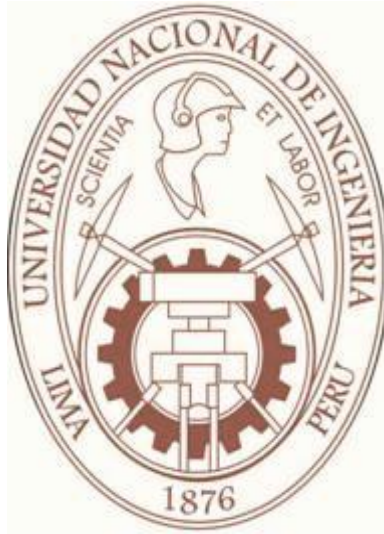


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO,  
GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA**



**“OPTIMIZACION DE LA REMEDIACION DE PASIVOS  
AMBIENTALES EN EL LOTE 1AB”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE PETRÓLEO**

**ELABORADO POR:**

**LUIS ANTONIO JIMENEZ PUYEN**

**PROMOCIÓN: 2010–2**

**LIMA – PERÚ**

**2012**

## **AGRADECIMIENTO**

“Mi Agradecimiento, al Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica y a los Señores Catedráticos que me guiaron con su luz de su conocimiento. Asimismo, mi agradecimiento y gratitud eterno a mi Queridos Padres, quienes me apoyaron en toda mi carrera.”

## SUMARIO

La remediación de pasivos ambientales es siempre objeto de interés y preocupación por parte de los potenciales afectados. Esto se debe, en primer lugar, al reconocimiento de la existencia de tales pasivos, a la incertidumbre asociada a los procedimientos utilizados para la obtención de muestras representativas de la realidad, a la posibilidad de lograr los objetivos de remediación y a la confiabilidad de las prácticas ejecutadas para el saneamiento del sitio afectado, entre otros aspectos.

Uno de los principales interrogantes que plantea el empleo de métodos estandarizados de caracterización de la contaminación, se relaciona con la precisión en la determinación de la ubicación, magnitud y composición del pasivo. Al respecto es necesario señalar que para dar validez a los procedimientos de muestreo, es necesario establecer el tamaño de la muestra que represente de manera confiable la situación real; esta actividad es relativamente sencilla cuando los contaminantes están a la vista y el muestreo se hace empleando homogenización y cuarteo. Sin embargo en el caso de la actividad petrolera, las técnicas de locación húmeda utilizadas hasta finales de la década de 1970 para la perforación de pozos, generaron grandes cantidades de residuos que se disponían en pozas excavadas en el suelo adyacente a la locación. Una vez finalizada la perforación, el sector de la poza se cubría con capas de suelo de espesor variable. Con el paso del tiempo estos sitios se fueron cubriendo con vegetación nativa, dejando los pasivos ocultos de la vista y sin la implementación de sistemas de contención y monitoreo para el control de la movilidad de los contaminantes.

Con el objetivo de analizar la aplicación de diferentes tecnologías para optimizar la remediación de pasivos ambientales y realizar un análisis de riesgo, en el lote 1AB en la zona Nororiental de la selva peruana, se ha realizado la presente Tesis. También para realizar su evaluación y proponer medidas de mitigación con la finalidad de atenuar y/o reducir los impactos negativos al ecosistema circundante. Todo esto se realizara mediante metodologías que más adelante se estarán explicando con mayor amplitud.

## INDICE

Sumario	i
Agradecimiento	ii
Indice	iii
<b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	1
1.2 Formulación del Problema	2
1.3 Justificación de la Tesis	2
1.4 Objetivos	3
1.5 Hipótesis	3
1.6 Metodología	3
<b>CAPITULO II: REMEDIACION DE PASIVOS AMBIENTALES</b>	<b>4</b>
2.1 Definición de la Problemática	4
2.2 Caracterización del Emplazamiento.	5
<b>CAPITULO III: TECNICAS DE REMEDIACION</b>	<b>7</b>
3.1 Técnicas de Descontaminación de Emplazamientos Contaminados	7
3.2 Técnicas de Descontaminación Más Comunes.	8
3.3 Técnicas de Descontaminación Menos Comunes.	17
3.4 Técnicas de Descontaminación de Emplazamientos Contaminados.	17
3.4.1 Bombeo y Tratamiento	17
3.4.2 Equipos de Tratamiento	19
3.5 Clasificación General por Agresividad del Tratamiento	22
3.6 Técnicas Emergentes	22
3.7 Barreras Pasivas / Activas	24
<b>CAPITULO IV: SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE REMEDIACIÓN</b>	<b>29</b>
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS</b>	<b>32</b>
5.1 Metodologías	32
5.2 Modelo Conceptual	33
5.2.1 Caracterización Detallada del Medio	33
5.2.2 Identificación de los Receptores Sensibles	33

<b>5.2.3</b> Identificación de las Rutas de Exposición	34
<b>5.3</b> Análisis de la Toxicidad	35
<b>5.4</b> Análisis de la Exposición	36
<b>5.6</b> Gestión del Riesgo	37
<b>CAPITULO VI: TRANSFERENCIA DE CONTINGENCIA Y PASIVOS</b>	<b>38</b>
<b>6.1</b> Opciones de Clausura	38
<b>6.2</b> Opciones de Venta -Transferencia de Pasivo	38
<b>6.3</b> Aspectos Adicionales a Considerar	39
<b>6.4</b> Demolición / Desmantelamiento	39
<b>6.5</b> Planificación de los Trabajos de Descontaminación y Demolición	39
<b>6.6</b> Metodología Técnica / Fases	40
<b>6.7</b> Análisis de la Estrategia de Salida – Caso Real	40
<b>6.8</b> Análisis de las Partes Interesadas (Stakeholders)	41
<b>6.9</b> Análisis de Riesgos Asociados a la Propiedad	42
<b>CAPITULO VII: EVALUACION Y OPCIONES DE SALIDA</b>	<b>44</b>
<b>7.1</b> Procesos de Cese de Actividad y Clausura	44
<b>7-2</b> Tendencias en Procesos de Cese de Actividad	45
<b>7.3</b> Transferencia de Contingencias y Pasivos Ambientales	46
<b>7.4</b> Etapas Típicas del Proceso de Clausura/Cese de Actividad	46
<b>7.5</b> Cuantificación de Pasivos y Contingencias	46
<b>7.6</b> Enfoque de ERM para Cuantificación de Pasivos	47
<b>7.7</b> Transferencias de Contingencias y Pasivos Ambientales	49
<b>CAPITULO VIII: CASO DE PASIVOS AMBIENTALES - MEDIDAS DE MITIGACION AMBIENTAL LOTE 1 AB</b>	<b>50</b>
<b>6.1.</b> Plan de Remediación	50
<b>6.2.</b> Plan de Monitoreo en la Cuenca	60
<b>6.3.</b> Plan Zonal de Contingencia	61
<b>CAPITULO IX: COSTOS</b>	<b>63</b>
<b>CAPITULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>67</b>
<b>CAPITULO XI: BIBLIOGRAFIA</b>	<b>71</b>

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1. Antecedentes

La existencia de pasivos ambientales ocasionados por las técnicas de perforación empleadas por la actividad petrolera en la década de 1970, puso en riesgo la integridad de los recursos ambientales.

De acuerdo con las técnicas de locación húmeda utilizadas hasta finales de la década de 1970 para la perforación de pozos, se generó grandes cantidades de residuos contaminados que se disponían en represas excavadas en el suelo, adyacente de la locación. Una vez finalizada la perforación, el sector de la represa se cubría con capas de suelo de espesor variable.

Con el paso del tiempo estos sitios se fueron cubriendo con vegetación nativa, dejando los pasivos ocultos de la vista y sin la implementación de sistemas de contención y monitoreo para el control de la movilidad de los contaminantes.

En relación a los impactos ambientales evaluados, se han identificado rutas de exposición, por los que los contaminantes producidos por las operaciones petroleras pueden incorporarse a la cadena alimenticia y eventualmente terminar concentrándose en los seres humanos.

Para llevar a cabo acciones de limpieza de esta contaminación se deben tomar en cuenta las normas nacionales referentes a los Niveles Máximos Permisibles en el Sector Hidrocarburos (D.L. N° 037-2008 PCM) y los estándares de calidad de agua en el cuerpo receptor (Ley N° 29338, "Ley de Recursos Hídricos"). Pero Anteriormente en el Perú no existían parámetros y ni se contaba con estándares propios, el Ministerio de Energía y Minas del Perú solicitó a los autores, a utilizar como objetivo de limpieza los estándares internacionales a aplicarse sobre todo a los niveles aceptables de constituyentes de hidrocarburos en el agua y a los niveles de contaminantes en suelos.

## **1.2 Formulación del Problema**

Un pasivo ambiental puede afectar la calidad del agua, el suelo, el aire y los ecosistemas, deteriorándolos. Todos estos han sido generalmente producidos por las actividades del hombre, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes, a lo largo del tiempo.

Los pasivos ambientales son complejos y complicados para su recuperación, debido a las características físico químicas, los elevados costos para su control y rehabilitación, la falta de identificación de responsables y en otros casos por el incipiente desarrollo tecnológico para su recuperación.

## **1.3 Justificación de la Tesis**

La Remediación de Pasivos Ambientales es actualmente una obligación establecida por Ley en casi la totalidad de los países del mundo. Siendo por ello objeto de interés y preocupación por parte de los potenciales contaminadores y afectados. Esto se debe, en primer lugar, al reconocimiento de la existencia de tales pasivos, a la incertidumbre asociada a los procedimientos utilizados para la obtención de muestras representativas de la realidad, a la posibilidad de lograr los objetivos de remediación y a la confiabilidad de las prácticas ejecutadas para el saneamiento del sitio afectado, entre otros aspectos.

Uno de los principales interrogantes que plantea el empleo de métodos estandarizados de caracterización de la contaminación, se relaciona con la precisión en la determinación de la ubicación, magnitud y composición del pasivo.

Al respecto es necesario señalar que para dar validez a los procedimientos de muestreo, es necesario establecer el tamaño de la muestra que represente de manera confiable la situación real; esta actividad es relativamente sencilla cuando los contaminantes están a la vista y el muestreo se hace empleando homogenización.

Se han identificado cuatro aspectos ambientales principales que requerirán de acciones de remediación, ya sea por la magnitud de su impacto o por los riesgos actuales o potenciales que tienen sobre la población receptora y son:

- El vertimiento de aguas de producción en ríos y quebradas.
- Los derrames de hidrocarburos en los suelos.
- El vertimiento de petróleo en áreas pantanosas y
- El Pasivo Ambiental que eventualmente presentarán las pozas de seguridad.

#### **1.4. Objetivos**

El objetivo principal del proyecto es optimizar la remediación de pasivos ambientales mediante técnicas de descontaminación, en la industria de los hidrocarburos.

Como objetivo secundario, Identificar los pasivos ambientales existentes en los campos de petróleo como consecuencia de las actividades productivas realizadas con anterioridad, realizar su evaluación ambiental y proponer medidas de mitigación con la finalidad de atenuar y/o reducir sus impactos negativos al ecosistema circundante.

#### **1.5 Hipótesis**

Para lograr una óptima remediación de los pasivos ambientales dejados por las operaciones de exploración y explotación del Lote 1AB, se evaluará las implicancias de la aplicación de las técnicas denominadas “Biopilas” y Landfarming” en las zonas productoras: Forestal, Shivyacu, Huayuri Sur, Dorissa y Jibaro.

#### **1.6 Metodología**

Para la realización del proyecto se recopiló información de los antecedentes de los campos, se revisó la información existente, se elaboró informes de seguimiento, diseño de planillas de campo, asistencia a los sitios de trabajo, registro de actividades, procesamiento de los datos de campo obtenidos in situ.

Se realizarán técnicas de remediación de acuerdo a la clasificación de movilidad de la contaminación.

El tratamiento de la contaminación se hará In situ, en el emplazamiento (ad situ) y fuera del emplazamiento (ex situ)



## CAPITULO II

### REMEDIACION DE PASIVOS AMBIENTALES

#### 2.1 Definición de la Problemática

Las acciones correctivas en sitios contaminados son generalmente desarrolladas e implementadas con el principal objetivo de proteger la salud pública y el ambiente. En particular, se deberán investigar sobre:

- La naturaleza de la contaminación.
- La extensión de la contaminación
- Los grupos potencialmente expuestos.
- Delimitación de las vías de migración.
- Los efectos que se detectan a partir de la exposición.

En primer lugar, deberán tomarse acciones correctivas como la definición de medidas de seguridad (restringir el acceso al lugar), la construcción de barreras físicas y la minimización del escape potencial del lugar.

Luego, realizar una profunda investigación del sitio para establecer la naturaleza y extensión de la contaminación, de modo de arribar a la confección de un plan de restauración apropiado y realista para el caso.

En el contexto de la problemática de la remediación de pasivos ambientales se basaran en:

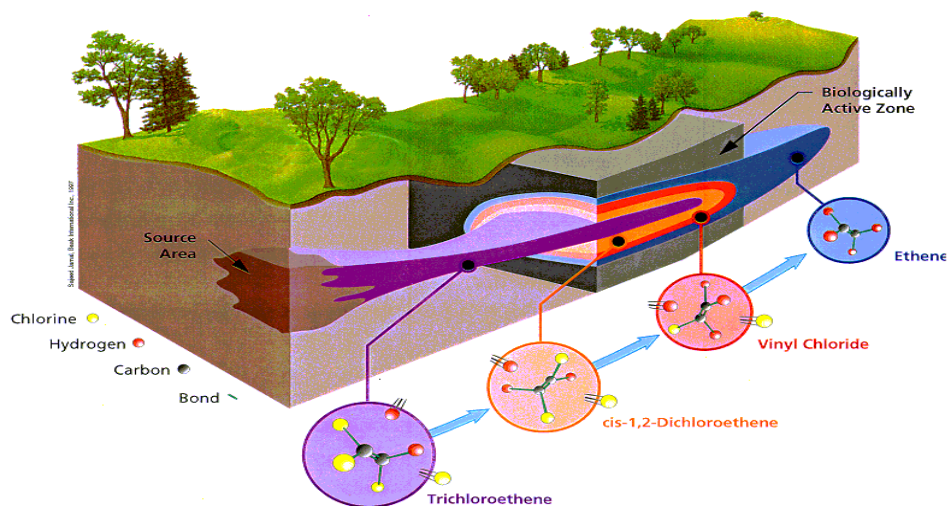
- Procedimientos de declaración de suelos contaminados.
- Compra / Venta.
- Cambio de uso del emplazamiento (Ubicación).
- Programas de actuación dentro del grupo empresarial.
- Denuncias.

