	Limo	Franco
Permeabilidad (cm/h)	8.07	7.00	7.70
Porosidad (%)	64.00	60.00	58.40
Saturación (%)	89.60	91.60	90.40
pH	8.99	9.12	9.05
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	3.46	2.48	2.91
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.71	1.72	1.80

Capacidad de intercambio iónico (meq/100g)	196.29	197.06	212.36
Sodio (meq/100g)	0.07	0.08	0.08
Calcio (meq/100g)	144.50	139.50	138.00
Magnesio (meq/100g)	1.90	2.50	2.25
Potasio (meq/100g)	0.07	0.07	0.08
Cloruros (meq/100g)	0.93	1.09	0.98
Sulfatos (meq/100g)	0.02	0.05	0.07
Carbonatos (meq/100g)	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos (meq/100g)	48.80	53.77	70.90
Capacidad de intercambio aniónico (meq/100g)	49.75	54.91	71.95
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	146.54	142.15	140.41
Velocidad de absorción (mL/h)	18.00	18.00	60.00
Potencial redox	23.24	22.90	23.30
Coliformes totales (NMP/100mL)	<2	<2	<2
Coliformes fecales (NMP/100mL)	<2	<2	<2

## XII.1.5.- EVALUACIONES.

- **Comportamiento del contaminante (Modelo conceptual).**

En la zona aledaña y/o area afectada en el poliducto de 10" Ø, se detectaron 4 horizontes principales que se definen de la siguiente forma:

El horizonte A, es un paquete de material limo arcilloso el cual, está identificado por color amarillo, este horizonte presenta lentes de arena, gravas y en algunos casos de gravillas. Este horizonte tiene un espesor aproximado de 3.0 m como en el caso del tendido T-1 y con un espesor de 6 m como en el caso del tendido T-4, Este primer horizonte presenta valores resistivos de 55-67  $\Omega/m$ , y se asocia a una materia con una humedad natural muy baja por lo cual los valores resistivos son tan altos para un material de esas características.

El Horizonte B, es un paquete grueso de arcillas con limos y pequeños lentes de arena, grava y en algunos casos de gravillas. Este paquete se ha subdividido en tres horizontes que de acuerdo a su resistividad tienen las siguientes características:

Subyaciendo al horizonte A (identificado por los tonos amarillos) hay un horizonte cuya base está identificada hasta los 12 m (de tono verde claro) con valores resistivos de 23-35  $\Omega/m$ , la base de este horizonte en el tendido T-5, se presenta hasta los 8.5 m en el tendido T-4, y a los 9.0 m en el tendido T-1. Para el caso del tendido T-6 su base se encuentra a los 12 m. Este paquete de arcilla verdosa se caracteriza por la presencia de humedad natural que para el caso del pozo P2 representó un problema al extraer la muestra debido a que este horizonte presentaba, en el lugar, un contenido de humedad por arriba de lo observado hasta ese momento, durante las perforaciones, lo cual se evidenció en los sondeos exploratorios, que sirvieron para obtener muestras a diferentes profundidades, la extracción de muestras con el uso del penetrómetro estándar fue relativamente fácil por características del suelo.

El horizonte C (tono verde medio), es una arcilla compacta con lentes de arenas y gravas y tiene su base a una profundidad aproximada de 30 m en el caso del tendido T-5 y de 25 m aproximadamente para el caso del tendido T-1. Este horizonte, se caracteriza por la disminución de la humedad natural lo que provoca a su vez, que la compactación del suelo sea mayor que la de los casos anteriores, esto se refleja directamente en la toma de muestra ya que se hace más difícil tomar muestras, por lo que se tuvo que cambiar del penetrómetro estándar al California de 3"Ø para obtener la cantidad suficiente de suelo requerida para los análisis de laboratorio.

El cuarto horizonte definido como D, (tono verde oscuro) es una arcilla limosa muy compacta con lentes de grava y gravilla. La base de este horizonte no se define debido a que se interpreta por debajo de la profundidad máxima del estudio (42.5 m).

La interpretación del Tendido T-1 visto desde el norte nos muestra la secuencia de suelos, antes descrita, para la cual, no se detectó anomalía de ningún tipo. Esto se corroboró con el sondeo exploratorio P1, en donde se obtuvieron muestras que no dieron resultados importantes en cuanto a contaminación por diesel, los resultados obtenidos por el laboratorio muestran sólo 1.40 ppm de HTP's, de la ubicación de este tendido.

Los horizontes afectados, en el tendido T-2, por la fuga del poliducto son en orden de profundidad de menor a mayor los identificados como A, B y C, siendo el horizonte A, el que sirve de soporte para el poliducto, que derramó su contenido en el horizonte limo arcilloso, por lo que la contaminación no migró en forma horizontal (por su granulometría) y si en forma vertical principalmente, siendo para el caso del tendido T-2 entre los electrodos T-6 y T-9, cuya profundidad se detectó desde 1.0 m hasta los 6.5 m. Esta información se corroboró por medio del sondeo exploratorio P2, en donde se detectó que la presencia del contaminante se presentaba a partir de los 2 m aproximadamente, donde se podría esperar que estuviera "sano" debido a que el suelo, en esa área, se había reemplazado por material limpio, sin embargo, este contaminante ha ascendido por capilaridad.

Para el caso del tendido T-3, la interpretación de los datos de campo así como de los perfiles de isorresistividad, delimitaron una zona afectada entre los electrodos 4 y 7, siendo corroborado por el sondeo exploratorio P4 definiéndose de esta forma la pluma para este tendido con una profundidad de 20 m. Es importante mencionar que a esta profundidad la pluma ha llegado a los niveles de la arcilla compacta. De igual forma se interpretó que la pluma no iniciaba a partir del terreno natural a los 3 m aproximadamente, lo cual se esperaría ya que el suelo natural ha sido sustituido por material nuevo y limpio de hidrocarburos, pero debido a que el suelo nuevo no tiene la cohesión del suelo natural, este migra hacia esas zonas ayudado también por la precipitación pluvial. De esta forma, es posible detectar contaminación en zonas donde se supone no debería de haber, como es la zona de relleno con material limpio, esto fue ratificado por el muestreo del pozo P2 muestra a 2.0 m.

En el tendido T-4 se presentó la misma estratigrafía, antes descrita; un horizonte limo arcilloso con un espesor variable de 6 m aproximadamente en el área del electrodo 1 y un espesor de 3 m por debajo del electrodo 6. Nuevamente tenemos la presencia del relleno que se encuentra por debajo de los electrodos 4, 5 y 6. En este tendido nuevamente se observó que la contaminación provocada por la toma clandestina no se limitaba a la zona del

relleno, ya que la contaminación en esta parte migró horizontalmente hacia la zona del electrodo 7, siendo esta migración muy corta pero suficiente para que a 1 m se tuvieran evidencias de contaminación, esta migración fue lateral de forma superficial ya que, la contaminación migró en forma vertical bajo los electrodos 5 y 6. Esto fue corroborado por los sondeos P3 y P5, la profundidad fue 4.60 m y 15 m respectivamente; a lo largo del mismo tendido (se realizaron dos sondeos más con el objeto de demostrar que la contaminación se había desplazado en forma vertical en la zona de los electrodos 4 y 6), los sondeos que sirvieron para observar este comportamiento fueron los sondeos P7 y P10.

El tendido T-5, muestra la misma estratigrafía antes descrita, un primer horizonte limo arcilloso suprayaciendo a un horizonte arcillo limoso poco consolidado con lentes de arena y gravas, este a la vez suprayace a un tercer horizonte de arcilla limosa color verde al igual que la anterior con lentes de arena y gravas finas. Subyaciendo a este último horizonte, se detecta un cuarto horizonte (tono verde oscuro) de arcilla limosa muy compacta. En este tendido, no se detectaron anomalías asociadas al producto de la fuga y debido a que la contaminación, se restringe, en cuanto a extensión horizontal se refiere, a la zona del relleno artificial. Lo cual lo confirman los pozos 1, 3, 7, 9 y 11 que se encuentran alrededor del mismo y cuyos valores de concentración no alcanzan, en ninguna de las muestras que se tomaron en ellos las 5 ppm. Ver tablas de resultados de laboratorio en el capítulo 5.

El tendido T6, con una longitud lineal de 15 m y una profundidad de investigación de 25 m se realizó con el fin de demostrar que la contaminación de los montículos de suelo sobre las lonas no hubiera migrado fuera de las mismas por gravedad o por el efecto de lavado debido principalmente a las lluvias, ya que, los resultados en los perfiles de isorresistividad indicaban una anomalía que podía estar asociada a contaminación. Los resultados de laboratorio finalmente demuestran que en efecto este escurrimiento se ha dado al paso del tiempo sin que haya un control ya que las lonas, si bien, cubren una amplia zona, en el perímetro de las mismas ha habido escurrimientos de diesel fuera de sus límites, ocasionando con esto que el diesel se vaya acumulando en las zonas topográficamente bajas en concentraciones que para el pozo 12, a la profundidad de 0.30 m son de 89.54 ppm de HTP's y de 69.95 ppm de HTP's a la profundidad de 2.10 m. El pozo 9 a 12 donde se puede observar las muestras extraídas para el pozo P12 a las profundidades de 0.30m, 1.20 m y 2.10 m de profundidad respectivamente.

La forma en que se ha comportado el contaminante (diesel) en el tiempo después de incorporarse al sistema natural que se evalúa se puede describir de la siguiente manera:

A partir del punto donde se generó la fuga, el diesel primero ha contaminado el suelo de la zanja hecha especialmente para instalar el poliducto (a una

profundidad aproximada de 1.50 m) debido principalmente a que en ésta área, al ser instalado el poliducto, el suelo no se compacta, por lo que las condiciones del terreno natural, en cuanto a granulometría, porosidad y la conductividad hidráulica serán diferentes y por consiguiente este nuevo medio es el que presenta más facilidades para la migración del contaminante. Por lo que la pluma en este caso seguirá dos direcciones preferenciales: la horizontal, del punto de fuga hacia ambas direcciones del ducto siguiendo el material de mayor permeabilidad constituido por el relleno de la zanja del ducto y la vertical descendente, la cual se da siguiendo la ley de gravedad y las características estratigráficas del terreno, que aunque tiene variaciones en cuanto a granulometría, para fines de migración de fluidos se puede decir que se comporta de manera homogénea. De tal manera el área contaminada presenta una forma alargada paralela al lomo del ducto y descendiendo hasta la profundidad de 20 m en el área cercana al punto de fuga. Las mayores concentraciones también se dan en esta parte, lo cual es lógico si se considera que el combustible primero tiende a saturar el suelo por el que atraviesa para después migrar.