## 2.2 Caracterización del Emplazamiento.

En este sistema de caracterización del emplazamiento se desarrollaran lo siguiente:

- Comprensión del proceso industrial.
- Identificación de posibles contaminantes.
- Instalación de puntos de investigación.
- Muestreos de suelos y aguas subterráneas.
- Caracterización de las condiciones físico-químicas (pH, redox, etc.).
- Definición del alcance de la contaminación en 3D.
- Definición del contexto geológico e hidrogeológico del medio.
- Identificación de los receptores y caracterización del entorno.

**Fig. 2.1 Identificación de Posibles Contaminantes**



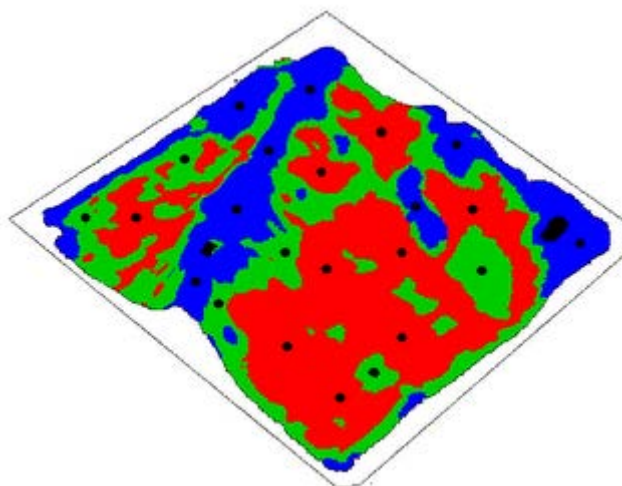
**Fig. 2.2 Instalación de Puntos de Investigación**



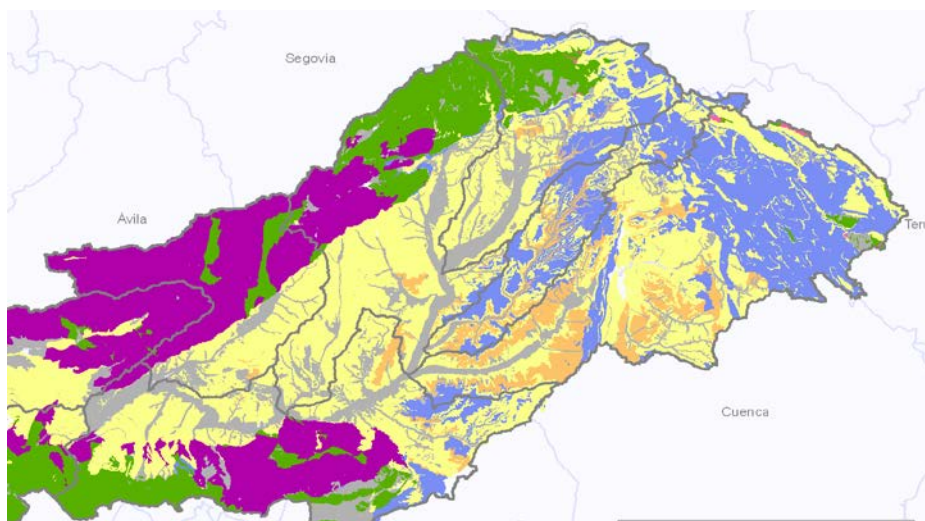
**Fig 2.3 Muestras de Suelos y Aguas Subterráneas**



**Fig 2.4 Contaminación en 3D**



**Fig 2.4 Contexto Geológico e Hidrogeológico del Medio**



## CAPITULO III

### TECNICAS DE REMEDIACION

#### 3.1 Técnicas de Descontaminación de Emplazamientos Contaminados

El origen de la contaminación de los suelos son originados por:

- Derrames y vertidos accidentales.
- Vertidos incontrolados de residuos.
- Zonas de almacenamiento de materias primas y/o residuos (ausencia de sistemas de retención, suelo no impermeabilizado).
- Tanques de almacenamiento subterráneos y superficiales.
- Fugas y pérdidas en colectores, alcantarillados, pozos de infiltración, separadores, depuradoras, etc.

**Fig. 3.1: Tanque de Almacenamiento de Crudo**



**Fig 3.2: Almacenamiento en Pozas en Superficies de Hidrocarburos**



### **3.2 Técnicas de Descontaminación Más Comunes.**

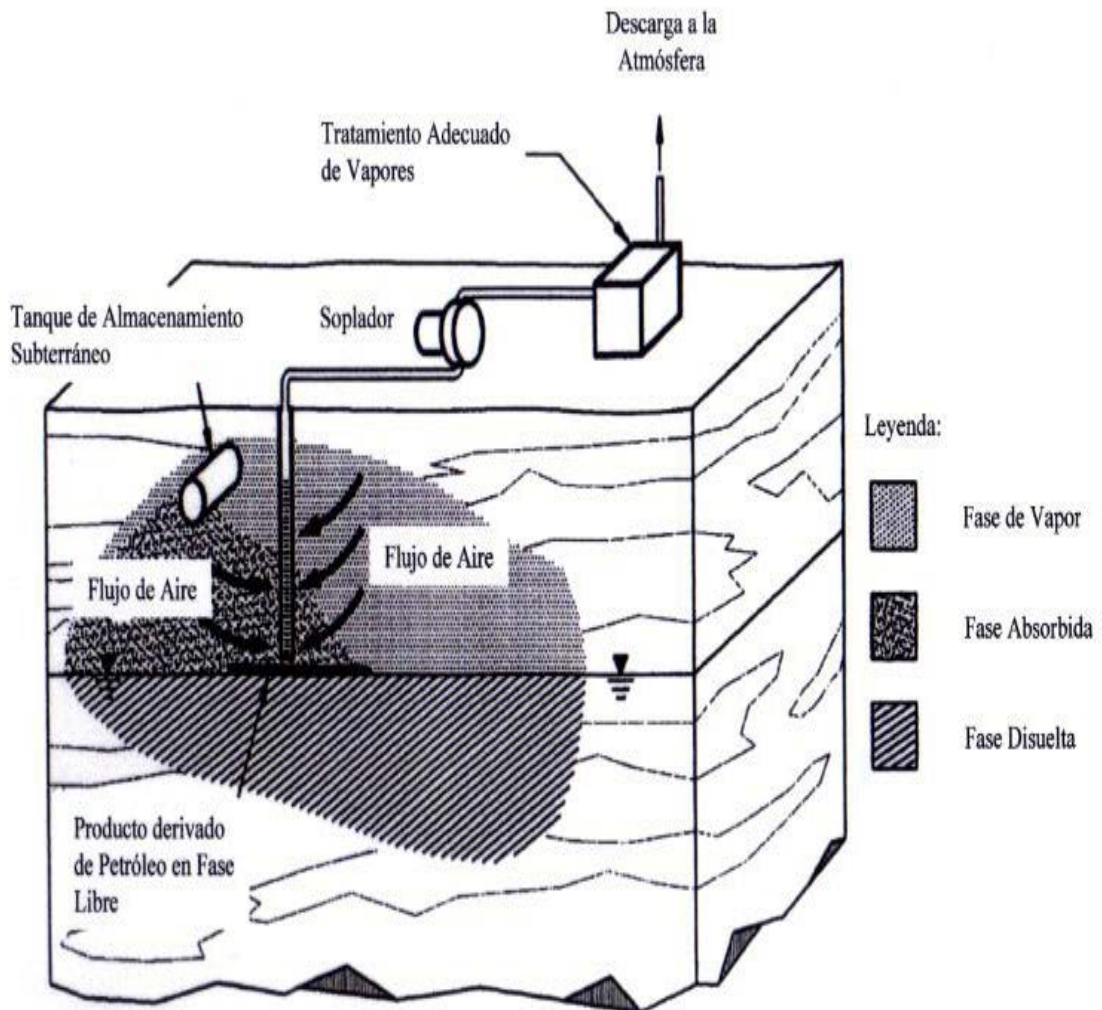
- **In situ**

#### **1. Ventilación Bajo Vacío (SVE)**

La extracción de vapor en suelo [Soil Vapor Extraction - SVE], método también conocido como ventilación del suelo o extracción al vacío, constituye una tecnología correctiva in situ que reduce las concentraciones de componentes volátiles presentes en productos derivados del petróleo adsorbidos a suelos en la zona no saturada (zona vadosa). Por medio de esta tecnología se ejerce un vacío en la matriz del suelo para crear un gradiente de presión negativa, que a su vez haga que los vapores se muevan hacia los pozos de extracción, a través de los cuales se extrae los componentes volátiles del subsuelo. Posteriormente se realiza el tratamiento y descarga de los vapores extraídos a la atmósfera o bien se los reinyecta en el subsuelo (cuando es posible).

La SVE generalmente tiene mejores resultados cuando se la aplica en productos de petróleo más livianos (más volátiles) como la gasolina.

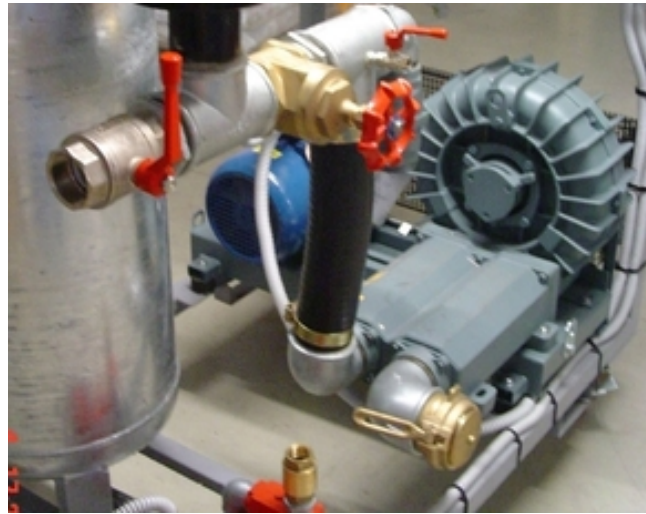
**Fig 3.3 Sistema Convencional de SVE**



## 2. Bio-Ventilación (“Bio-venting”)

Se basa en la extracción de vapores del suelo mediante una diferencia de presión generada por el bombeo de aire desde el exterior. Se aplica en suelos no saturados contaminados con hidrocarburos. Los gases generados deben ser tratados, normalmente haciéndolos pasar por filtros que contengan sustancias retendedoras adecuadas para cada gas como, por ejemplo, carbón activado. Es una técnica de bajo costo y mínimo impacto.

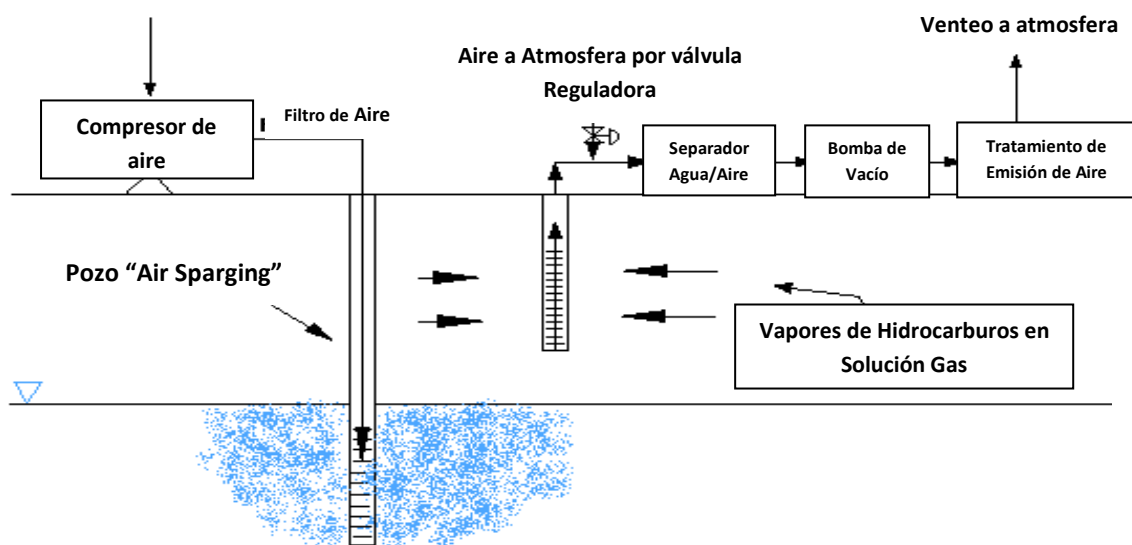
Fig 3.4 Equipo para la Bio-Ventilación



### 3. Combinación del Agua Subterránea con SVE (“Air-Sparging”)

Consiste en la remoción de contaminantes por volatilización debida a la inyección de aire. Se lo utiliza para **VOC’s** (“Volatile Organic Compounds”) y combustibles. Funciona mejor en suelos de permeabilidad media a alta. No recupera Fase Líquida No Acuosa (“**FLNA**”) y lo heterogéneo del suelo puede dejar zonas sin tratamiento adecuado. Se pueden generar vapores potencialmente peligrosos.