Determinar el comportamiento de una pluma contaminante que ha entrado en contacto con el nivel freático es relativamente fácil porque esta seguirá la dirección del flujo subterráneo, predominará el desplazamiento horizontal sobre el vertical, además de que existen numerosos paquetes computacionales que realizan estas simulaciones, sin embargo, para el caso de la zona vadosa, debido a lo errático de su comportamiento es difícil realizar simulaciones, sin embargo, debido a que el movimiento dominante será el vertical descendente y el desplazamiento horizontal no tiene componentes importantes en (relación con el vertical), existen paquetes que simplifican tal comportamiento y dan buenos resultados para fines práctico. En este caso se empleo un paquete denominado SWIM (Soil - Water Infiltration & Movement), el cual es un programa de simulación que permite la simulación interactiva de entrada de datos, los valores y unidades pueden ser alterados al ocurrir errores de edición. Los parámetros que pueden ser alterados incluye aquellos que describen tiempos de simulación, características de vegetación, conductancia de la superficie de suelo, almacenaje superficial, escurrimiento, propiedades hidráulicas, precipitación y evapotranspiración potencial. Esta ecuación utiliza la ecuación de Richards. Se puede revisar una simulación de infiltración, en este programa se puede incluir la macroporosidad si el agua en los poros puede moverse más rápidamente a otros poros. Este programa realiza simulaciones en condiciones no saturadas, saturadas y de inundación; calcula el escurrimiento y el drenaje

El paquete fue alimentado con los datos como los espesores de los diferentes estratos, mismos que se obtuvieron durante la perforación de los pozos, los valores de permeabilidad y porosidad obtenidos en los análisis fisicoquímicos y

las características del fluido en cuestión, así como el tiempo transcurrido desde el momento de la fuga a la fecha.

Como la variación de los espesores de cada una de las capas encontradas en el subsuelo no es significativa y esperando tener, en los resultados de la simulación, una mayor precisión en la zona cercana al punto de la fuga debido a que es donde la pluma alcanza su profundidad mayor (20 m) se proporcionó la estratigrafía de esta área la cual es la siguiente:

**Tabla 6.1. Estratigrafía.**

<b>PROFUNDIDAD A LA QUE INICIA LA CAPA (m)</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>ESPESOR (m)</b>
0.0	Limo arenoso, café claro	4.4
4.4	Arcilla limosa, gris verdosa Arcilla limosa, gris verdosa con vetas de arcilla limosa café	5.6
10.0	Gravillas en limo gris verdoso con vetas de limo café	1.5
11.5	Arcilla limosa gris verdosa con vetas de arcilla café	32

Al alimentar al paquete con esta información con el tiempo transcurrido (222 días) y con las permeabilidades obtenidas en gabinete los resultados fueron los siguientes:

#### **DATOS**

Tiempo transcurrido: 222 días

Profundidad estimada de la pluma: 20 m

Materiales:

- 1.- Limo sin consolidar
- 2.- Arcilla Limosa sin consolidar
- 3.- Gravas con matriz de limo
- 4.- Arcilla limosa parcialmente consolidada

#### **RESULTADOS**

##### **CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA**

1.- 0.0001851852 cm/seg

2.- 0.0001134259 cm/seg

3.- 0.0013888889 cm/seg

4.- 0.0004401042 cm/seg

**TIEMPO EN DIAS POR ESTRATO**

1.-27.8

2.-57

3.-1.25

4.-135

**TIEMPO TOTAL**

221.05

**PROFUNDIDAD TOTAL DE INFILTRACION:**

20.0

**PERMEABILIDAD PROMEDIO:**

0.0001042 cm/seg

Finalmente, dada la existencia de una fuga por toma clandestina, el contaminante tiene un contacto directo con el suelo natural de manera inmediata. Posteriormente, migraría al subsuelo somero del área del poliducto alojándose entre los 1.20 y 3.50 metros de profundidad; en un material limo-arcilloso, por lo que a esta profundidad el contaminante tendrá una dirección de flujo horizontal hacia el noroeste dado que la compactación del suelo para la instalación del ducto no es igual a la del terreno natural sirviendo como transporte por las características antes mencionadas. Posteriormente, una vez saturado este horizonte, la migración de la pluma contaminante será en forma vertical y lentamente, como ya se describió anteriormente en este mismo capítulo. Esta migración dadas las características del suelo mitigará esta migración vertical, acumulándose en este estrato arcilloso.

Se obtuvo una pluma de contaminación para concentraciones mayores de 1,000 ppm de HTP's, en donde se puede ver que el área amarilla de la pluma, representa concentraciones de HTP's de 1,000 a 2,000 ppm, el tono rojizo representa concentraciones mayores a 2,000 ppm, los dos cuerpos con tonos rojizos, localizados a profundidades que van desde los 4.5 m hasta 7.5 m y de 11.0 m a 13.0 m respectivamente representa el volumen de suelo que rebasa los niveles de concentración establecidos en los criterios internos de PROFEPA. En las figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 se puede observar una secuencia de secciones en planta a diferentes profundidades, del volumen de suelo que presenta concentraciones mayores a 1,000 ppm, ver resultados de laboratorio (anexo documentos y tabla 5.7 Resultados de laboratorio realizado a las muestras de suelo seleccionadas, Capítulo 5 Desarrollo de los trabajos). En estas secciones en planta, se aprecia el tono rojizo a la profundidad de 5.0 m que es el suelo con concentraciones mayores a 2,000 ppm, de igual forma se aprecia en tonos amarillos los límites del área para suelo con concentraciones de 1,000 a 2,000 ppm y para concentraciones menores de 1,000 ppm en tonos de amarillo más claro. En la sección en planta a la profundidad de 6.0 m se

aprecia que esta pluma (tonos rojizos) disminuye su área desapareciendo a la profundidad de 9.0 m para presentarse nuevamente a la profundidad de 12.0 m para desaparecer finalmente a los 16.0 metros.

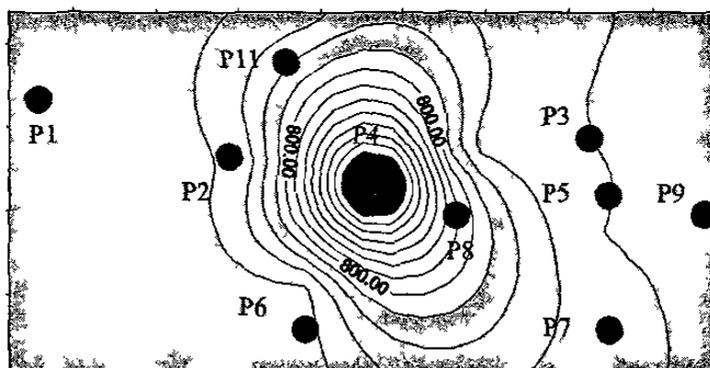


Figura 6.1. Sección en planta a 5 m de profundidad

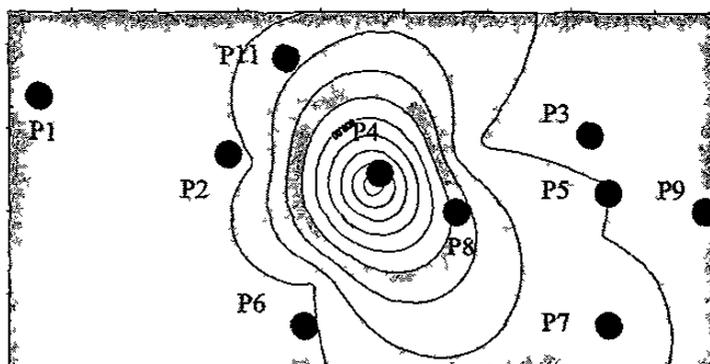


Figura 6.2. Sección en planta a 6 m de profundidad

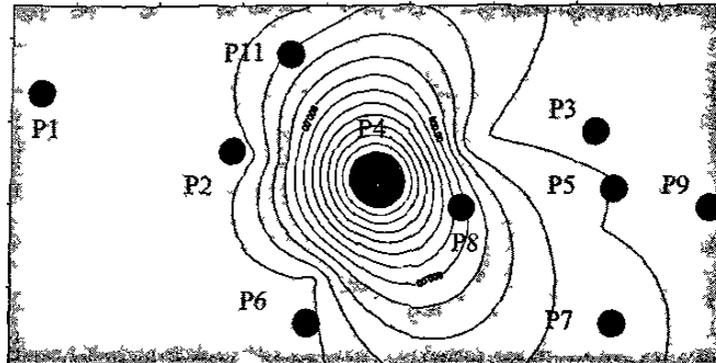


Figura 6.3. Sección en planta a 9 m de profundidad

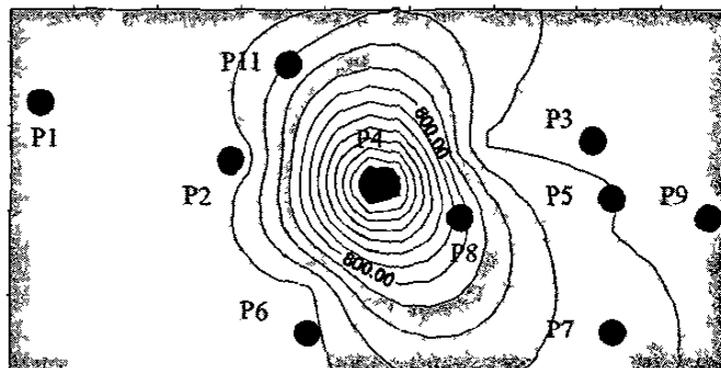


Figura 6.4. Sección en planta a 12 m de profundidad.

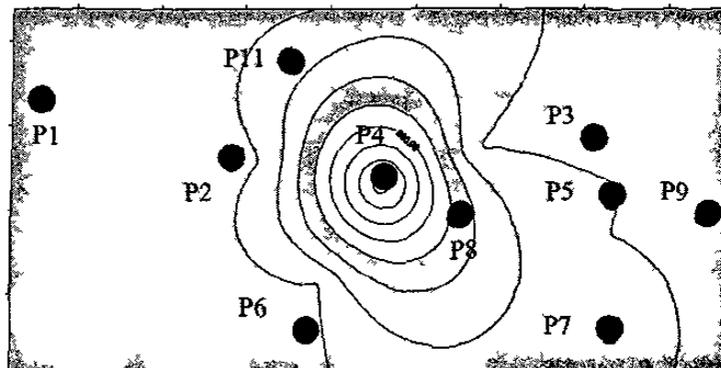


Figura 6.5. Sección en planta a 16 m de profundidad

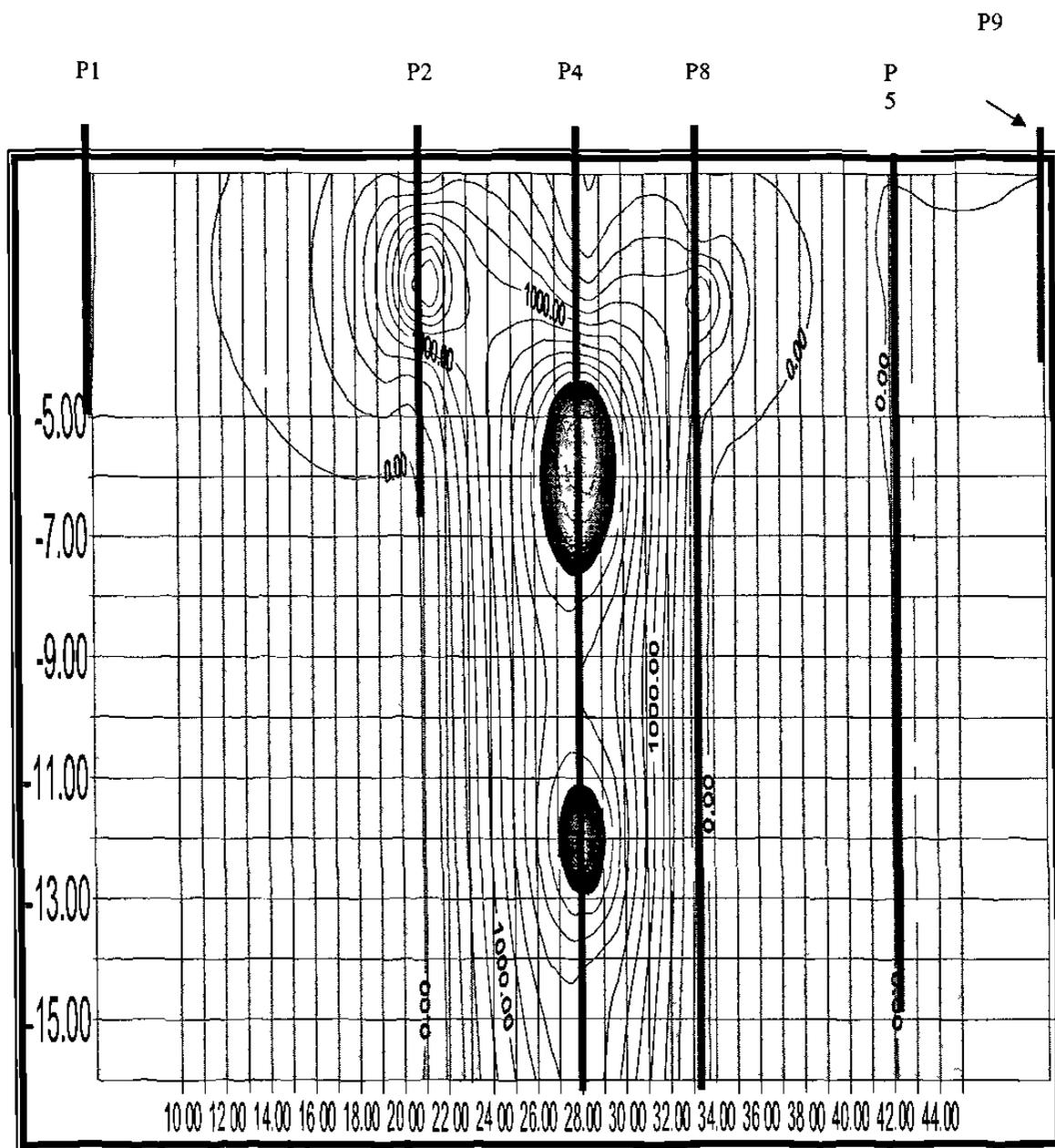


Figura 6.6. Sección vertical pozos P1-P2-P4-P8-P5-P9.



topográfica fue la rejilla de datos de partida de referencia y a la que se le sobrepuso las rejillas de los residuos (superior) y de la pluma contaminante (inferior).

Para la obtención del volumen son tres métodos los utilizados por el paquete: Trapezoidal, Simpson y Simpson 3/8. La diferencia en los cálculos de volumen por los tres métodos diferentes también da una medida cualitativa de la exactitud de los cálculos de volumen. Si los tres cálculos de volumen son razonablemente cercanos, el volumen real está cerca de estos valores. El volumen neto, que fue el volumen utilizado para estos cálculos, puede obtenerse como el promedio de los tres valores.

El error relativo para los resultados de volumen puede ser estimado al comparar los resultados de los tres métodos. Entonces el error relativo puede darse como un porcentaje del volumen promedio. El error relativo puede estimarse usando la fórmula siguiente:

$LA\ REF = (LR - SR) * 100 / AVER.$  donde

LA REF es el error relativo

LR es el resultado más grande desde los tres métodos

SR es el resultado más pequeño desde los tres métodos

AVER es el promedio de los tres métodos

Los tres métodos que utiliza el programa son métodos de aproximación de integrales definidas, los cuales se basan en el reemplazo de la integral por una suma finita.

#### **Volumen de suelo y subsuelo contaminado.**

El volumen de suelo contaminado se encuentra en el subsuelo en concentraciones mayores de 2,000 ppm de HTP's para diesel, que excede los criterios de la PROFEPA es de 42 m<sup>3</sup> con más de 2000 ppm de HTP's encontrándose a una profundidad de hasta 12 m. Además, el volumen de suelo que se encuentra sobre las lonas ubicadas a 15 metros al norte del sitio donde ocurrió la fuga es de 675 m<sup>3</sup>, el cual excede los criterios internos establecidos por la PROFEPA para este tipo de suelos.

#### **Volumen de aguas freáticas contaminadas.**

De acuerdo a los alcances planteados, y a los resultados tanto de geofísica como de los sondeos exploratorios, no se identificó el nivel de agua subterránea, por lo que, no existe contaminación del mismo. De acuerdo con estos resultados, se concluye que no existe contaminación en este elemento ambiental, debido al derrame ocurrido en el poliducto de 10" Ø.

## **XII.1.6.- IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.**

El poliducto de 10" Ø transporta principalmente gasolina y diesel, los cuales se presentan como hidrocarburos comprendidos en el rango de los destilados ligeros y aceites ligeros, los que son utilizados principalmente como combustibles. La presencia de contaminación se atribuye de manera predominante a los hidrocarburos derramados en suelo natural.

En particular se ha establecido un derrame de diesel, el cual se caracteriza por ser una mezcla de hidrocarburos individuales que presenta propiedades que se derivan de los componentes que los constituyen. El diesel tiene una densidad de 0.83 g/ml, considerado como un destilado medio con cadenas de hidrocarburos entre 8 y 21 carbonos, con temperaturas de ebullición comprendidas en el rango de 200 a 325 °C y de acuerdo con las clases de compuestos que lo componen son principalmente n-alcenos y cantidades regulares de cicloalcanos, monoaromáticos, naftalenos y policíclicos aromáticos. Para esta mezcla, sin embargo no existen valores fijos ya que la composición porcentual de cada uno de los componentes individuales no es siempre constante, pues depende de varios factores, entre otros, la composición de los gases y condensados provenientes de los campos de producción que alimentan a las refinerías es fluctuante y a su vez depende de la hora en que llega, de la mezcla porcentual de los diferentes pozos productores, del tiempo de almacenamiento de las materias primas y de los procesos previos de eliminación de impurezas indeseables.

### **7.1 Riesgos potenciales a la salud y al ecosistema.**

Para que exista un riesgo, es necesario que un ser vivo este expuesto a una sustancia y que esta exposición represente un peligro para su salud. Se necesitan tanto el peligro como la exposición, si alguno de ellos es igual a cero, entonces no hay riesgo.

El peligro es una medida de la toxicidad inherente de la sustancia, que para el caso del diesel la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A. (EPA), ha establecido su toxicidad a través de las enfermedades que puede presentar una población de individuos expuestos. En el caso del diesel y otros aceites combustibles se ha establecido que las afectaciones pueden ocurrir a nivel del sistema nervioso, lo cual se ha realizado con animales de laboratorio, pues en el caso de humanos solo se hace una inferencia, ya que no existen evidencias de casos científicamente comprobados (Grupo de trabajo sobre TPH's de los EU, 1997).

Para que un tóxico ambiental cause 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 tratan de impedirle que llegue al tejido blanco en forma activa. Para el sitio de estudio, se ha encontrado que la población más cercana, Loma Bonita, se encuentra aproximadamente a 1 km de distancia del sitio donde ocurrió el derrame de diesel, y en dirección hacia el este, por otra parte, los vientos dominantes están en la dirección noreste con valores máximos promedio de 20 m/s y un máximo absoluto de 40 m/s en la dirección noroeste. Esta característica del lugar, aunado a la pobre evaporación de los contaminantes en suelos de baja permeabilidad (Walden & McWhorter, 1995) como los encontrados en el sitio de estudio (materiales limo-arcillosos, con muy baja permeabilidad), determinan una exposición baja a los vapores emitidos por este tipo de materiales a nivel superficial.