Fig 3.5 Sistema de “Air-Sparging”

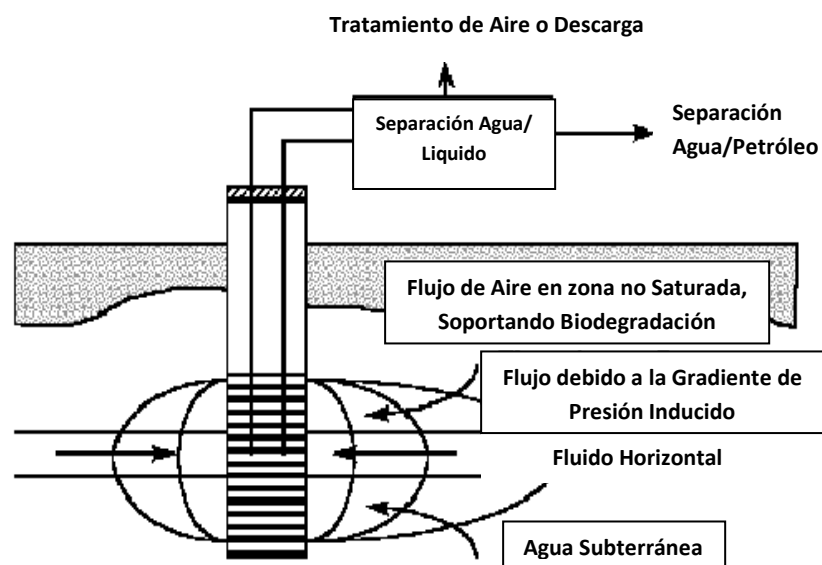


#### 4. Bio-Tratamiento de Agua In-Situ o Bioremediación

Se define como la aplicación de microorganismos seleccionados para levantar la población microbiana de un sistema operante de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad del agua o para disminuir costos de operación.

#### 5. Alto Vacío (“Bioslurping, Dual-phase Extraction”)

Es una tecnología que utiliza el vacío y la actividad de los microorganismos para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Consiste en extraer a vacío aire del suelo, favoreciendo el flujo de nuevo aire a esta zona, lo que se aprovecha para estimular la actividad de los microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. Al extraer a vacío va a salir aire y agua proveniente del acuífero o de la zona capilar, por lo que será necesario separar ambas fases para su tratamiento en la superficie. Gracias a este mecanismo pueden ser extraídos los hidrocarburos menos densos que el agua que se encuentran flotando sobre el nivel freático. Se muestra a continuación un esquema del proceso:



El “**Bioslurping**” es una tecnología rentable que combina la descontaminación de la zona no saturada con la extracción de compuestos contaminantes que se encuentran flotando en el agua subterránea. Es aplicable incluso en zonas donde el nivel freático se encuentra a más de 10 metros de profundidad.



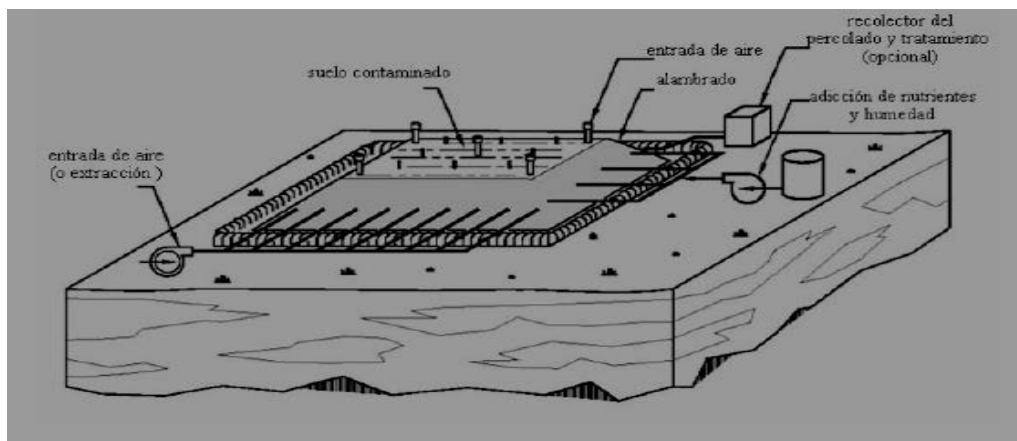
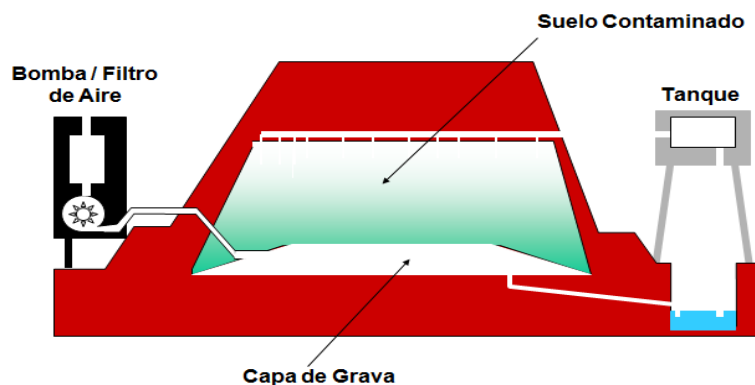
- **Ex situ**

### 1. Bio-Pilas (“Bio-Piles”)

La técnica de biopilas, también llamada Suelo Escavado, se basa en la formación de pilas no mayor de 2 metros de altura de material biodegradable, formadas por suelo contaminado y materia orgánica en condiciones favorables para el desarrollo de los procesos de biodegradación de los contaminantes. Estas pilas pueden ser aireadas de forma activa (biopilas dinámicas), volteando la pila, o de forma pasiva (biopilas estáticas), mediante tubos perforados de aireación. Se estimula la actividad microbiana por adición de nutrientes y humedad.

El sistema de biopilas alargadas es más económico y sencillo. En éstas, el material se apila sobre una plataforma en montones alargados y la aireación se realiza mediante el mezclado manual o mecánico, proceso que a su vez permite homogeneizar la temperatura. El mezclado de la pila proporciona una mayor distribución y facilita la biodegradación de los contaminantes, ya que permita la homogenización de los nutrientes, agua, aire, contaminantes y microorganismos.

**Fig 3.6 Esquema de Biopilas**



**Fig. 3.7 Excavación para la Instalación de las Biopilas**



**Fig. 3.8 Instalación de la Biopilas**



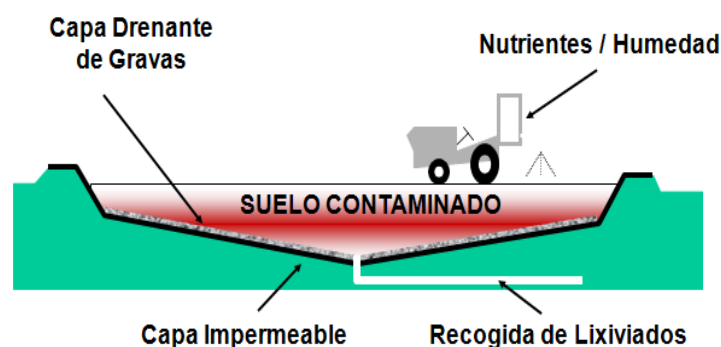
**Fig. 3.9 Operación de las Biopilas Concluida**



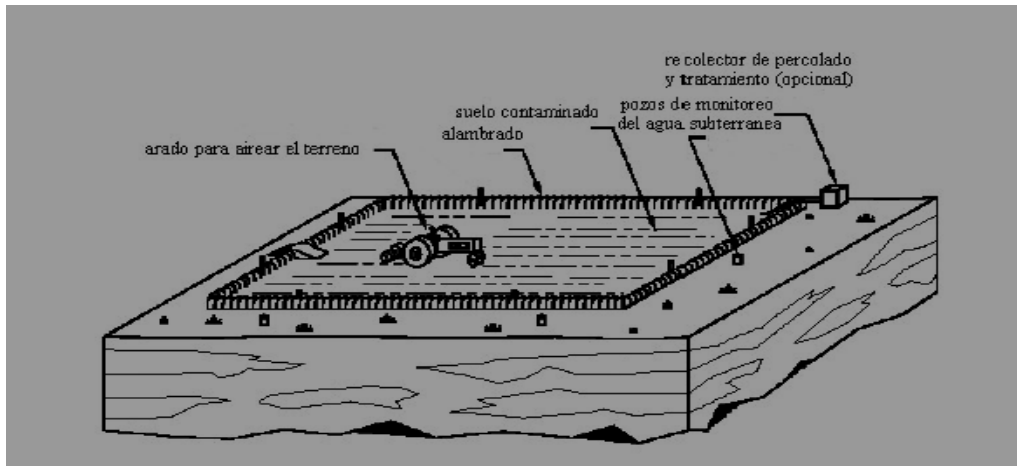
## 2. Remediación de suelos “Land-Farming”

El “Land Farming” es una tecnología de remediación de suelos. El suelo contaminado es retirado y esparcido en otro terreno, mezclado en la superficie. El terreno debe poseer buenas características de laboreo agrícola: ausencia de piedras, fácilmente removible, pH cercano a la neutralidad, facilidad de aireación y poseer un contenido adecuado de nitrógeno y fósforo. Deben tomarse precauciones respecto a la posibilidad de migración de los contaminantes hacia las capas de agua subterráneas, curso de agua superficial o zonas agrícolas y forestales. Este método reduce las concentraciones de petróleo mediante la biodegradación por diferentes microorganismos al hacer uso de la facultad de degradar sustancias orgánicas al aprovecharlas como fuente de energía.

**Fig. 3.10 Diagrama “Landfarming”**



**Nota:** La lixiviación es un proceso por el cual se extrae uno o varios estratos de terreno o capa geológica de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido.



**Fig.3.11 Preparación de la Parcela de Tratamiento**



**Fig.3.12 Arado del Material**



**Fig.3.13 Riesgo – Control de la Humedad**



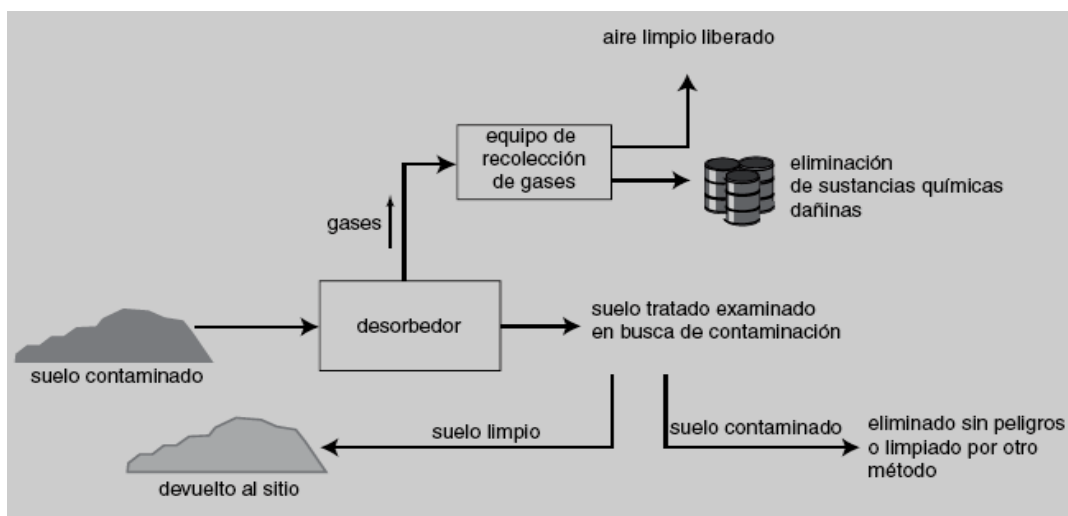
**Fig.3.14 Reposición del Suelo Tratado**



### 3. Desorción Térmica (Low-T Thermal Desorption).

Es un tratamiento ex-situ que consiste en calentar el suelo a temperaturas intermedias (250-600 °C) para evaporar los compuestos orgánicos volátiles o los metales volátiles como el mercurio (Hg).

Los gases contaminados que se generan se separan del aire limpio utilizando un equipo de recolección de gases. Los gases se convierten nuevamente en líquidos y/o materiales sólidos. Esos líquidos o sólidos contaminados se eliminan de manera segura. El polvo y las sustancias químicas dañinas se separan de los gases y se eliminan con seguridad y el suelo limpio se regresa su lugar de origen, siendo previamente rociado de agua para controlar el polvo. El esquema del proceso se presenta a continuación:



### 3.3 Técnicas de Descontaminación Menos Comunes.

- Fito-remediación: plantas absorben compuestos y se gestionan restos.
- Estabilización: se encapsula o mezcla con reactivos fijadores.
- Intercambio iónico: elimina iones nocivos en agua por otros.
- Otros: Encapsulamiento, Incineración, Tratamiento. Térmico, etc.
- Barrera Reactiva: barrera física permeable de material reactivo.
- Atenuación Natural: se potencia/controla degradación natural.

### 3.4 Técnicas de Descontaminación de Emplazamientos Contaminados.

Las técnicas de descontaminación son realizadas por los siguientes sistemas:

- Sistema de Bombeo y Tratamiento.
- Inyección de aire.
- Barreras activas y pasivas.
  - Hidráulicas.
  - Reactivas.
  - Vías de exposición.