Por otra parte, la ingestión de plantas o animales en la zona de estudio es baja, debido a la escasa presencia de animales y de plantas en los sitios donde se encuentra el derrame), sobre el material encontrado en las lonas no hay crecimiento de plantas.

Los hidrocarburos líquidos como el diesel y parte de sus componentes, los hidrocarburos policíclicos aromáticos pueden ser absorbidos y bioacumulados en el organismo, los efectos pueden manifestarse después de transcurrida una exposición prolongada o aguda a ellos, criterios de afectación a la salud que no se cumplen por las características aisladas del sitio evaluado como se ha descrito párrafos arriba.

Los factores que determinan que no hay afectación a la salud de la población por la contaminación que se encuentra en el subsuelo son la dispersión de contaminantes por el viento, la baja concentración de contaminantes a nivel somero, la pobre liberación de contaminantes por evaporación, la carencia de actividades agrícolas y la lejanía de la población.

## **7.2. Daños a la flora y fauna.**

La flora y fauna identificada en el área de estudio, es característica de zonas áridas, y en particular en el área del proyecto es muy escasa, encontrándose algunas herbáceas y arbustos, muy aisladas, a razón de 2 individuos por 10 m<sup>2</sup>. Sin embargo, como se ha mencionado no hay crecimiento abundante de plantas en los sitios donde ocurrió el derrame, ni sobre el material que se encuentra en las lonas.

Debido a esta característica de densidad y cobertura del sitio, no se identifica un impacto significativo, dado que puntualmente en las zonas impregnadas con hidrocarburo no se encontraron individuos vegetales presentes y en los

alrededores las escasas especies existentes son arbustivas y rastreras que no tienen un estatus de protección especial.

Durante los trabajos en campo no fue posible observar fauna silvestre en el sitio de trabajo, además, la presencia de actividades desarrolladas en la zona ahuyentan a la fauna. Por otra parte, y por las entrevistas realizadas a los pobladores, la presencia de animales es muy escasa, por lo que la afectación que sufren es primordialmente el desplazamiento temporal de sus zonas de actividad, y por otra parte, no se identificaron madrigueras o sitios permanentes de habitat, para esos organismos.

### **7.3 Afectaciones socioeconómicas.**

De acuerdo con la ubicación de los asentamientos humanos cercanos al área de estudio, no se identificó afectación a la población por el suelo contaminado por hidrocarburos, ya que la población de la Ranchería Loma Bonita se localiza a un kilómetro aproximadamente y la contaminación se restringe a 50 metros alrededor del sitio donde ocurrió la fuga de diesel; ver plano 5 de topografía. Asimismo, el área afectada y la de los alrededores no tiene uso comercial, agrícola o habitacional; como se ha mencionado no hay exposición actual de los contaminantes sobre la población, ni sobre sus bienes, tanto materiales como de uso, por lo que no hay afectaciones socioeconómicas.

### **XII.1.7.- PLAN DE RESTAURACIÓN DEL SITIO.**

La tecnología de remediación de suelos que se aplicarán en el sitio contaminado se seleccionaron a partir de las que se sugieren en el documento "Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide" preparado por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, a través de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), DOD Environmental Technology Transfer Committee, 1994. De este se ha hecho una revisión de todas las alternativas propuestas acordes con el tipo de contaminante presente en el sitio.

Las diferentes técnicas de tratamiento que principalmente se utilizan (separadamente o en conjunto) para la remediación de sitios contaminados, se agrupan de la siguiente manera:

- a) Destrucción o alteración de contaminantes.
- b) Extracción o separación de contaminantes del medio ambiente.
- c) Inmovilización de contaminantes.

Las tecnologías de tratamiento capaces de destruir los contaminantes por alteración de su estructura química son tratamientos térmicos, biológicos y químicos. Estas tecnologías de destrucción pueden aplicarse in situ o ex situ.

Las tecnologías de tratamiento comúnmente utilizadas para la extracción y separación de contaminantes son térmicas, o bien por lavado de suelo, extracción por solventes y extracción de vapor del suelo.

Las tecnologías de inmovilización incluyen estabilización, solidificación y tecnologías de contención.

De acuerdo con el documento de la EPA, antes mencionado, las tecnologías de remediación potencialmente aplicables para combustibles son las que se presentan en la tabla 8.1.

**TABLA 8.1 TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA COMBUSTIBLES.**

TECNOLOGIA	ESCALA DE DESARROLLO	USO	APLICABILIDAD	FUNCION
<b>Tratamientos biológicos in situ</b>				
Biodegradación	Completa	Amplia	Buena	Destrucción
Bioventeo	Completa	Amplia	Buena	Destrucción
<b>Tratamientos fisico-químicos in situ</b>				
Extracción de vapores en suelo	Completa	Amplia	Buena	Extracción
Irrigación de suelos	Escala piloto	Limitada	Regular	Extracción
<b>Tratamientos térmicos in situ</b>				
Extracción de vapores reforzado térmicamente	Escala Piloto	Limitada	Buena	Extracción
Vitrificación	Escala Piloto	Limitada	Baja a regular	Inmovilizar/ destruir
<b>Tratamientos biológicos ex situ, (incluye excavación)</b>				
Composteo	Completa	Amplia	Buena	Destrucción
Tratamiento biológico en fase sólida controlado	Completa	Amplia	Buena	Destrucción
<b>Tratamientos fisicoquímicos ex situ, (incluye excavación)</b>				
Oxidación / reducción Químico	Completa	Limitada	Bajo a Regular	Destrucción.
Lavado de Suelo	Completa	Limitada	Buena	Extracción

		o		
Extracción de vapores de suelo	Completa	Limitad o	Regular	Extracción
Extracción con solventes	Completa	Limitad o	Regular	Extracción
<b>Tratamientos térmicos ex situ (incluye excavación)</b>				
Desorción térmica a alta temperatura	Completa	Limitad o	Regular	Extracción
Incineración	Completa	Limitad o	Buena	Destrucción
Desorción térmica a baja temperatura	Completa	Amplia	Buena	Extracción
<b>Tratamientos on site</b>				
Labranza de tierras	Completa	Amplia	Buena	Destrucción

De estas tecnologías de tratamiento se realizó un análisis en relación con su Disponibilidad, Tratamiento del contaminante, Relación Confiabilidad / Mantenimiento, Tiempo de Limpieza y Costo. En la Tabla 8.2 se definen cada uno de éstos factores.

**TABLA 8.2. DEFINICION DE LOS FACTORES TOMADOS EN CUENTA PARA LA SELECCION DE LAS TECNOLOGIAS DE REMEDIACION PARA LA REHABILITACION DE UN SITIO CONTAMINADO POR DIESEL.**

<b>FACTOR</b>	<b>DEFINICION</b>
Disponibilidad	Número de proveedores que pueden diseñar, construir y mantener estas tecnologías.
Tratamiento del contaminante	Metodología y conjunto de actividades para el tratamiento de los contaminantes.
Relación Confiabilidad/Mantenimiento	El grado de confiabilidad del sistema y nivel de manutención requerido cuando se usa la tecnología.
Tiempo de limpieza	Tiempo requerido para limpiar un sitio estándar usando la tecnología. El sitio estándar es de 100 toneladas de suelo.
Costo total	Costos de diseño, construcción, operación y mantenimiento. Los costos contemplan la movilización, desmovilización y pre y pos tratamiento.

En dicho análisis se obtuvo que las siguientes técnicas de tratabilidad:

- a) Extracción de vapores en suelo.
- b) Tratamiento de tierras.
- c) Desorción térmica.

Eran las más adecuadas para el tratamiento de un sitio contaminado con diesel que presenta los aspectos físico-químicos, de uso de suelo y las características en cuanto a contaminantes como las encontradas en el área afectada aledaña, ya que presentaban las tres las características más favorables para los factores de análisis, mismas que se describen a continuación:

FACTOR	CARACTERISTICA
Disponibilidad	Más de 4 vendedores. <sup>1</sup>
Tratamiento del contaminante	La tecnología está diseñada para el tratamiento de este contaminante (diesel).
Relación Confiable/Mantenimiento	Alta confiabilidad y manutención regular.
Tiempo de limpieza	Entre 4 a 8 meses para suelo.
Costo total	Menos de 500 dólares la tonelada.

<sup>1</sup>En el mercado de Estados Unidos, lo suficientemente comercializada como para obtener el servicio y productos.

Algo importante a considerar en la selección de las técnicas es el uso del suelo, ya que con base en esto se determinan los límites de limpieza de acuerdo a los criterios establecidos por la autoridad (PFPA), los cuales a su vez tienen relación con la eficiencia de la tecnología(s) seleccionada(s). En este caso, debido a que el área afectada no rebasa los límites de un derecho de vía de Petróleos Mexicanos que es ocupado por poliductos y gasoductos que abastecen de hidrocarburos al norte del país, se justifica, para efectos de saneamiento del suelo, considerar un uso de suelo de tipo industrial.

Otro criterio empleado para seleccionar las tecnologías de tratamiento a aplicar fue el que estuvieran dentro del grupo de técnicas consideradas por parte de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PFPA) como "demostradas", lo cual significa que son técnicas que han sido aplicadas en la restauración de algún sitio contaminado y se han obtenido resultados aceptables. En este caso las tres tecnologías seleccionadas pertenecen a dicho grupo.

Sin embargo, es importante mencionar que, como se indica en el Directorio de Profesionales y Empresas Especializadas en la Atención a Emergencias

Ambientales de la PFFPA, esta dependencia no avala a ninguna de las empresas respecto de las capacidades de sus servicios. Es decir, que aunque las empresas hayan realizado trabajos de restauración y estén registrados en el directorio antes citado, éstas no están avaladas por la PFFPA, sino que en cada trabajo realizado deberán demostrar la capacidad de su personal responsable de los mismos tanto a la dependencia como a sus clientes.

Una vez seleccionadas las técnicas más favorables de acuerdo a los factores anteriores se procedió a realizar una descripción más detallada de cada una de ellas que permita seleccionar entre ellas la más apropiada o la combinación de ellas que se espere de los resultados óptimos que se desea.

A continuación se describen los trabajos de excavación, remoción y tratamiento de suelos, las ventajas, desventajas, los datos requeridos para llevar a cabo la técnica, los datos de ejecución y los costos de las tecnologías propuestas.

## **8.1 TECNOLOGIAS DE REMEDIACION APLICABLES PARA EL SITIO DE ESTUDIO**

- **Extracción de vapores en suelo**

### **Descripción**

El sistema se aplica para el tratamiento de suelos en la zona no saturada (vadosa), donde se desarrollan pozos ranurados separados a distancias regulares, de 1 a 4 metros, y aplicando vacío para extraer los contaminantes. Una propiedad de los combustibles es su capacidad de evaporación, razón por la que se encuentran en las fases de vapor y líquida, estableciendo un equilibrio que es regulado según la ley de Henry. Se deberá evitar una alta humedad del suelo y se promoverá un aumento en la permeabilidad para garantizar las condiciones que darán como resultado una mejor difusión y rangos de remoción altos en los sitios.

Una vez obtenidos los gases de la extracción, se deberán tratar por alguna otra técnica de destrucción o de recuperación apropiada, como sería el uso de tratamiento con carbón activado, incineración de los vapores u otra que garantice la no-afectación del ambiente aéreo circundante.

Las profundidades a las cuales se pueden hacer los pozos de extracción varían desde uno hasta 90 metros de profundidad, por lo que se deben adaptar los equipos existentes para esta tecnología de acuerdo a la profundidad de la pluma contaminante. Cuando la pluma contaminante encuentra en su

desplazamiento vertical descendente una frontera impermeable que impide que continúe su migración y se inicia un desplazamiento horizontal se deberá evaluar la posibilidad de construir trincheras o baterías de pozos de extracción.

La tecnología se recomienda se aplique a compuestos volátiles con constantes de Henry mayores de 0.01 o presiones de vapor tan grandes como 0.5 mm Hg.

### Ventajas

- De bajo costo con relación a otras tecnologías.
- Equipo que se encuentra disponible en el mercado nacional.
- Amplio campo de aplicación.
- Tecnología relativamente reciente y eficaz.
- Tecnología que ha sido aplicada con éxito en otros sitios.

### Desventajas

- Relativamente lento (para algunos tipos de suelo y contaminantes).
- Aplicabilidad limitada para suelos saturados.
- Baja eficiencia en suelos de permeabilidades muy bajas.

### **Datos necesarios para aplicar la técnica**

Tipo de suelo, profundidad del manto freático, volumen de suelo contaminado, concentración del contaminante, determinación de las constantes de Henry para los contaminantes encontrados (promedios en las mezclas de hidrocarburos), profundidad del contaminante.

Se hace necesario hacer pruebas de tratabilidad donde se ponga de manifiesto la permeabilidad de suelos, influencia del contenido de humedad, usando materiales de suelo propios del lugar.

### **Datos de ejecución de la técnica**

La extracción de vapores en suelo puede extraer de 40 a 120 libras de compuestos orgánicos volátiles de suelo contaminado por día, en un volumen de suelo contaminados de 500 m<sup>3</sup>, aproximadamente. Lo anterior contando con un equipo de ocho pozos de extracción, un extractor de desplazamiento positivo, un separador vapor-liquido y una unidad adsorción primaria y secundaria.

## Costos

El costo estimado para esta técnica, se encuentra en el rango de 100 a 500 dólares por m<sup>3</sup> por concepto de extracción y manutención de la tecnología y el costo total dependerá de la naturaleza del material excavado, las tecnologías de perforación, la disponibilidad de vías de transporte, la disponibilidad del equipo en el mercado nacional y de la existencia de operadores capacitados tanto para perforación, instalación y mantenimiento de los sistemas.

- **Tratamiento de tierras**

### Descripción

El tratamiento de tierras o labranza de tierras es un sistema que destruye las sustancias contaminantes y puede ayudar a limpiar el suelo contaminado y reducir significativamente el contenido de hidrocarburos ligeros y pesados. Esta tecnología usa generalmente químicos inorgánicos y/o componentes orgánicos como aditivos que incrementan la eficiencia de los microorganismos, base de la tecnología, también se ha sugerido el crecimiento de pastos que no tengan uso en la localidad y que puedan ser cortados cada cierto tiempo, reintegrándolos a los materiales de tratamiento. Se requiere un control especial en el manejo de tales microorganismos y de las emisiones fugitivas asociadas a esta técnica. El material contaminado junto con el suelo que se encuentra con éste, es removido y transportado para su tratamiento en sitios acondicionados, que es conveniente ubicarlos cerca del sitio para reducir los riesgos implícitos en el transporte de los mismos y para reducir los costos. Usualmente se requiere un pretratamiento del suelo contaminado antes de su destino-tratamiento, el cual consiste en la homogenización para integrar los elementos aditivos.

Esta es una tecnología de tratamiento biológico y es comúnmente usada como parte de las tecnologías de remediación on site, para hidrocarburos volátiles, semivolátiles, poliaromáticos y otros. No hay limitantes en el tipo de suelos que puedan ser excavados y tratados; Sin embargo, la salud de los trabajadores y la seguridad tienen un gran peso en la decisión de excavar en suelo contaminado con combustibles.

Otros factores que deben tomarse en cuenta son la movilidad de los contaminantes, los tiempos de tratamiento, el costo de manejo, la gestión de terrenos e instalaciones donde se dará tratamiento a los suelos (se utilizan terrenos en las inmediaciones que cuenten con condiciones de accesibilidad y mejor control que los sitios donde han ocurrido los derrames), las medidas de seguridad para evitar contaminar otros sitios mientras se restauran los suelos contaminados y las instalaciones para el tratamiento de emisiones fugitivas.

Por ser una tecnología biológica se deberá hacer un monitoreo constante de las diversas variables que involucran el contenido de las mezclas de suelo y conservación de las condiciones de viabilidad de los microorganismos, tales como pH, contenido de micronutrientes, humedad, temperatura y principalmente oxigenación apropiada.

Puede aplicarse en cualquier sitio, aunque puede alcanzar un costo prohibitivo durante la excavación cuando se aplica a grandes profundidades, por los volúmenes manejados. Para la aplicación de esta tecnología puede implementarse prácticamente cualquier equipo típico de excavación, en particular, se requiere de retroexcavadoras, cargadores frontales y camiones para el acarreo. En cuanto a los equipos propios de la metodología se requiere de cargadores frontales para el mezclado y aireación, construcción de celdas de tratamiento, fertilizantes, agua y equipos de monitoreo biológico y fisicoquímico, así mismo, es recomendable la instalación de carpas y sistemas de tratamiento de vapores tal como carbón activado u hornos de combustión, que puedan elevar su temperatura desde 320 a 560 °C para eliminar los compuestos orgánicos volátiles.

La conformación de la celda y contenciones tiene como finalidad captar los lixiviados (agua e hidrocarburos). Ya que los materiales lixiviados están conformados por agua e hidrocarburos pueden ser conducidos a un sistema de separación de fases, donde los hidrocarburos se llevan a un posterior tratamiento por combustión (junto con los volátiles) y el agua puede ser reintegrada al material de tratamiento.

### **Ventajas**

- Elimina el problema de contaminación en el sitio (en caso de que este sea trasladado a otro para su tratamiento).
- No hay restricciones por el tipo de material a remover.
- El equipo y maquinaria utilizados puede aplicarse tanto para la excavación como para la aireación.
- El suelo tratado puede regresarse al sitio de origen.
- Los fertilizantes utilizados y la materia orgánica utilizados como aditivos son relativamente accesibles.

### **Desventajas**

Los factores que pueden limitar la aplicabilidad y efectividad del proceso son los siguientes:

- La generación de emisiones fugitivas puede ser un problema durante la operación.

- La inoculación de microorganismos degradadores de contaminantes orgánicos incrementa el costo.
- La existencia de áreas habitacionales cercanas puede ser restrictiva.
- Las adecuaciones a los suelos de tratamiento deberán estar bajo control.

#### **Datos necesarios para aplicar la técnica**

El volumen, tipo, concentración y profundidad del contaminante, clasificación de cultivos microbianos endógenos, pruebas de contenido inorgánico de los suelos a tratar, existencia de fuentes de abastecimiento de agua cercanas; así como las características del medio que lo contiene (suelo, arena, roca, etc.).

#### **Datos de ejecución de la técnica**

El uso de microorganismos exógenos debe contar con pruebas de adaptación y viabilidad en el sitio, en tanto que el uso de microorganismos autóctonos implica la realización de pruebas de viabilidad y eficiencia de éstos en la remoción de hidrocarburos. Deberá garantizarse la no-saturación de sales en el suelo una vez que se reintegre al sitio. Además, la profundidad y composición de lo que se requiere excavar deberá estar bien establecido, para evitar incrementos inesperados en los costos.

#### **Costos**

El costo estimado para esta técnica está en el rango de 200 a 600 dólares por tonelada, dependiendo de la naturaleza del material excavado, los métodos de excavación, la disponibilidad de vías de transporte, la disponibilidad del equipo en el mercado nacional y de la existencia de operadores capacitados.

## **Desorción térmica (ex situ)**

### **Descripción**

La técnica consiste básicamente en aplicar calor al suelo contaminado, por cualquier medio, para provocar la evaporación de los contaminantes, por lo que el suelo contaminado junto con el material que se encuentra inmediatamente debajo de éste, es removido y transportado para su disposición en sitios adecuados donde se realice el tratamiento. Estos sitios es conveniente ubicarlos cerca del área contaminada para reducir los costos y los riesgos implícitos en el transporte de los mismos.