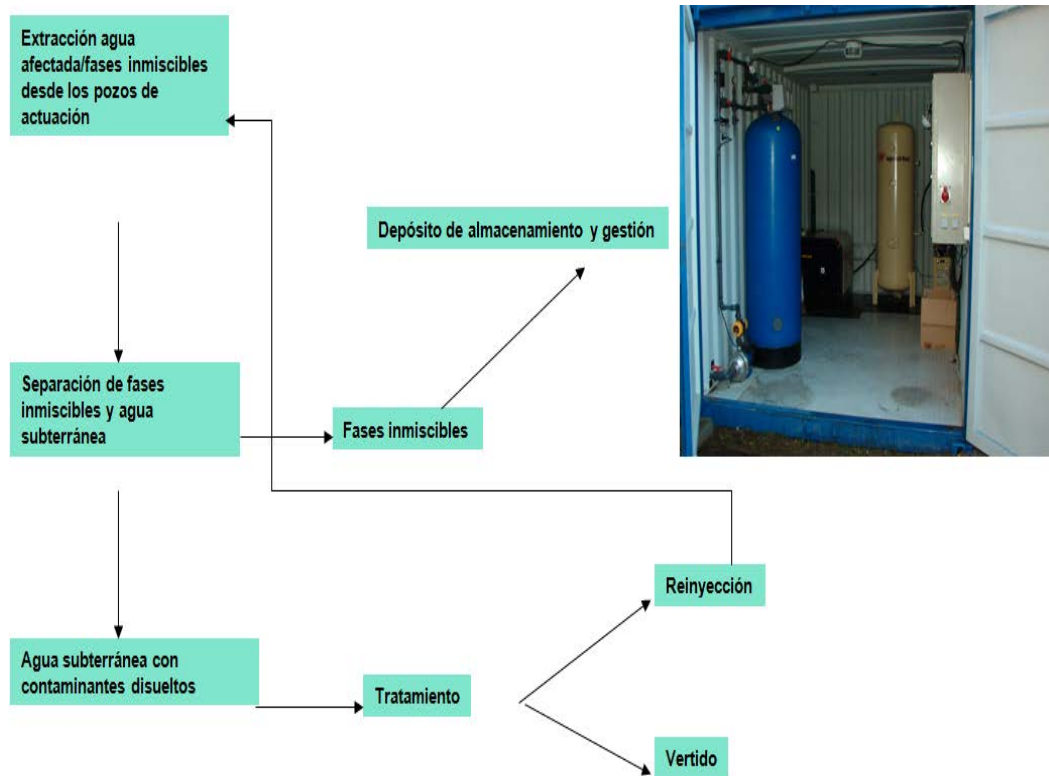
#### 3.4.1 Bombeo y Tratamiento

- Sistema para agua subterránea.
- Bombeo en pozos y tratamiento del agua contaminada en superficie.
- Tratamiento puede ser múltiple: químico, biológico, separación fase libre, stripping, carbón activo, etc.

**Fig. 3.15 Equipo de bombeo**



**Fig. 3.16 Diagrama del Bombeo y Tratamiento**



- **Pozos de Bombeo**

Los pozos de bombeo pueden ser los Pozos de Actuación, que a mayor diámetro, favorece la capacidad de extracción.

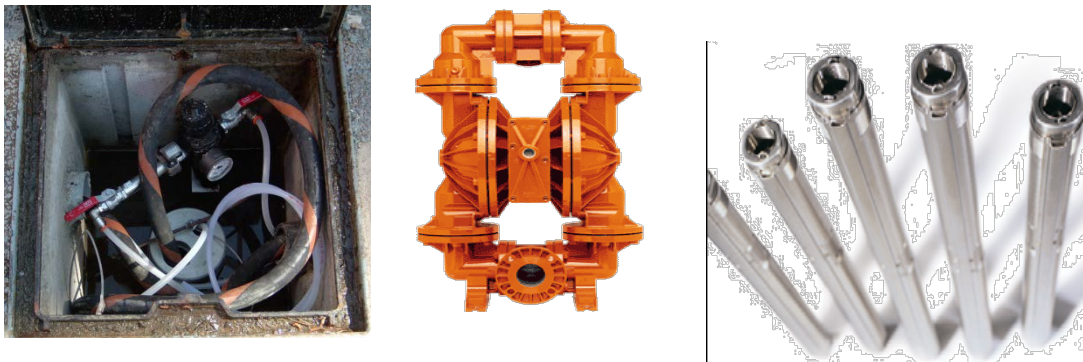
**Fig.3.17 Pozos de Actuación**



- **Criterios para elegir el Equipo de Bombeo**

- Profundidad del nivel freático
  - Profundidad de bombeo < 8 m = Aspiración (limitaciones de espacio mas grandes).
  - Profundidad > 8 m = sumergibles (limitados por el diámetro del pozo).
- Condiciones del bombeo (equipos intrínsecamente seguros).
  - Equipos neumáticos (requieren compresor).
  - Equipos eléctricos.
- Presión y caudal requeridos (curvas de la bomba).

**Fig.3.18: Herramientas de los Equipos de Bombeo**



### 3.4.2 Equipos de Tratamiento

En función del contaminante, los más habituales son: hidrocarburos y clorados. También se aplica con nitratos, etc...

Tratamiento primario: Decantación- separación.

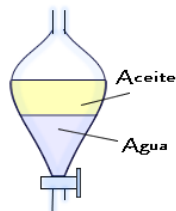
Tratamiento final: Stripping, filtros de carbón activo, ósmosis, es decir es la:

- Instrumentación con totalizadores de agua, manómetros, vacuómetros, termómetros, sondas de nivel.
- Necesidad analítica para evaluar su rendimiento y planificar su mantenimiento.



- **Tratamiento Primario: Decantación – Separación**

La decantación es un método mecánico de separación de mezclas heterogéneas, estas pueden estar formadas por un líquido y un sólido, o por dos líquidos. Los factores que rigen la velocidad de ascensión de la partícula o gota de aceite vienen dados por la ley de Stokes en flujo laminar y estable: densidad, viscosidad, diámetro de gota de aceite, etc...



$$V_S = \frac{(\delta_w - \delta_o) \times D^2 \times g}{18 \times \mu}$$

**Fig.3.19 Tratamiento Primario**



- **Tratamiento Final : “STRIPPING”**

El “stripping” por aire es un proceso de transferencia de masa que aumenta la volatilización de los componentes del agua mediante el paso de aire a través del agua, mejorándose así la transferencia entre las fases aire agua. Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs). Disolventes, etc...

**Fig.3.20 “Stripping”**



- **Filtros de Carbón Activo**

El agua, procedente del separador, debe acumularse en un depósito desde donde se bombea hasta el filtro.

El filtro lo constituye un depósito con carbón activo en el que se produce el proceso de adsorción (en superficie). El lavado del filtro se realiza de forma manual o automática cada 12 horas resultando necesario interrumpir la producción durante este tiempo.

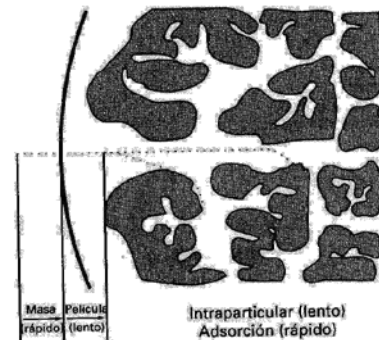


Carbón Activado



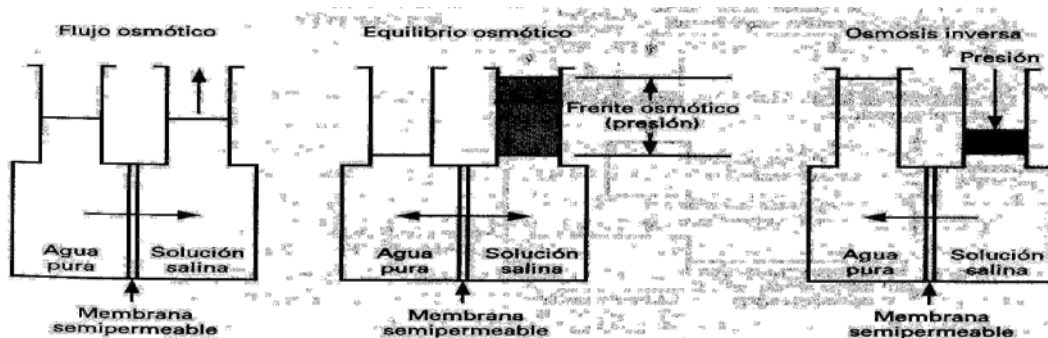
Filtro

El movimiento de una molécula orgánica en un lugar de la superficie requiere cuatro fenómenos aislados de transporte: transporte de la masa del fluido, de la película, difusión intraparticular (o poros) y el enlace físico efectivo.



- **Osmosis Inversa**

Se produce si se aplica en la solución salina una presión mecánica mucho mayor que la osmótica. Esto provoca la transferencia, a través de la membrana, del agua desde la solución salina hasta la parte de agua pura. Elimina compuestos orgánicos (98% de naftaleno).



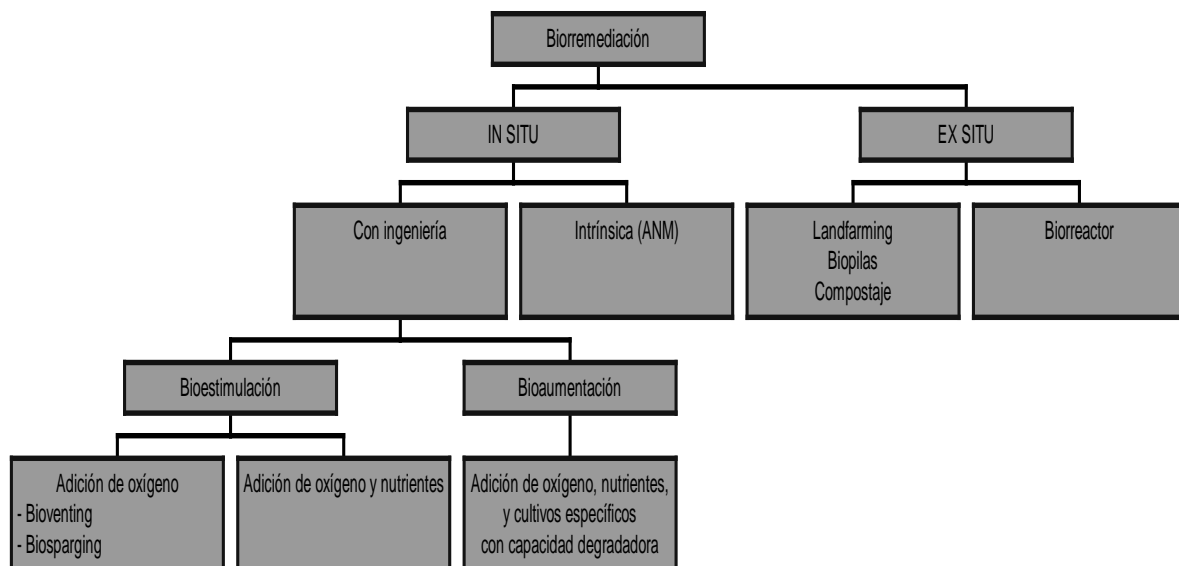
### 3.5 Clasificación General por Agresividad del Tratamiento

La remediación ha de ser un proceso dinámico. En función del riesgo, comportamiento del subsuelo y proximidad a los valores objetivo:

- Tratamientos ex o ad situ
- Remediación in-situ activa
  - Bombeo y tratamiento
  - Ventilación (SVE)
  - Alto Vacío (Bioslurping, Dual-phase Extraction)
- Remediación in-situ pasiva
  - Bio-Ventilación
  - Air Sparging
  - Fomento de los procesos de atenuación natural
  - Tratamiento químico
- Última fase: Atenuación natural/Monitorización.

### 3.6 Técnicas Emergentes

Incentivación de los procesos de atenuación natural / Bioremediación



### Atenuación Natural Monitorizada

Se basa en el aprovechamiento y potenciación los procesos naturales para eliminar o reducir la contaminación en los suelos y las aguas subterráneas. La atenuación natural tiene lugar en la mayoría de las áreas contaminadas, pero para que se produzca a ritmo suficiente como para que se pueda considerar un mecanismo efectivo de descontaminación deben darse las condiciones adecuadas en el subsuelo para que se produzca la descontaminación de forma efectiva. Se supervisan o verifican la existencia de esas condiciones para asegurarse de que funciona la atenuación natural.

- Procesos Destructivos:
  - Biodegradación (favorecida por microorganismos: oxidación, etc....).
  - Hidrólisis – Reacciones redox.
- Procesos No Destructivos
  - Dilución y Volatilización
  - Control de la fuente
  - Concentraciones bajas a moderadas
  - Puede utilizarse en conjunto con otras técnicas de remediación activa. (típicas técnicas de finalización o refinamiento)
  - Productos de transformación no pueden tener mayor problema que los contaminantes originales (cloruro de vinilo, As, Pb)
  - Diseño de un plan de contingencia

### Criterios Generales de Selección

#### Para Suelos

<b>Factores</b>	<b>In-Situ</b>	<b>Ex-Situ</b>
Plazos	Meses-años	Semanas
Molestias a actividades	Limitadas	Importantes
Eficacia	Alta (requiere control y toma de decisiones dinámica)	Alta
Profundidad de Contaminación	Sin Límite	Normalmente hasta 5 m
Tipos de contaminantes	Volátiles y degradables	Todos

## Para Agua

<b><u>Factores</u></b>	<b><u>Técnica Aplicable</u></b>
Contaminantes biodegradables	Biodegradación in-situ
Contaminantes volátiles	Aireación in-situ (air sparging)
Todo tipo de contaminante	Bombeo y Tratamiento
Riesgos para receptores fuera del emplazamiento	Barreras (física, hidráulica o reactiva)

### **3.7 Barreras Pasivas / Activas**

Las barreras verticales subterráneas se emplean para contener los contaminantes y para encauzar de nuevo la corriente de agua subterránea. Estas barreras para detener el transporte horizontal de contaminantes y la corriente de agua subterránea que se utiliza en la gestión de residuos peligrosos se han desarrollado de aplicaciones de la ingeniería tradicional tales como el abatimiento para excavaciones y el control de caudal de agua subterránea debajo de los embalses y diques. Se encuentra disponible un número de técnicas de barrera vertical inclusive muros trinchera con distintas mezclas de materiales (hechos de suelo cemento, de suelo y bentonita o de cemento y bentonita, o cal y suelo), cortinas de impermeabilización (hechas de mezclas químicas o a base de cemento), y el pilotaje de láminas de acero o de tabiques de Hormigón Armado.