Usualmente se requiere un pretratamiento del suelo contaminado antes de su destino-tratamiento, el cual consiste en homogeneizar el material hasta obtener concentraciones similares del contaminante en este, así como integrar los demás elementos del tratamiento. Para la aplicación del pretratamiento puede emplearse cualquier equipo para excavación, para este sitio en particular, únicamente se requiere de retroexcavadoras y cargadores frontales. La homogenización permite reducir los costos en cuanto a muestreos antes, durante y después del tratamiento ya que todo el material tendrá las mismas concentraciones, asimismo permite determinar una sola vez la cantidad de calor a aplicar y la duración del tratamiento. Asimismo, se evita problemas durante la operación por la consolidación natural que presenta el material, incrementando su porosidad y permeabilidad, lo que facilita la distribución de calor y también la liberación de gases.

Esta es una tecnología de tratamiento físico y es comúnmente usada como parte de las tecnologías de remediación ex situ, para hidrocarburos semivolátiles, poliaromáticos y otros. No existen límites en tipo de suelos que puedan ser excavados y removidos; sin embargo, la salud de los trabajadores y la seguridad tienen un gran peso en la decisión de excavar en suelos impregnados de combustibles. Otros factores que deben tomarse en cuenta son la movilidad de los contaminantes, los tiempos de tratamiento, y el costo de manejo y gestión de terrenos donde se dará tratamiento a los suelos (se utilizan otros terrenos que cuenten con mejores condiciones de accesibilidad y control que los sitios donde han ocurrido los derrames) y las medidas de seguridad para evitar contaminar otros sitios mientras se restauran los suelos contaminados después de ser excavados.

Por ser una tecnología física se deberán hacer un seguimiento en el contenido de las mezclas de suelo y buscar la conservación de texturas y propiedades del suelo existentes antes de ocurrido el derrame.

Una práctica común para reducir costos es usar alguna técnica biológica de remediación para los suelos menos contaminados o aquellos que ya han sido limpiados hasta concentraciones que los microorganismos puedan tolerar. Para

la aplicación de esta tecnología puede implementarse prácticamente cualquier equipo para excavación y para este sitio en particular, únicamente se requiere de retroexcavadoras, cargadores frontales y camiones para el acarreo. En cuanto a los equipos propios de la metodología se requiere de hornos que puedan elevar su temperatura desde 320 a 560 °C para volatilizar el agua y los compuestos orgánicos.

### **Ventajas**

- Elimina el problema de contaminación en el sitio (en caso de que el material contaminado se traslade a otro sitio).
- La maquinaria utilizada es fácil de conseguir.
- No hay restricciones por el tipo de material a remover.
- Puede aplicarse en conjunción con otras tecnologías de remediación.

### **Desventajas**

Los factores que pueden limitar la aplicabilidad y efectividad del proceso son los siguientes.

- La generación de emisiones puede ser un problema durante las operaciones.
- La lejanía del sitio contaminado al de depósito y/o tratamiento, incrementa el costo.
- La profundidad y composición de lo que se requiere excavar deberá estar bien caracterizado.
- La transportación de suelo contaminado a través de áreas habitacionales puede ser restrictiva.
- La tecnología requiere estar bajo control continuo.
- El uso de combustibles adicionales para alcanzar las temperaturas propuestas deberá ser un factor considerado en la planeación.

### **Datos necesarios para aplicar la técnica**

Volumen, concentración del contaminante, profundidad del contaminante, parámetros tales como permeabilidad, tipo de suelo y textura, que permitan la liberación apropiada de vapores.

### **Datos de ejecución de la técnica**

La desorción térmica a altas temperaturas puede restaurar hasta 5,000 toneladas de suelo contaminado aproximadamente en un mes. Sin embargo esto depende de la capacidad y características de los equipos y el número de los mismos, por lo que este valor puede variar considerablemente pero nos

puede dar una idea de lo que se puede lograr aplicando esta técnica en condiciones óptimas.

### **Costos**

El costo estimado para esta técnica, está en el rango de 100 a 600 dólares por tonelada por concepto de uso de hornos y el costo total dependerá de la naturaleza del material excavado, los métodos de excavación, la disponibilidad de vías de transporte, la disponibilidad del equipo en el mercado nacional y de la existencia de operadores capacitados.

### ▪ Evaluación y comparación de las técnicas seleccionadas

De acuerdo a los resultados de geofísica, perforación de sondeos exploratorios y análisis de laboratorio, se determinó la forma de la pluma contaminante, obteniéndose que el material contaminado que se encuentra en el subsuelo, en su mayoría, tiene concentraciones por debajo de las 2000 ppm, que es el límite considerado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente en sus Criterios Internos de Restauración de Suelos, aprobados en la XXII Reunión del Grupo de Trabajo el 5 de noviembre de 1999 y actualizados en la XXV Reunión del GDT el 9 de febrero del 2000, para suelo con uso de suelo tipo industrial.

El volumen de suelo contaminado que rebasa las concentraciones de 2000 ppm es de 42 m<sup>3</sup> (ver Plano No. 14 Pluma de contaminación para concentraciones de más de 1000 ppm en proyección isométrica) y se encuentran conformando dos elipsoides cuyo límite superior se encuentra a 3.5 m y 11.2 m de profundidad, respectivamente.

Es importante mencionar que desde el punto de vista toxicológico no representan un riesgo porque no existe exposición por parte de la población, ya que no hay contacto con ella, por encontrarse debajo de la superficie del terreno y porque no hay poblaciones cercanas al área de la fuga de diesel. Asimismo, no se detectó el nivel freático a menos de 40 m, por lo que el contaminante no ha entrado en contacto con el mismo, descartándose así un desplazamiento horizontal en la dirección del flujo subterráneo y la afectación de aprovechamientos de agua subterránea que sean utilizados en las localidades cercanas. Asimismo, en superficie no existe afectación porque el material contaminado que se encontraba en los tres primeros metros fue removido y colocado en lonas impermeables a unos metros al norte del sitio de la fuga.

En resumen se puede decir que dado el reducido volumen de suelo que rebasa las 2000 ppm, que no representa un riesgo a la salud a corto y mediano plazo, que se encuentra en un área donde no hay actividad humana, se considera que estos materiales no requieren tratamiento, sin embargo, la decisión final corresponde a la autoridad, por lo que esta será quien deba emitir su dictamen al respecto.

Por lo anterior, y considerando que en la Prueba de Tratabilidad No. 2 el suelo contaminado presentó un valor de  $4.5 \times 10^{-5}$ , valor que daría, en caso de aplicar la técnica de extracción de vapores, un radio de influencia bajo en los pozos para extracción de vapores, por lo que sería necesario realizar una densidad mayor de pozos que la promedio, se determinó que esta técnica no se aplicaría en este caso. Asimismo, la granulometría de los demás materiales perforados indicaba que había materiales con permeabilidades aún más bajas, por lo que el costo de esta técnica se incrementaría considerablemente.

Por otro lado, en el caso del material extraído del área afectada por la fuga de diesel y colocada sobre lonas tiene un volumen de 675 m<sup>3</sup>, el cual de acuerdo al muestreo realizado, la totalidad rebasa las 2000 ppm, lo cual es muy lógico si se considera que se extrajo del área donde estaba la fuga y donde se apreciaba la mayor afectación.

Considerando que los suelos acumulados en las lonas pueden ser tratados en el mismo sitio, previa autorización de las autoridades y de los propietarios de los terrenos, dado que no habría afectación a la población cercana y con el fin de disminuir los costos por la transportación de los suelos a un sitio donde se pueda aplicar la desorción térmica, además de que en este caso particular resulta más conveniente y económico la aplicación del tratamiento de tierras se seleccionó esta técnica para ser la que se aplique en el área afectada en el sitio.

## 8.2 TECNOLOGIA DE RESTAURACIÓN PROPUESTA.

La tecnología de restauración que se propone para este sitio es la de tratamiento de tierra, mismo que será aplicado exclusivamente al suelo que fue extraído durante el derrame y colocado sobre lonas impermeables. Deberá considerarse acondicionar un terreno para su tratamiento.

- **Costos de la restauración**

En la siguiente tabla se presenta el resumen de costos para la limpieza del sitio. Estos costos fueron obtenidos considerando los precios considerados en los sitios que se aplicó esta técnica y que se citan en este mismo capítulo y ajustándolos de acuerdo a los precios.

**TABLA 8.3. COSTOS APROXIMADOS PARA LA LIMPIEZA DEL SITIO**

DESCRIPCIÓN	VOLUMEN DE SUELO CONTAMINADO (m <sup>3</sup> )	PESO DEL SUELO CONTAMINADO (ton)	COSTO UNITARIO (Dólares/ton)	COSTO TOTAL (Dólares/ton)
Tratamiento de tierras	675.00	1,890.00	\$ 100.00	\$ 1'890,000.00

\*Densidad real promedio del material de suelo = 2.8 Ton/m<sup>3</sup> (ver resultados fisicoquímicos).

De acuerdo con la bibliografía en este tipo de trabajos, se puede establecer que la tecnología propuesta es capaz de reducir las concentraciones de los contaminantes en condiciones óptimas hasta niveles del orden de menos 100

ppm de hidrocarburos totales del petróleo (TPH's). Y el tiempo estimado para realizar este tipo de trabajo es de 6 meses.

- **Actividades de restauración a corto, mediano y largo plazo**

Las actividades de restauración a corto plazo serán aquellas que se realicen para la remoción de los hidrocarburos en las áreas aledaña del *poliducto* de 10" Ø y su tratamiento en sitios técnicamente apropiados y legalmente autorizados. Para realizar lo anterior es necesario delimitar físicamente el área contaminada con malla ciclónica o de cualquier otro material. Con la delimitación del área afectada se podrá impedir el acceso y restringir el paso de personas ajenas a los trabajos de restauración cuando éstos se realicen. A mediano y largo plazo se deberá establecer mecanismos de control y supervisión en el sitio restaurado.

- **Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales esperados durante las actividades de restauración**

Para llevar a cabo las actividades de tratamiento de los suelos en los sitios estudiados, se debe plantear previamente el diseño y construcción del área de operación, y la implementación de controles que minimicen la afectación ambiental. Se requiere considerar distancias de seguridad entre las áreas y un espacio para maniobras en donde se considere ruta de evacuación de emergencias.