En la mayoría de los casos se trata de pantallas de tipo cemento-bentonita excavadas hasta alcanzar el nivel freático. En cualquier tipo de suelo. Excepto suelos rocosos. Con límite de profundidad hasta unos 15-20 m. Se requiere estudiar la potencial alteración de las características de la pantalla en función del contaminante.

Fig.3.21 Pantallas de tipo Cemento-bentonita

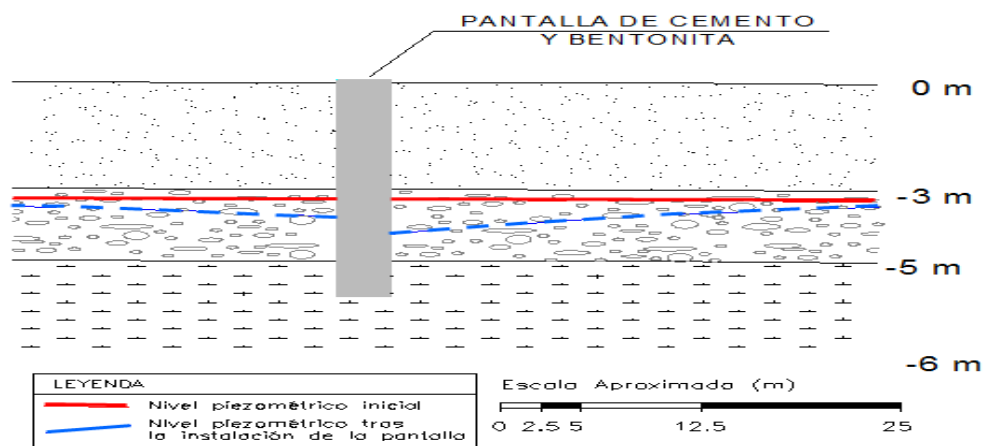


Fig.3.22 Pozos de Bombeo



Fig.3.23 Control de Parámetros de Lechada

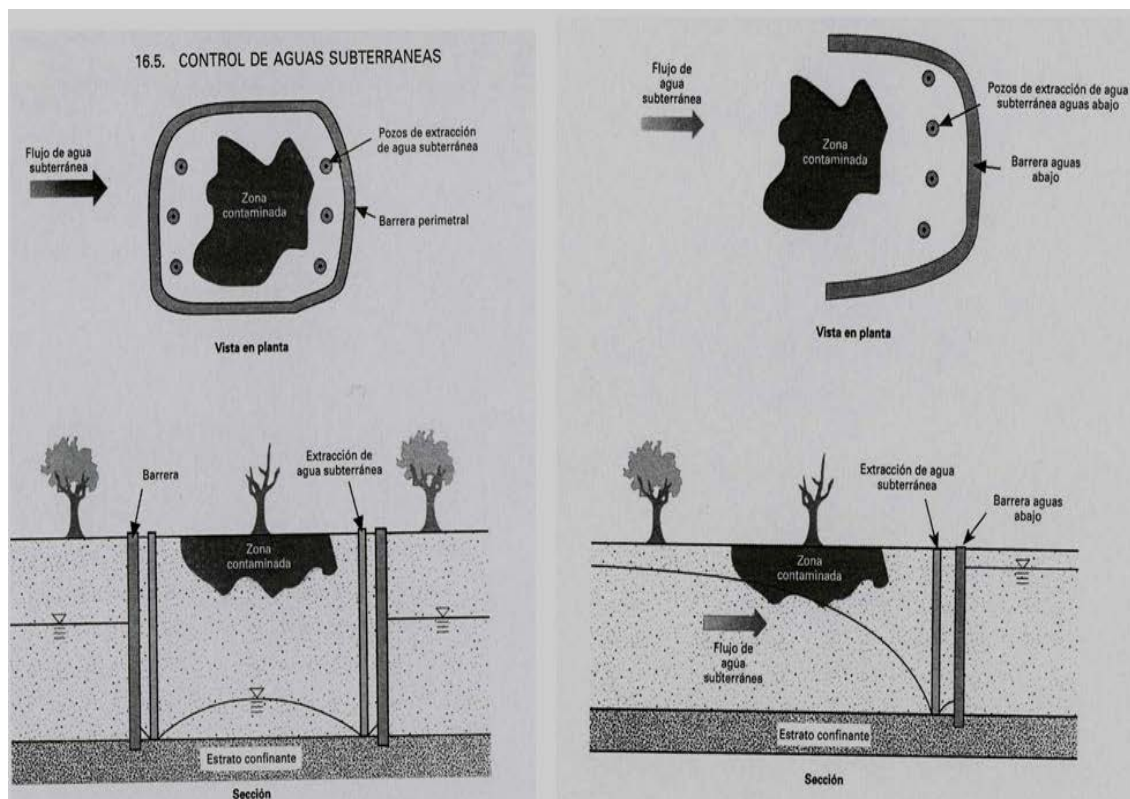


La función más común de una barrera vertical en un sistema de remediación no es contener sino más bien impedir el ingreso de flujo del agua subterránea limpia al área. Cuando cumplen esta función, las barreras verticales se utilizan comúnmente en forma conjunta con los sistemas de tratamiento y extracción de agua subterránea. En esta aplicación, se extrae el agua subterránea desde

dentro del volumen de suelo y agua circundado por el muro trinchera y se envía a tratamiento como se muestra en la Figura 1.

Los muros trinchera de barrera vertical pueden ubicarse también aguas arriba o aguas abajo del área, dependiendo de la función que se le quiera dar a la barrera. El propósito principal de un muro trinchera de barrera vertical aguas arriba es proporcionar un límite que controle la afluencia de la corriente de agua subterránea limpia proveniente de las regiones cuesta arriba. Cuando se lo utiliza conjuntamente con un sistema de bombeo ubicado en la zona aguas abajo (y sin ninguna barrera vertical sobre la zona aguas abajo del área), el retiro de agua subterránea puede recuperar los contaminantes que habían migrado aguas abajo del predio. De este modo, los contaminantes que han migrado fuera de los límites del predio en forma previa y no controlada, pueden ser capturados y regresados al programa de tratamiento de contaminantes del predio, con lo cual se remedian volúmenes más amplios que los propios del predio (Figura 2).

**Fig.3.24 Diagramas de Control de Aguas Subterráneas**



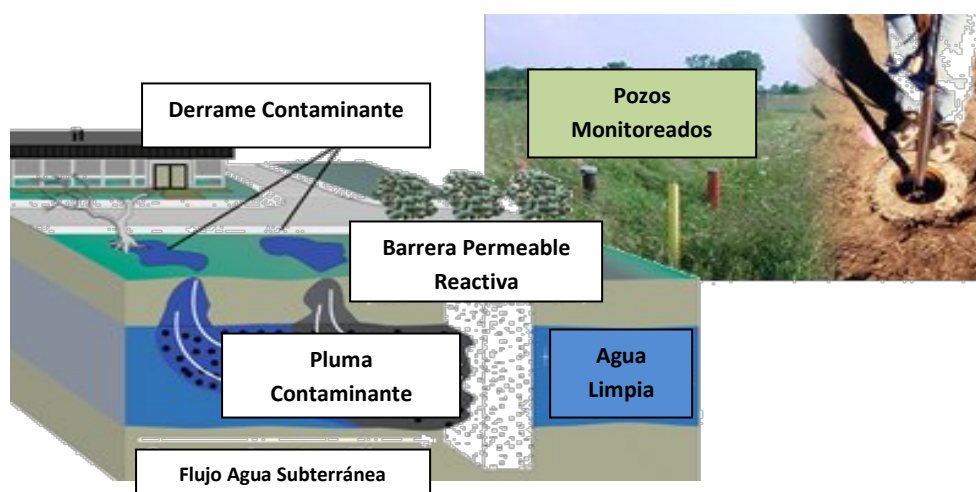
**Fig.1**

**Fig.2**

**Las Barreras Reactivas Permeables (PBR):** Constituyen una técnica in situ de descontaminación que consiste en la intercepción del paso del agua subterránea para eliminar los contaminantes presentes en ella mediante procesos físicos, químicos o biológicos. Se trata de un sistema reactivo completado por un sistema adicional que conduce el flujo de agua hacia la barrera. se construyen excavando una zanja larga y estrecha en el camino de las aguas subterráneas contaminadas. La zanja se llena de material reactivo capaz de transformar los compuestos químicos en el acuífero. Entre los materiales reactivos más corrientes que pueden emplearse están el hierro, la piedra caliza y el carbono. El sistema de conducción del flujo de agua hacia la barrera es empleado sobre todo en aquellos casos en que las dimensiones del penacho contaminante hacen económicamente inviable la utilización de una única barrera. A este sistema se le conoce como embudo-puerta y puede consistir en paredes impermeables situadas en la parte inferior y superior de la barrera reactiva, que obligan al agua a pasar por ella.

Las barreras carecen de partes móviles, equipamiento y ruido. Los materiales reactivos que se sitúan en las zanjas no perjudican las aguas subterráneas ni a las personas. Su funcionamiento es óptimo en suelos arenosos poco compactados con flujo sostenido de aguas subterráneas y la contaminación no debe encontrarse por debajo de los 15 metros de profundidad.

**Fig. 3.25 Pluma de Agua con Contaminantes Disueltos**





Los procesos que pueden tener lugar en una **barrera reactiva** se agrupan en:

- La adsorción mediante carbón.
- Control y cambio de pH. Formación de complejos fácilmente precipitables (con piedra caliza).
- La reducción de los compuestos químicos en otros menos tóxicos (con hierro)
- La estimulación de los microorganismos existentes en el suelo, para acelerar los procesos naturales de oxidación de la materia orgánica.

## CAPITULO IV

### SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE REMEDIACIÓN

Según el modo de aplicación de las técnicas, la remediación puede ser:

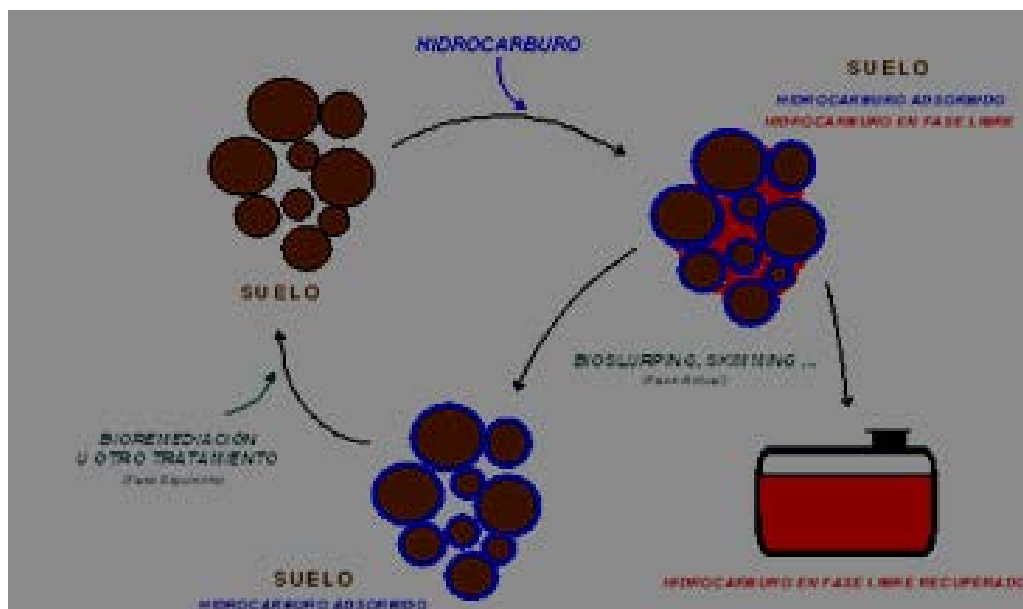
- **In Situ:** si se realiza el tratamiento en el lugar donde se encuentra la contaminación.
- **Ex Situ:** si se realiza el tratamiento en una instalación fuera del lugar donde se encuentra la contaminación.

De acuerdo al lugar se desarrollaran las técnicas de remediación óptimas para cada caso, la siguiente etapa consiste en aplicar dichas técnicas a pequeña escala.

#### Objetivos:

Valorar / Confirmar la técnica de remediación.

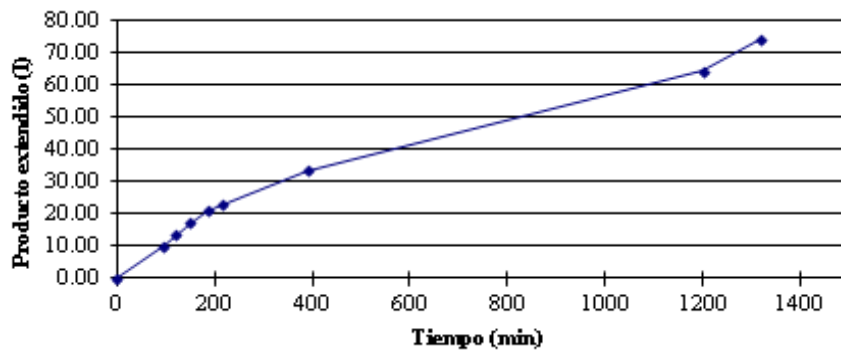
Dimensionar el proyecto



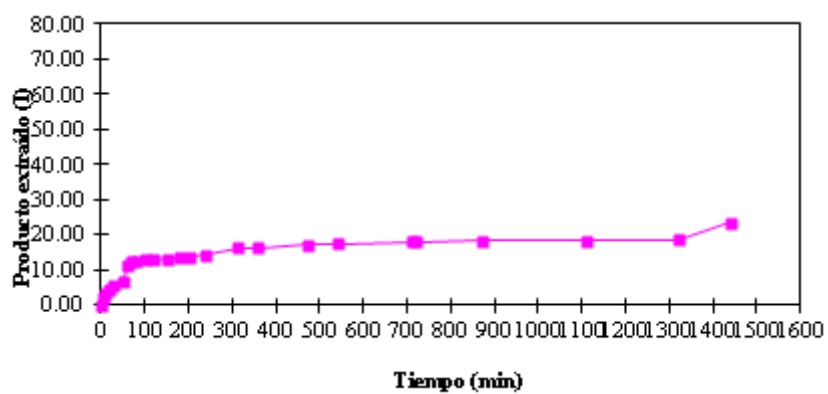
**Fig. 4.1 Herramientas para ser Utilizadas**



**Fig. 4.2 Ventilación, Extracción de producto**



**Fig.3.3 Extracción de Petróleo**



**Fig 4.4 Ventajas y Desventajas de los Métodos de Remediación Clasificadas de Acuerdo a su Aplicación In Situ y Ex Situ.**

	In Situ	Ex Situ
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Permite tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar.</li> <li>☞ Potencial disminución en costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Menor tiempo de tratamiento.</li> <li>☞ Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogenizar y muestrear periódicamente.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Mayores tiempos de tratamiento.</li> <li>☞ Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo.</li> <li>☞ Dificultad para verificar la eficacia del proceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Necesidad de excavar el suelo.</li> <li>☞ Aumento de costos e ingeniería para equipos.</li> <li>☞ Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante.</li> </ul>

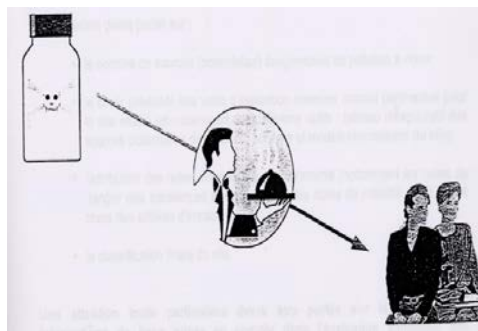
## CAPITULO V

### ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS

El análisis de riesgos es una herramienta numérica que permite simular el comportamiento de los contaminantes en el medio y, con ello, establecer las potenciales situaciones de riesgo para la salud humana y los ecosistemas derivados de la exposición a los mismos.

Una situación de riesgo existe si simultáneamente se combinan tres factores:

- Fuente de contaminación;
- Mecanismo de transporte; y
- Receptores sensibles.



#### 5.1 Metodologías

Hay muchas tecnologías para aplicar el análisis de riesgo, pero nombraremos algunos de ellos:

- U.S. EPA (1989) Risk Assessment Guidance for Superfund.
- Concawe (1997) European Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of Contaminated Sites.
- IHOBE(1998) Investigación de la Contaminación del Suelo. Guía Metodológica. Análisis de Riesgos para la Salud Humana y los Ecosistemas.
- Junta de Residus (1998) Guia d'avaluació de la qualitat del sòl: Avaluació simplificada de risc.

#### Procedimiento

Genéricamente la metodología del análisis de riesgos conlleva a:

- Desarrollar un detallado del modelo conceptual;
- Identificación de contaminantes con posible incidencia medioambiental
- Análisis de la toxicidad de la contaminación identificada;

- Análisis de la exposición de los receptores a la contaminación; y
- La valoración cuantitativa del riesgo.

## **5.2 Modelo Conceptual**

Podemos definir estas características:

- Definición del problema objeto de estudio;
- Caracterización detallada del medio;
- Evaluación de los receptores sensibles; y
- Valoración de las rutas de exposición.

### **5.2.1 Caracterización Detallada del Medio**

#### **Medio Físico:**

- Suelo
- Agua (superficial y subterránea)
- Flora
- Fauna
- Climatología

#### **Fuentes de Contaminación:**

- Medio físico afectado
- Distribución espacial de la contaminación.
- Tipo y concentración de contaminantes.
- Propiedades físicas, químicas, toxicológicas de los contaminantes.
- Tipo e intensidad de los estresores físicos, químicos y biológicos.

### **5.2.2 Identificación de los Receptores Sensibles**

- Población
- Ecosistemas terrestres.
- Ecosistemas Acuáticos
- Explotaciones agrarias

### 5.2.3 Identificación de las rutas exposición

#### Ecosistemas

- Contacto directo con el suelo a través de la cadena alimentaria.

#### Salud Humana

- Inhalación de vapores
- Inhalación de polvo
- Ingestión de suelo y/o agua.
- Contacto dérmico con el suelo/agua
- Ingestión de alimentos.

Fig. 5.1 Escenarios de Exposición y Metodologías de Cálculos

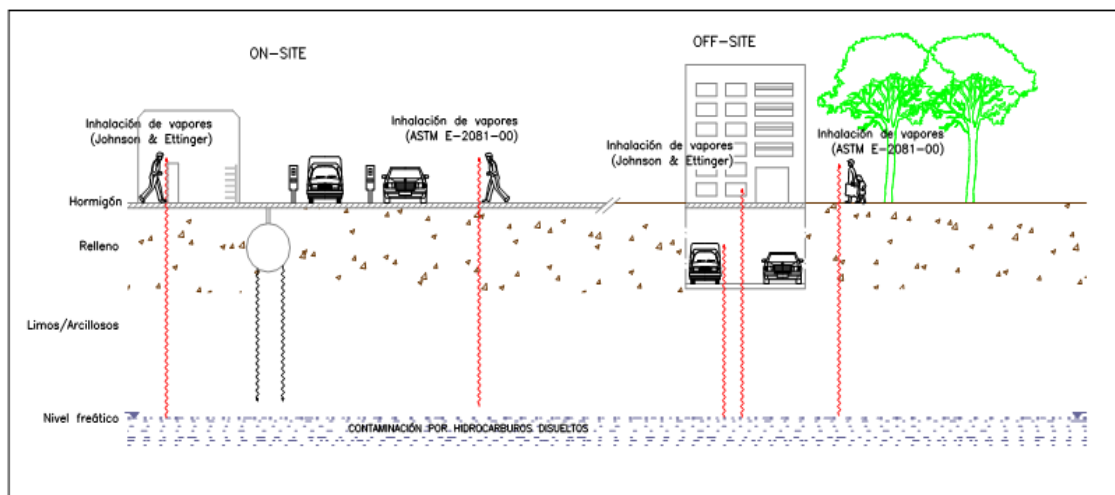
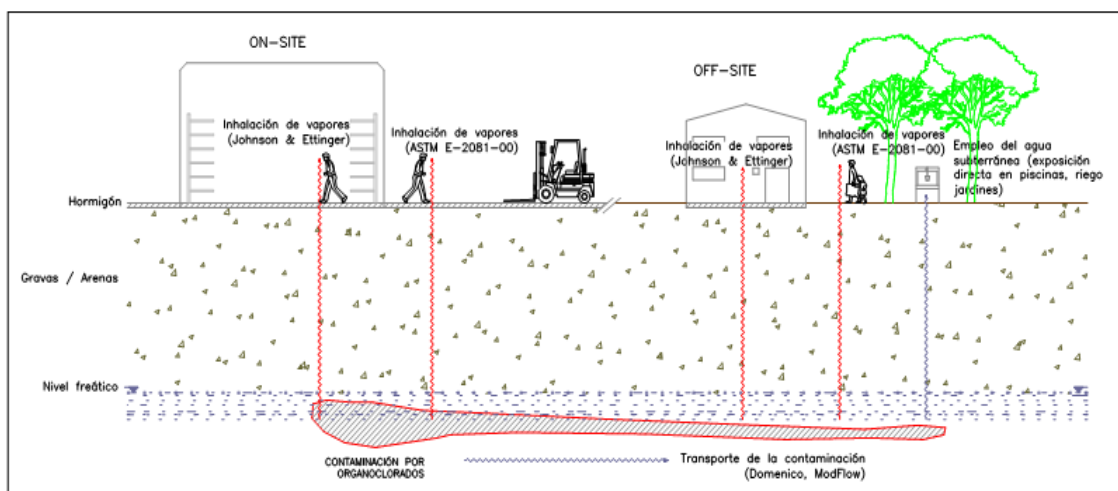


Fig.5.2 Identificación de Contaminantes con Posible Incidencia Medioambiental



### 5.3 Análisis de la Toxicidad

Identificación del peligro asociado a la interacción contaminante/receptor y establecimiento de valores dosis-respuesta para cada compuesto identificado.

Tomando como Bases los datos internacionales de:

O.M.S. (Organismo Mundial de la Salud).

U.S. EPA:

- **IRIS** (Sistema de Información Integrada de Riesgos),
- **HEAST** (Health Effects Assessment Summary Tables).

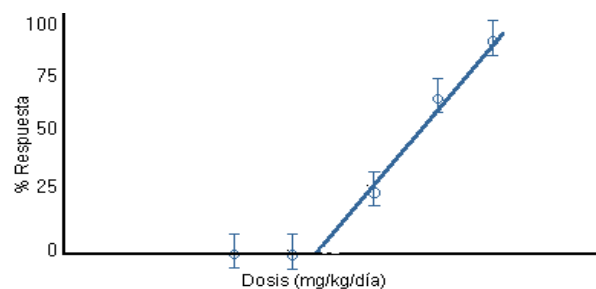
OTRAS:

- **ATSDR** (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades),
- **OEHHA** (Oficina de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente).

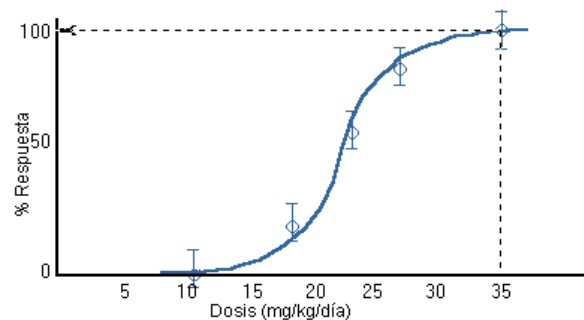
**Fig.5.3 Interpretación del Análisis de Toxicidad**



**Fig 5.4 Análisis de Toxicidad: Compuesto Cancerígeno**



**Fig.5.5 Análisis de Toxicidad: Compuesto No Cancerígeno**





## 5.4 Análisis de la Exposición

El análisis de la exposición tiene por objeto estimar el tipo y magnitud de la exposición a los contaminantes, tanto en el emplazamiento como en el área de influencia del mismo, afectado a través de la dispersión.

El análisis de la exposición requiere de una caracterización de:

- Las poblaciones expuestas;
- Los medios y rutas de exposición; y
- La duración y frecuencia de exposición para cada ruta.



## 5.5 Valoración Cuantitativa de Riesgo

Se integra el análisis de toxicidad y el análisis de la exposición. Debido a que la valoración del riesgo difiere en función de la naturaleza toxicológica del compuesto objeto de estudio (cancerígeno o no cancerígeno).

### Compuestos No Cancerígenos

El potencial de un efecto por exposición a compuestos no cancerígenos se evalúa por comparación de los niveles de exposición a lo largo de un periodo de tiempo específico (ej. esperanza de vida, la duración de la exposición, etc.) con la dosis de referencia derivada para un periodo de tiempo equivalente.

$$Riesgo_i = \frac{Dosis}{Dosis\ Referencia}$$

El riesgo por exposición a compuestos no cancerígenos asume que existe un nivel de exposición por debajo del cual es poco probable, incluso para poblaciones muy sensibles, experimentar efectos de salud adversos. Así, si el nivel de exposición o la dosis supera este límite (ej. si  $D/RfD > 1$ ), podrían darse efectos adversos por exposición a agentes no cancerígenos.

## Compuestos Cancerígenos

El riesgo se estima como el incremento de la probabilidad que tiene un individuo de desarrollar un cáncer a lo largo de su vida y como resultado de una exposición a compuestos cancerígenos.

$$Riesgo_i = Dosis \times Factor \text{ Pendiente} < 10^{-4}; 10^{-6}$$

En un rango de concentraciones bajo (típicamente las presentes en el medio ambiente comparadas con las concentraciones a que se exponen los animales de testeo) se puede asumir que la relación dosis-respuesta es lineal.

Bajo esta hipótesis, el factor pendiente es una constante y el riesgo será directamente proporcional a la dosis.

## 5.6 Gestión del Riesgo

Hay una intersección entre el análisis de riesgos y gestión de riesgos, que es la valoración cuantitativa del riesgo.



## CAPITULO VI

### TRANSFERENCIA DE CONTINGENCIA Y PASIVOS

#### 6.1 Opciones de Clausura

Las opciones de clausura pueden entre otras, las siguientes:

- **Transferencia de Actividad:**
  - Sin demolición /desmantelamiento.
  - Sin remediación.
  - Sin retirada de licencia ambiental.
- **Venta de la parcela-Transferencia del Pasivo**
  - Demolición/desmantelamiento.
  - Sin remediación.
  - Retirada de la licencia ambiental.
- **Maximización del valor del terreno**
  - Demolición /desmantelamiento.
  - Remediación.
  - Retirada de la licencia ambiental.
  - Participación en el desarrollo.

#### 6.2 Opciones de venta -Transferencia de Pasivo

- Conocer la contaminación histórica (Investigación de cierre).
- Negociación del pasivo en el contrato de compra-venta.
- Conocer al comprador.
- Considerar la eliminación del pasivo antes de vender (él que contamina paga”).

#### Maximización del valor del Terreno

Remediación, desmantelamiento y demolición.

Influencia en los planes locales de desarrollo/planificación.

Trabajar con el promotor.

Cambio de uso, en este caso se debe considerar:

- Riesgos adicionales.
- Beneficios.
- Balance económico.

### **6.3 Aspectos adicionales a considerar**

#### **Transferencias de actividad:**

- Asegurar la integridad de los sistemas.
- Retirada de materiales y/o residuos.
- Asegurar la seguridad de la instalación.

#### **Clausura**

- Retirada de residuos de tanques, tuberías, fosas, etc.
- Pozos.
- Retirada de equipos y materiales.
- Controles durante la retirada:
  - Gestión adecuada de materiales.