Las medidas de mitigación que se deberán llevar a cabo para la limpieza de un sitio contaminado por diesel son las siguientes:

- a) Las áreas utilizadas para el almacenamiento temporal del material removido deberán ser niveladas para evitar encharcamientos y utilizar membranas impermeables, así como diques de contención.
- b) El área para el equipo de descontaminación debe ser una superficie dura capaz de retener el agua de lavado para captarla en fosas.
- c) Cubrir los suelos contaminados excavados para prevenir la lixiviación y fuga de polvos.
- d) Debido a que los suelos contaminados se encuentran en un estado terroso, en el sitio debe llevarse a cabo un monitoreo de aire durante el proceso, para determinar los niveles de inseguridad de compuestos contaminantes, específicamente compuestos volátiles.

e) Durante los trabajos se deberá llevar un cuidadoso control de los residuos, ya sean estos líquidos o gaseosos.

- **Experiencias en este tipo de remediación**

Las experiencias en este tipo de remediación indican la factibilidad de este tipo de tratamiento, siendo estas reportadas por la EPA, EUA, en los siguientes casos:

3. Sitio del Superfund, denominado Burlington Northern Superfund Site en Brainer/Baxter Minnesota.

En este lugar se trató un sitio contaminado con hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA's), y otros hidrocarburos semivolátiles no halogenados, así como compuestos fenólicos.

Los trabajos en este lugar duraron desde 1986 hasta 1994, tratando suelos con concentraciones por arriba de 20 000 ppm de hidrocarburos policíclicos aromáticos.

2. Sitio del Superfund, denominado Brown Wood Preserving Superfund Site en Live Oak, Florida.

En este lugar se trató un sitio contaminado con creosota, pentaclorofenoles e hidrocarburos policíclicos aromáticos, y otros hidrocarburos semivolátiles no halogenados.

Los trabajos en este lugar duraron desde 1989 hasta 1990, tratando suelos con concentraciones por arriba de 208 ppm en los parámetros ya mencionados, reduciéndolos hasta valores de 100 ppm para los indicadores químicos carcinogénicos totales, en este caso los hidrocarburos policíclicos aromáticos.

- **Niveles de limpieza**

Los niveles de limpieza que esta tecnología puede alcanzar bajo condiciones ideales se han establecido de menos de 100 ppm de hidrocarburos totales del petróleo.

- **Equipo y material utilizado en las actividades de restauración**

Cargadores sobre neumáticos tipo CAT 928 G, de 120 HP y capacidad de 2.6 Yd<sup>3</sup>.

Retroexcavadora CAT 416C, de 75 HP y capacidad de 1 Yd<sup>3</sup>.

Autoconcretera Merlo DBM-3500 (giratoria) de 114 HP con capacidad de 3.5 m<sup>3</sup>.

Material de muestreo para monitoreo conformado por frascos de muestreo con tapa con sello de Teflón y de color ámbar, guantes de látex, mascarillas.  
Palas y pico para descompactar el material.

Carro cisterna o tinacos para distribución de agua y aditivos.  
Lonas impermeables.

Selladora de lonas y uniones térmicas

Vehículos para el traslado de personal.

Casetas móviles para uso de personal en el sitio.

Malla ciclónica de protección.

Bomba de ½ HP.

Este equipo se utilizará en cada una de las fases del tratamiento y se aplicará conforme las operaciones calendarizadas

• **Perfil y actividades que realizara el personal responsable de las actividades**

<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Perfil</b>	<b>Actividades</b>
Gerente de proyecto	1	Ingeniero especializado en el área de ciencias de la tierra y en tratamiento de sitios contaminados con hidrocarburos.	Coordinar actividades de campo y gabinete.
Ingeniero de obra	1	Ingeniero especializado en el área de ciencias de la tierra y en tratamiento de sitios contaminados con hidrocarburos.	Supervisar que los trabajos de campo se realicen de acuerdo con los procedimientos y normas aprobados por autoridades nacionales y extranjeras (cuando aplique).
Especialista en Biotecnología	1	Ingeniero especializado en el área biotecnológica y en tratamiento de sitios contaminados con hidrocarburos.	Supervisar la viabilidad y eficiencia de los microorganismos y plantas asociadas, en los trabajos de remediación.
Operador de maquinaria.	1	Técnico con conocimientos y experiencia en maquinaria pesada y en manejo de productos peligrosos y de riesgo.	Manejo de maquinaria y equipo especializado.
Ayudantes	2	Técnico con experiencia en manejo de productos peligrosos y de riesgo.	Apoyo en las actividades que sean realizadas, vigilancia (cuando aplique).

- **Programa calendarizado de actividades**

La duración de las actividades esta programada para seis meses, desde el inicio de las operaciones hasta la total restauración del sitio según el siguiente calendario de actividades:

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Conformación de la celda						
Adecuación de los materiales celda						
Homogenización de materiales (1 mes/semana)						
Tratamiento de la vegetación						
Monitoreos (1/mes)						
Bombeo de lixiviados (1 mes/semana)						

### 8.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Los estudios de tratabilidad pueden se utilizan para proveer Información específica acerca del potencial de aplicación de las tecnologías de tratamiento a una escala de campo en sitio específico. Asimismo, pueden ser de utilidad para evaluar y comparar la magnitud y rapidez de la remediación que ocurre entre varias de estudios de tratabilidad deberán ser conducidos en un microcosmos a escala de laboratorio o en reactores a escala piloto o en el mismo campo. Los estudios de laboratorio generalmente buscan usarse para:

1. Establecer la validez de la tecnología.
2. Generan información adicional que puede ser usada como indicadores del potencial para llevar a cabo las tareas programadas.
3. Identifican parámetros para investigación durante las pruebas escala piloto.

A continuación en la tabla 8.4, se describen las categorías de tratabilidad por asociación de niveles de restauración:

**Tabla 8.4. Categorías de las pruebas de tratabilidad.**

	ESCALA LABORATORIO	ESCALA DE BANCO	ESCALA PILOTO
Tipo de datos	Cualitativo	Cuantitativo	Cuantitativo
Parámetros críticos	Varios	Pocos	Pocos
No. de replicas	Simple / duplicado	Duplicado / triplicado	Triplicado o más

Tamaño del estudio	Pruebas de jarras o estudios en matraces	Algunos pueden ser extensos	Planta piloto (on site u off site)
Tipo de proceso usual	Lotes	Lotes o continuo	Lotes o continuo
Volumen de la corriente de residuos	Pequeña	Media	Grande
Tiempo requerido	Horas / días	Días/semanas	Semanas / meses
Costos (dólares)	10,000-50,000	50,000-250,000	250,000-1,000,000

Tomado de J. Russell (1995).

La U.S. Environmental Protection Agency recomienda realizar pruebas preliminares de tratamiento a escala de laboratorio con el fin de establecer la pertinencia de ejecutar estudios de tratabilidad en un nivel superior (EPA, Ficha tecnológica F-96-017, 1996). Considerando lo anterior y que el presente trabajo tiene como uno de sus objetivos particulares el de realizar dos pruebas de laboratorio o campo que ayuden a seleccionar y evaluar las técnicas de remediación aplicables para las características particulares del sitio y del tipo de contaminante del área afectada del poliducto de 10" Ø prueba de permeabilidad para determinar los valores de conductividad hidráulica del terreno, mismos que ayudaran a determinar la aplicabilidad de la extracción de vapores en el sitio y otra que ayudará a determinar la aplicabilidad de la técnica de tratamiento de tierras.

No se realizó una tercer prueba de tratabilidad porque no estaba contemplada dentro de los alcances, sin embargo, en el caso de la tecnología de desorción térmica, considerando que el tipo de contaminante es diesel se estimó que ésta sería aplicable en el sitio.

Las otras categorías de las pruebas de tratabilidad aplican en etapas posteriores a la que nos encontramos, ya que en estas ya se debe haber seleccionado la técnica de remediación a aplicar. Las pruebas a escala piloto o banco ayudan a determinar el diseño final del sistema de tratamiento, por lo que ya se debe conocer las características particulares de los equipos a emplear, los tiempos en los que se debe realizar el tratamiento, los recursos de los que se dispone, por lo que se recomienda que éstas se realicen siempre y cuando se hayan realizado suficientes pruebas de tratabilidad a escala laboratorio.

A continuación se describen las pruebas de tratabilidad realizadas y su interpretación:

- **Pruebas de laboratorio realizadas para verificar la tratabilidad de la tecnología propuesta**

**Prueba No. 1.** Para los trabajos desarrollados en el presente estudio se ha contemplado realizar las pruebas de tratabilidad que contemplen la movilidad de los contaminantes haciendo un análisis de parámetros fisicoquímicos en el suelo, para ellos se realizaron análisis a las muestras tomadas en los pozos nos. 7, 10, 11, para determinar los siguientes parámetros:

**Composición del suelo:** Ayuda a conocer la relación que existe entre los contaminantes y las partículas del suelo, que para el presente estudio se ha determinado una composición predominantemente arcillosa, lo que nos indica que la movilidad del contaminante es baja y que por otra parte dificulta la eliminación de los contaminantes una vez que se han integrado a esta matriz. La variabilidad de los materiales es mayor en el sentido vertical que en el horizontal, lo que se comprueba por la forma determinada de la pluma contaminante. La presencia de diesel en la matriz de estos materiales se presenta sin agregación de los materiales y permite el paso del contaminante a profundidad, por lo que la interacción física con estos materiales es gobernada de manera predominante por la difusión.

**Textura:** En la textura del suelo predomina la arcilla con inclusiones de materiales como calcio y sulfatos en proporciones bajas, que comprende diámetros de grano en el orden de 0.05 a  $< 0.0002$  mm, estos materiales se conservan en la mayor parte de las muestras.