### **6.4 Demolición / desmantelamiento**

Puede generar riesgo ambiental y de seguridad. Hay que considerar

- Inventariado.
- Controles.
- Plan de vigilancia ambiental y de trabajo.
- Permisos, licencias, subcontratistas especializados.
- Identificación de otros materiales peligrosos.
- Correcta gestión de residuos.
- Reciclado de "chatarra".
- "Inertización" de estructuras subterráneas.

### **6.5 Planificación de los trabajos de descontaminación y demolición**

- Requiere tiempo.
- Licencia ambiental.
- Proyectos.
- Licencias plantas móviles.
- Permisos municipales, de vertido, etc.
- Procesos de selección de contratistas.
- Negociación con las Administraciones:
  - Objetivos de Remediación.
  - Estrategia de Remediación.

## **6.6 Metodología técnica / Fases**

- Puede durar desde meses a años.
- Fase I, evaluación preliminar de pasivos.
- Fase II, investigación preliminar.
- Fase III, investigación detallada.
- Análisis Cuantitativo de Riesgos.
- Definición de valores objetivo de remediación.
- Investigación Pre-Remediación, delineación.
- Estudios de factibilidad.
- Proyecto de Remediación-Desmantelamiento/Demolición.
- Negociación de la estrategia de remediación con la Administración.
- Permisos/licencias.
- Proceso de selección de contratistas.
- Implementación.

## **6.7 Análisis de la Estrategia de salida – Caso real**

### **Análisis histórico del emplazamiento:**

- Varios propietarios industriales (1976 – 2005).
- El cliente: 1996 – 2002.

### **Impacto por disolventes clorados:**

- Suelos (sistema de drenaje industrial).
- Aguas.
- Receptores sensibles (pozos uso potable y riego).

### **Equipo de trabajo multidisciplinar**

- Legal.
- Relaciones públicas.
- Consultor.

## 6.8 Análisis de las Partes Interesadas (stakeholders)

Stakeholder	Objetivo	Estrategia de gestión
Agencia de Residuos	Preservación de la calidad del suelo	Negociación de una estrategia basada en riesgo Retirada de focos
Servicio de aguas	Preservación de la Calidad del Agua	Negociación de una estrategia basada en riesgo. Limitación de impacto a receptores.
Ayuntamiento	Uso y planificación del terreno Permisos (demolición, movimiento de tierras)	Negociación proactiva Solicitud de ayuda con receptores Participación en desarrollo

Stakeholder – Parte interesada	Objetivo	Estrategia de gestión
Actual propietario del emplazamiento	Propietario desde 2002 Planea vender el emplazamiento sin ningún coste adicional	Información - Comunicación Realizar la remediación antes de la venta a un tercero
Vecinos – Usuarios del agua subterránea	Continuar usando el agua subterránea No disminución del valor de sus parcelas	Plan de cierre de pozos, evitando riesgos ahora y en el futuro. Compensaciones Conexiones a red municipal Plan de comunicación
Potencial comprador	Evitar pasivos derivados del uso histórico Acceso rápido al emplazamiento	Negociación de un plan de actuación compatible con la promoción del emplazamiento Transferencia de pasivos

## 6.9 Análisis de Riesgos asociados a la Propiedad

### Marco legal

No hay un marco para definir “contaminado”  
Las administraciones “opinan” y son informadas  
Evolución futura en la legislación

### Propiedad del terreno

- Propiedad de un tercero desde 2002
- El cliente es responsable contractual del pasivo (uso industrial)
- El propietario intenta vender desde 2005, sin éxito

## Análisis de los Riesgos Técnicos

Descripción		Riesgo			
Fuente	Contaminante	Riesgo	Para?	Probabilidad	Impacto
Suelos	CHC	Suelos inaccesibles si no hay demolición previa	Receptores futuros	Moderada	Remediación complementaria (costes no previstos) Evolución legal
Aguas	CHC	Impacto profundo	Usuarios	Moderado	Incremento insostenible en costes de remediación Daño a la imagen Corporativa

## Principales riesgos y medidas de mitigación

Riesgo	Plan de acción
Requerimientos Administrativos	Negociación continua Aplicación de estándares y metodologías internacionales reconocidas
Aceptación de los trabajos de remediación	Hacer participe a la Administración
Acceso a la parcela	Negociación con la administración Contractual / legal Limitación de receptores
Usos del agua subterránea aguas abajo	Compensaciones Negociación con la administración Plan de comunicación
Impacto al agua subterránea profunda	Modelización / MNA Negociación con la administración
El emplazamiento se vende y el pasivo sigue con el cliente	Planificación del timing de la remediación (situación a evitar)

## Estrategia Final

		Plan de acción
Técnica	Suelos	Retirada y gestión de focos (en vertedero)
	Aguas Subterráneas	Tratamiento mediante ZVI in situ. No se requiere reinyección a corto plazo Plan de cierre de pozos. Restricción de uso del agua en la zona afectada Sin actuación en las aguas subterráneas profundas. Sin plan de monitorización a largo plazo
	Riesgos	Una vez que se han controlado los riesgos, reducción del impacto a largo plazo
Administración	Administración	Información continua Implicación de la Administración en la toma de decisiones

Nota: La tecnología en base a hierro cero valente (ZVI), sirve para eliminar de trazas de contaminantes orgánicos, así como la eliminación de Astató y especies metálicas.

### En la fase de implementación.

- Gestión apropiada de los riesgos
- Actualización de balances y cashflow mensuales
- Evitando contingencias y sorpresas.



## CAPITULO VII

### EVALUACION Y OPCIONES DE SALIDA

#### 7.1 Procesos de cese de actividad y clausura

Riesgo emergente con impactos potenciales:

- Ambientales
- Sociales
- De seguridad & Salud y
- Financieros

Comienza a ser motivo de regulación (Anexo IPPC) desde la fase de la gestión para adquirir el permiso en algunos sectores:

- Minería
- Petróleo y Gas

#### **La Ley de prevención y control integrados de la contaminación (IPPC) del 2002**

Esta normativa, persigue la prevención y la reducción integradas de la contaminación. Así, las empresas están obligadas a prevenir y limitar sus emisiones contaminantes al agua, al aire y al suelo de forma integrada. Según esta Ley, el control de las emisiones industriales pasa a ser competencia exclusiva autonómica.

La característica esencial que diferencia la IPPC del resto de normas ambientales aprobadas con anterioridad en el seno de la Unión Europea es que tiene como finalidad la protección del medio ambiente desde un enfoque integrado (es decir, considerando todos los efectos sobre el medio ambiente en su conjunto, aire, agua y suelo) y no sectorial, es decir tiene en cuenta los posibles efectos transfronterizos de la emisión de contaminantes.

### **Las condiciones ambientales que deben respetarse**

- La aplicación de todas las medidas adecuadas de lucha contra la contaminación y, en particular, el recurso a las mejores técnicas disponibles (las que generan menos residuos, utilizan las sustancias menos peligrosas, posibilitan la recuperación y el reciclado de las sustancias emitidas, etc.);
- La prevención de toda contaminación es importante;
- La prevención, el reciclado o la eliminación menos contaminante posible de los residuos;
- La utilización eficaz de la energía;
- La prevención de los accidentes y la limitación de sus consecuencias;
- La adopción de medidas para que, al cesar las actividades, el lugar de la explotación vuelva a quedar en un estado satisfactorio.

Por lo que la necesidad de asegurar que las operaciones no generan contingencias y que los costes del post-cierre están integrados en la operación:

- Provisión de costes y de aspectos legales.
- Integrar provisiones cierre en resultados operativos.

### **7-2 Tendencias en procesos de cese de actividad**

Integrar su planificación desde el principio de cualquier proyecto/operación:

- Desde la fase de diseño (todas las fases de operación, cierre y post-cierre).

La planificación temprana de clausura permite:

- Identificar y gestionar expectativas de stakeholders (las partes interesadas):
  - Empleados, comunidades y autoridades.
- Identificar el coste financiero:
  - Creciente demanda de financiación a perpetuidad (efluentes, vertederos y monitorización).
- Minimizar el riesgo de contaminación inducida por la "operación" (descontaminación).

### 7.3 Transferencia de contingencias y pasivos ambientales

Decisión de cese de actividad o clausura:

- Por venta o reclasificación de terreno.

Provisión de los costes del cierre

- Obligaciones de los permisos.
- Ley de suelos.
- Costes a perpetuidad.

### 7.4 Etapas típicas del proceso de clausura/cese de actividad



Auditorías Fase I y Fase II: Comprenden obligaciones legales para evitar pasivos y maximizar el valor del activo.

### 7.5 Cuantificación de pasivos y contingencias

#### Auditoría Fase I:

- Identificación de pasivos reales y potenciales.
- Umbral de materialidad.
  - Define responsabilidades.
  - Determina soluciones técnicas, financieras y jurídicas.
  - Identificar presupuesto de inversión.
  - Tiene en cuenta a todas las partes interesadas (autoridades, bancos, inversores).

- Identificación de riesgos para negociar garantías adecuadas o póliza de seguro.
- Fortalece la posición del vendedor durante las negociaciones (costes vs riesgos) Componente esencial de buena gestión de riesgos del negocio.

#### **Alcance de la Auditoria:**

- Información del entorno geológico e hidrogeológico, espacios protegidos.
- Información usos históricos del terreno y vecinos.
- Diagnósticos reglamentarios (cumplimiento de requisitos legales y condiciones de permisos) (datos del lugar).
- Análisis de documentación relevante.
- Inspección áreas de interés.
- Riesgos naturales (inundación, sísmicos).
- Acuerdo de confidencialidad.
- Recogida y selección de información relevante a divulgar
- Preparación del data room.
- Identificación de los riesgos/incumplimientos para resolver deficiencias menores (ganancia anticipada) y fortalecer posición negociadora.
- Conjunto de informaciones, documentos sobre persona la situación a fecha de cese de actividad (ejemplo: suelos).

#### **7.6 Enfoque de ERM (Environmental Resources Management) para cuantificación de pasivos**

- Presupuestos de la dirección del emplazamiento.
- Costes según distintos escenarios:
  - Caso más Probable (CMP).
  - Caso más Razonable en Peor escenario (CMRP).
- Análisis de Montecarlo.
- Ajustar costes.
- Para cada asunto material se estiman los costes:
  - CMP: Coste más probable para cumplimiento de compromisos legales/descontaminación basado en experiencia de ERM.

- CMRP: Asume requisitos de investigación/descontaminación adicional por incertidumbre en la extensión e impacto de contaminación y en demanda de la autoridad.
- Suposiciones del coste:
  - Similar uso futuro del terreno.
  - Descontaminación dentro de emplazamiento.
- **Fase II: Investigación**
  - Contaminación conocida afectada precio de venta y reduce riesgo financiero.
- Análisis cuantitativo de riesgos.
- Negociación con las autoridades.
- Plan de clausura/abandono: descontaminación y desmantelamiento.
- Estrategia de salida.

#### **Auditoría Fase II:**

- Cuantificación de pasivos/contingencias ocultos (suelos, aguas subterráneas).

#### **Auditoría Fase II: Investigación en el Emplazamiento**

Investigación racional dirigida, derivada de hallazgos de fase I y consideraciones del plan de clausura:

- Discusión del alcance según el uso futuro/requisitos legales.
- Investigación con red de muestreo (sondeos suelos y aguas subterráneas) en función de áreas identificadas.
- Permite:
  - Definir alcance y tipo de contaminación.
  - No determina riesgo.
  - Enfocada a identificar y valorar la tecnología más costo/eficiente de descontaminación.

## 7.7 Transferencias de Contingencias y pasivos Ambientales

Es posible transferir las contingencias y pasivos identificados?

**SI**, si en el Contrato de Compra/Riesgo Financiero (Garantías requeridas por comprador, indemnizaciones, seguro) queda estipulado las posibles contingencias y/o pasivos.

**NO**, si se reduce y/o elimina los pasivos y riesgos.

(Programa de descontaminación, póliza de seguro ambiental: Daños durante descontaminación/demolición).

### Transferencia de contingencias y pasivos ambientales – contrato de venta

SI continúa la misma actividad se tendrá:

- Garantía requerida por comprador.
  - % precio retenido a plazo
  - Aval de la compañía matriz
- Declaración de situación cero del vendedor.
  - Indemnización por incumplimiento
- Negociación: marco temporal y económico para reclamar, compartir costes futuros, transferencia de compromisos legales

Cambio de uso-reclasificación:

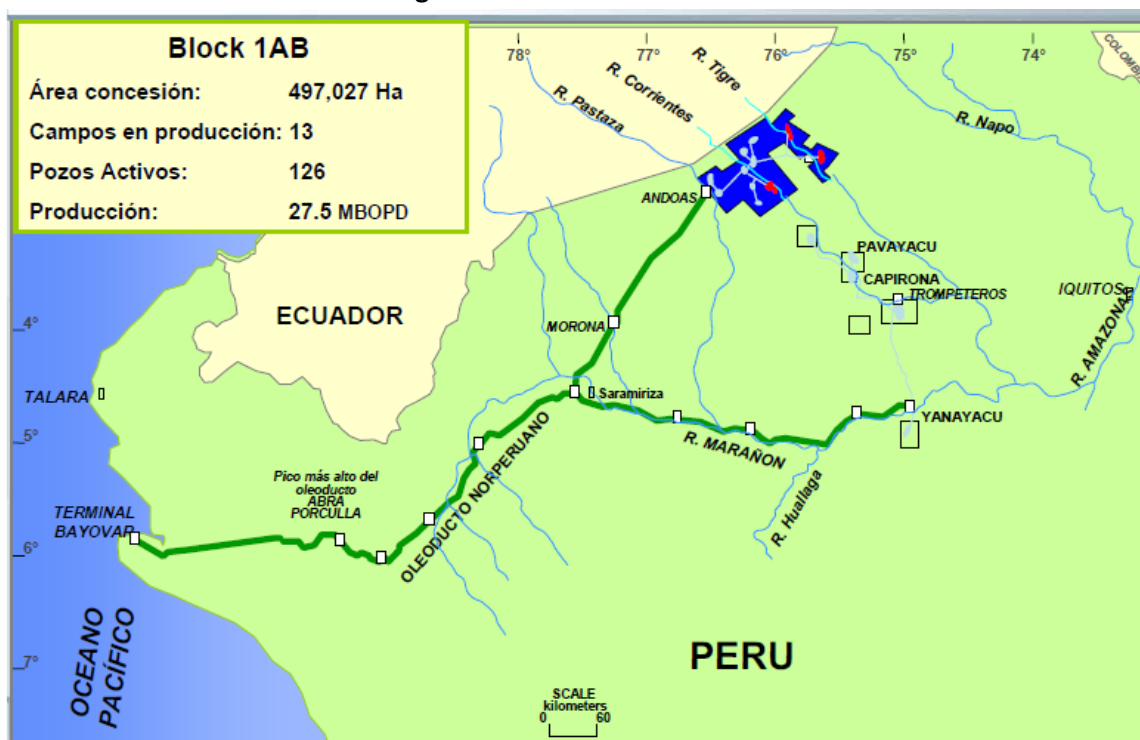
- Comprador a cargo de rehabilitación para nuevo uso requerida por la autoridad.