**Estructura:** La estructura del suelo es de tipo granular fino, del tipo de las arcillas en donde las partículas tienen formas redondeadas y compactación variable en función de la profundidad encontrada, los contaminantes pueden difundir en los intersticios menos compactos, mientras no haya saturación de agua en el suelo. La presencia de diesel no confiere una compactación mayor a este tipo de materiales, sin embargo, y para efectos de realizar la tecnología propuesta se propondrá la disgregación del material para llevar a cabo la restauración.

**Permeabilidad:** La permeabilidad de un material esta dada en función de la movilidad del agua en la matriz de un material poroso con unidades de metros recorridos por unidad de tiempo, en los materiales encontrados se ha determinado una permeabilidad que va desde  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  m/día, constituyendo un dren pobre por lo que los contaminantes ven favorecido un desplazamiento horizontal.

**Porosidad:** Es la relación de un material entre el volumen en su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total. La porosidad de los materiales encontrados tiene un valor promedio del 62 % y es congruente con los valores reportados en la bibliografía. Los fluidos contaminantes ocupan un gran volumen cuando se han integrado al material y la remoción será conducida considerando la relación de volúmenes de agua, aire, contaminante y

materiales encontrados del subsuelo. La capacidad de retención ocupada a un máximo por los contaminantes difícilmente los liberan, se deberá disgregar el material para realizar una efectiva remoción de estos.

pH: Este parámetro es de interés ya que la presencia de microorganismos está regido en parte por las condiciones apropiadas para la proliferación microbiológica, en donde el factor pH es un limitante en el crecimiento de tales poblaciones. Los valores de pH están en el rango de 8 a 9. Las condiciones de pH encontradas son adecuadas para establecer una bioremediación y crecimiento vegetal, sin embargo se recomienda fijarlas hasta un valor de 7 (óptimo para el crecimiento microbiano).

Densidades: La densidad de estos materiales varía en función de los niveles de saturación, de la compactación y de la presencia de materiales diversos, sin embargo son materiales muy homogéneos que cambian su densidad al removerlos cuando se encuentran secos y/o húmedos. La densidad real encontrada para estos materiales es de  $2.8 \text{ g/cm}^3$ , en materiales contaminados. Capacidad de intercambio iónico: Este factor de los materiales del subsuelo ayuda a establecer la presencia de micronutrientes para los microorganismos autóctonos del suelo, en este caso se ha establecido un valor de 272.0 meq/100g, siendo para el sodio de 11.7, para el calcio de 150.5, para el magnesio de 4.6, para el potasio de 0.3, para cloruros de 5.13, de sulfatos 16.0, de carbonatos 0.01, de bicarbonatos de 79.3 en meq/100g. Se tiene entonces, una relación iónica de 1.7 que indica un estado de equilibrio medio, apropiado para un tratamiento biológico.

Velocidad de absorción y adsorción: Por las características del sitio y el clima que prevalece en la zona de estudio, la sorción (absorción y adsorción), que está íntimamente ligada con la porosidad de los materiales, la saturación de estos y de la capacidad iónica de los materiales, se ha establecido que el valor de absorción promedio de 78.2 ml/h refleja una rápida captación de contaminantes como se espera para este tipo de suelos. Por lo que la velocidad con que ingresa a estos materiales es mas alta que la desorción indicando un tratamiento relativamente lento y estos materiales que han sido impregnados requieren un mayor esfuerzo para eliminarlos.

Composición microbiológica del sitio: La diversidad microbiológica de los materiales en los sitios estudiados es baja y deberá aumentarse con inserción de materiales ricos en microorganismos tal como excremento de animales o inoculación de cepas exógenas (el número dependerá de las especificaciones de cada proveedor) con alta capacidad para degradar los hidrocarburos. La cantidad de materia orgánica en el sitio es baja ( $< 1 \%$ ) por lo que se aconseja incrementarla hasta valores cercanos al 10 %, esto equivale a realizar un aporte de  $67.5 \text{ m}^3$  de excretas y pasturas. Se sugiere la adición de microorganismos exógenos con alta capacidad, probada, para transformar y utilizar a los

hidrocarburos contaminantes, tales como pseudomonas, nitrosomonas y nitrobater.

La capacidad de remoción realizada por estos conglomerados microbiológicos deberá determinarse por el responsable de la remediación, ya que primero se deben seleccionar aquellos que se emplearán para este sitio o son utilizados generalmente por el restaurador.

**Prueba No. 2:** Se tomo la muestra del pozo No. 9 para realizar un análisis de permeabilidad de materiales, utilizando un permeámetro de carga variable y realizada a la muestra tomada a la profundidad de 2 m con el fin de verificar la efectividad de realizar la percolación de materiales aditivos en la matriz de suelo, la cual es una función de tal parámetro.

El procedimiento es el siguiente:

- a. Se labra la probeta en forma de cilindro.
- b. Se calcula el área.
- c. SE coloca la probeta en la cámara del molde del permeámetro.
- d. Se sella el hueco entre la probeta y el molde con parafina o material impermeable para evitar que el agua se infiltre lateralmente.
- e. Colocar una capa de arena sílica (Ottawa) de 1.5 cm.
- f. Fijar el material introducido en la cámara del permeámetro permitiendo un flujo laminar.
- g. Saturar completamente la probeta de análisis.
- h. Cerrar el molde.
- i. Agregar agua, verificando la lectura con respecto al nivel del agua.
- j. Tomar el tiempo necesario para que el agua baje de un nivel H1 a otro H2.
- k. Tomar temperatura del agua para determinar el coeficiente de viscosidad.
- l. Repetir los últimos tres pasos como mínimo 5 veces para obtener un promedio.

Sustituir los datos en la ecuación correspondiente, para este caso, la permeabilidad del material de este pozo dio un resultado de  $4.5 \times 10^{-5}$  cm/seg. Por lo que la prueba de permeabilidad realizada en las muestra, indican que hay muy poca movilidad del agua en estos materiales, y por lo tanto, se deberá asegurar en trabajos de tratamiento una descompactación del material a tratar, disgregándolo, o bien introduciendo materiales que no afecten la calidad del suelo ni su estructura y textura original al final del tratamiento, tal es el caso de materiales biodegradables, como pastos, bagazo de caña u otros materiales agrícolas residuales de bajo valor comercial.

### XII.1.9.- CONCLUSIONES.

1. El suelo en el sitio de estudio está contaminado por hidrocarburos, específicamente diesel. El suelo contaminado que deberá ser restaurado se encuentra en lonas provisionales instaladas por personal de PEMEX Refinación.
2. El volumen total de suelo contaminado en el sitio es de 717 m<sup>3</sup>, distribuido entre el que está en las lonas que actualmente contienen un volumen de 675 m<sup>3</sup> y el material que se encuentra en el subsuelo de 42 m<sup>3</sup>. El material superficial (suelo entre 0 y 2 m de profundidad) del área aledaña del poliducto de 10" Ø Satélite-Gómez Palacio, tiene niveles de concentración de contaminantes por debajo de 2000 ppm de hidrocarburos totales del petróleo, que no excede los criterios internos de limpieza de la PROFEPA ya que entra dentro de la categoría de un suelo de tipo industrial (derecho de vía para transporte de hidrocarburos),.
3. Las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo, en las muestras tomadas de los pozos no superan las 2000 ppm en el suelo somero, y para los benzopirenos e hidrocarburos policíclicos aromáticos tienen concentraciones que están en el umbral de detección. Sin embargo, en el material que se encuentra en las lonas, las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo, de policíclicos aromáticos y de benzopirenos son altos (rebasan los criterios internos de PROFEPA). Estos sitios representan un riesgo potencial al ambiente ya que se encuentran excavados y pueden entrar en contacto directo con cualquier animal o el hombre. Sus vapores pueden ser transportados a través del aire, y sus partículas al desprenderse de la matriz pueden ser transportadas a través del aire hacia el suelo o el aire.
4. En los pozos 2 y 4 se han encontrado concentraciones por arriba de 2000 ppm de hidrocarburos totales del petróleo, constituyendo un volumen aproximado de 42 m<sup>3</sup> en total, los cuales debido a la profundidad a la que se encuentran no presentan factibilidad técnico-económica para su restauración,. Además en estas muestras no se detectaron benzopirenos, ni hidrocarburos policíclicos aromáticos, reduciendo el riesgo a la salud asociado con este tipo de hidrocarburos.
5. La metodología de remediación que se recomienda para los 675 m<sup>3</sup> de tierra contaminada, que ha sido depositada sobre lonas provisionales, es el de Tratamiento de Tierras. El costo de esta tecnología se ha calculado de 189,000.00 Dlls, que se planea desarrollar en un plazo máximo de 6 meses.

6. El material de suelo esta constituido principalmente de arcillas que tienen propiedades de retención altas, de baja permeabilidad, que sin embargo, por condiciones del ambiente local permiten una relativamente rápida absorción y una lenta desorción, por lo que el material se deberá disgregar y homogenizar para su tratamiento.
7. Debido al análisis hidrológico realizado en la zona, así como el hecho de no detectar ninguna corriente importante en un radio de 1 km a la redonda, la conclusión es que no se detecta ninguna afectación a alguna corriente ya sea permanente (que en el caso del área de estudio no se presentan) o intermitente. Por consecuencia, no se afectó algún cuerpo de agua, debido principalmente a que el nivel freático se encuentra a profundidades mayores a los 100 m, por lo que, una afectación a corrientes subterráneas y/o superficiales, a partir de esta fuente contaminante se descarta.
8. En el sitio de estudio, no existen zonas habitacionales contiguas y la población más cercana que se encuentra aproximadamente a un kilómetro de distancia, es una población denominada Loma Bonita. De acuerdo con la evaluación realizada en el sitio no se detecta ninguna afectación a tal población debida al material contaminado que se encuentra en el subsuelo.
9. El criterio con el cual se compararon los resultados de TPH's es el correspondiente a una zona industrial para el suelo depositado en las lonas, aún cuando no están dentro del derecho de vía, ya que provienen de una zona con esa clasificación, por tanto debe ser reincorporado a esa área una vez tratado, ya que si se incorpora a otro lugar con una clasificación de uso de suelo diferente tendría que aplicarse el criterio acorde a ese sitio que en cualquier caso sería menor que el industrial.