## CAPITULO VIII

### CASO DE PASIVOS AMBIENTALES - MEDIDAS DE MITIGACION AMBIENTAL LOTE 1 AB

En el Lote 1-AB, descubrieron yacimientos petrolíferos con reservas aproximadas de 800 millones de barriles de petróleo. Los yacimientos del Lote 1-AB, se encuentran entre los ríos Pastaza-Corrientes y Tigre (Capahuari Norte y Sur, Shiviayacu, Huayuri, Carmen, Forestal, Dorissa, Jibarito, Jibaro, San Jacinto, Bartra).

Fig 8.1 Ubicación del Lote 1AB



En el Lote 1-AB se producen dos tipos de petróleo: de densidad liviana o mediana, proveniente de yacimientos de la parte occidental, campos: Capahuari Norte, Capahuari Sur, Dorissa, Forestal, Shiviayacu, Carmen, Huayuri y los petróleos pesados de San Jacinto, Jíbaro, Jibarito y Bartra de la parte oriental.

#### 8.1. Plan de Remediación

En relación a los impactos ambientales evaluados, se han identificado rutas de exposición por los que los contaminantes producidos por las operaciones

petroleras en la Cuenca Tigre-Pastaza pueden entrar a la cadena alimenticia y eventualmente terminar concentrándose en los seres humanos.

El Ministerio de Energía y Minas del Perú ha solicitado, a utilizar como objetivo de limpieza los estándares internacionales a aplicarse sobre todo a los niveles aceptables de constituyentes de hidrocarburos en el agua y a los niveles de contaminantes en suelos.

Con la finalidad de limpiar estas situaciones se deben tomar en cuenta las normas nacionales referentes a los Niveles Máximos Permisibles en el Sector Hidrocarburos (D.S. N° 037-2008) y los estándares de calidad de agua en el cuerpo receptor (Ley N°29338, "Ley General de Aguas").

Se han identificado cuatro aspectos ambientales principales que requerirán de acciones de remediación, ya sea por la magnitud de su impacto o por los riesgos actuales o potenciales que tienen sobre la población receptora y son:

- El vertimiento de aguas de producción en ríos y quebradas.
- Los derrames de hidrocarburos en los suelos.
- El vertimiento de petróleo en áreas pantanosas y
- El Pasivo Ambiental que eventualmente presentarán las pozas de seguridad.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) es la agencia regulatoria ambiental federal en los EEUU. La EPA establece los estándares y políticas federales para la regulación de desechos peligrosos, el manejo de la calidad de aire, el manejo de la calidad de agua y la limpieza y mitigación de descargas residuales al suelo y aguas.

Se define que los niveles EPA se deben aplicar para los constituyentes analizados en los ríos y tributarios en los campos petroleros del Lote 1-AB. Para los contaminantes de petróleo, la EPA no establece estándares para los hidrocarburos totales de petróleo en el agua, sin embargo ha establecido LMPs (límite máximo permisibles) para constituyentes de petróleo como benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, naftalina y componentes aromáticos polinucleares.



**D.S. Nº 037-2008 (Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para Sector Hidrocarburos)**

Los impactos ambientales del Subsector Hidrocarburos están asociados con las descargas de efluentes industriales al cuerpo receptor, por lo que los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental son mecanismos de gestión ambiental que permiten la convivencia entre diferentes actividades productivas, la salud humana y a su vez aseguran la calidad del cuerpo receptor.

**Tabla Nº 01**

<b>Parámetro Regulado</b>	<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l) (Concentraciones en Cualquier momento)</b>
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	20
Cloruro	500 (a ríos, lagos y embalses) 2000 (estuarios)
Cromo Hexavalente	0,1
Cromo Total	0,5
Mercurio	0,02
Cadmio	0,1

<b>Parámetro Regulado</b>	<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l) (Concentraciones en Cualquier momento)</b>
Arsénico	0,2
Fenoles para efluentes de refinerías FCC	0,5
Sulfuros para efluentes de refinerías FCC	1,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250
Cloro residual	0,2
Nitrógeno amoniacal	40
Coliformes totales (NMP/100 mL)	< 1000
Coliformes Fecales NMP/100 mL)	< 400
Fósforo	2,0
Bario	5,0
pH	6,0 - 9,0
Aceites y grasas	20
Plomo	0,1
Incremento de Temperatura <sup>a</sup>	<3°C

La Comisión de Control de Recursos Hídricos (Water Resources Control Board), perteneciente a la Agencia de Protección Ambiental de California (CALEPA), maneja las descargas de desechos a la tierra y todos los programas de evaluación y remediación de suelos y aguas subterráneas en lugares contaminados con petróleo. Estas regulaciones sirven como guía para ser usadas en las áreas del Perú.

En Mayo de 1996, la CRCCA de Los Angeles publicó un manual titulado Guía Interina de Limpieza y Evaluación del Lugar (Interim Site Assessment and Cleanup Guidebook). Esta guía incluye los lineamientos para la remediación de lugares impactados por solventes y petróleo, establece criterios para el cierre de "lugares contaminados por combustible de bajo riesgo", describe los pasos involucrados en la evaluación del lugar y el proceso de limpieza.

Las Políticas y Procedimientos para la Investigación y Limpieza y Mitigación de Descargas deben asegurar que los descargadores sean obligados a limpiar y mitigar el efecto de las descargas para lograr agua de la calidad anterior o de la mejor calidad razonable. Aproximadamente el 80% de los fluidos producidos en el Lotes 1-AB, es agua con petróleo y es descargada a los tributarios y liberando al medio ambiente varios metales pesados. Cuando se producen lluvias, el petróleo almacenado rebalsa hacia los tributarios.

Existen dos alternativas disponibles para eliminar estas descargas al medio ambiente natural:

- Tratando el agua antes de la descarga para eliminar todos los hidrocarburos y metales.
- Reinyectando el agua producida a la formación de donde proviene o a cualquier formación adecuada.

El tratamiento de aguas para la eliminación de metales puede realizarse por Precipitación/Floculación, Electroprecipitación, Osmosis inversa, Intercambio iónico, Reducción electrónica, etc. Ninguno de estos métodos resultan económicos dado el volumen de agua a ser tratado.

El tratamiento por reinyección de aguas producidas en campos petroleros, es una práctica común desde hace mucho tiempo por las empresas petroleras alrededor del mundo e inclusive es utilizada como un método de recuperación secundaria.

Los pozos de reinyección para proteger el medio ambiente, deben inyectar las aguas debajo de niveles de aguas subterráneas que se usen o potencialmente usables, asimismo el pozo debe estar completamente sellado por encima del punto de inyección de agua.

**Fig 8.2 Reinyección de agua**



Es factible convertir pozos de producción abandonados en pozos de reinyección, con el consiguiente ahorro de perforación de nuevos pozos. Para la remediación de suelos contaminados se debe tener en cuenta características químicas y cantidad de suelo contaminado, naturaleza de los contaminantes, persistencia en el medio ambiente y potencial para expandirse, se requiere categorizar los suelos en base a los impactos, oportunidades de reutilización del suelo, identificar riesgo a largo plazo por los suelos contaminados, definir si es necesaria la limpieza y sus niveles, evaluar alternativas de tecnologías de remediación y seleccionarla y construir y operar el sistema de remediación.

Algunas de estas tecnologías consideran técnicas de Extracción del Vapor del Suelo (EVS), Bioventilación, Biopilas, Landfarming y Mitigación Natural, las cuales han sido evaluadas en consideración en el Lotes 1-AB se requieren

tecnologías sólo aplicables al tratamiento de suelos y que incluyen la extracción de vapor del suelo y la Bioventilación.

La extracción del vapor del suelo o ventilación del suelo o ventilación al vacío, se aplica mayormente a productos petroleros más ligeros que del Lote 1-AB, por lo tanto la aplicación de esta tecnología sería de utilidad limitada.

La bioventilación es un término usado para la biodegradación aeróbica estimulada por oxígeno introducido a través de la ventilación del suelo. Generalmente es una tecnología de remediación in-situ que utiliza microorganismos nativos para biodegradar los constituyentes orgánicos absorbidos por suelos en la zona no saturada, es más usada con productos de peso medio como el diesel y los combustibles de inyección. Existen algunos límites para la efectividad de la biodegradación.

#### **Aplicabilidad de Bioventilacion**

- Hidrocarburos del petróleo, disolventes no clorados y otros orgánicos (fuels).
- Favorece la degradación de VOCs por la lenta migración hacia zonas biológicamente activas del suelo.
- Prometedora para estabilizar o eliminar contaminantes inorgánicos (cambio de estado de valencia, cambio en movilidad)

#### **Limitaciones de Bioventilacion**

- Zonas saturadas o de baja permeabilidad en el suelo.
- Posible emisión de vapores (control y monitoreo)
- Baja humedad = baja actividad. biologica. = baja biodegradación.

Las biopilas son usadas para reducir las concentraciones de constituyentes en suelos excavados mediante el uso de la biodegradación. Esta tecnología consiste en reunir en pilas los suelos contaminados y estimular la actividad aeróbica (consumo de oxígeno) en los suelos mediante la aireación y/o adición de minerales, nutrientes y humedad.

**Aplicabilidad de Biopilas**

- Efectiva para VOCs no halogenados y combustibles; efectividad variable para algunos VOCs halogenados.
- Incrementa la biodegradación favoreciendo las condiciones de humedad, temperatura, nutrientes, oxígeno y pH.
- Impermeabilización completa de la pila (acompañar con técnicas de recogida y tratamiento de gases y lixiviados).

**Limitaciones de Biopilas**

- Excavación del suelo = riesgo de liberación de VOCs.
- Test previos de biodegradación del contaminante (cálculo de tasas de aireación y nutrientes).
- Uniformidad cuestionable (proceso estático)

El “Landfarming” es una tecnología de remediación de suelos en la superficie, reduciendo las concentraciones de petróleo mediante la biodegradación, consiste en esparcir los suelos contaminados excavados en una capa delgada sobre una superficie determinada, estimulando la actividad microbiana aeróbica mediante la aireación y/o la adición de minerales, nutrientes y humedad.

**Aplicabilidad de “Landfarming”**

- Hidrocarburos del petróleo (no VOCs), Combustibles.
- Degrada, transforma e inmoviliza contaminantes.
- Recogida y tratamiento de lixiviados.

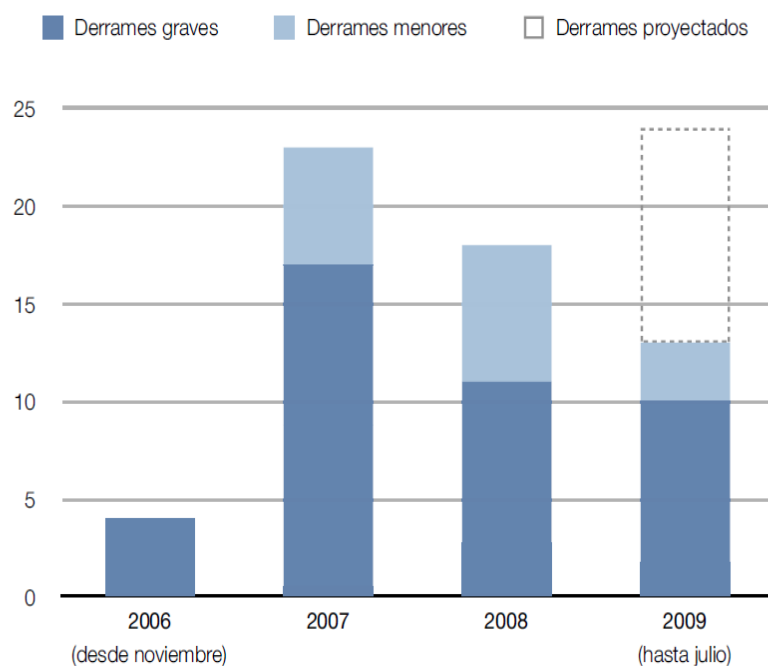
**Limitaciones de “Landfarming”**

- Requiere espacios grandes para su aplicación.
- La excavación del suelo puede liberar VOCs.
- Incremento importante de volumen.

En suelos pobres como los del Lote 1-AB, sería necesario acondicionar el suelo para crear condiciones más permeables para el flujo de aire y la expansión de la población microbiana.

En general, para los hidrocarburos de petróleo, la biodegradación es el mecanismo de mitigación natural más importante. Es el único proceso natural que produce una reducción real de la masa de constituyentes petroleros. La evaluación de la mitigación natural como una opción para remediación, requiere que las concentraciones TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) sean menores a 25,000 ppm en el suelo, además un uso proyectado de las aguas subterráneas dentro de los siguientes 2 años y receptores cercanos a los cuales podría afectar la contaminación.

**Fig 8.3 Cuadro estadístico de Derrames del 2006 al 2009**

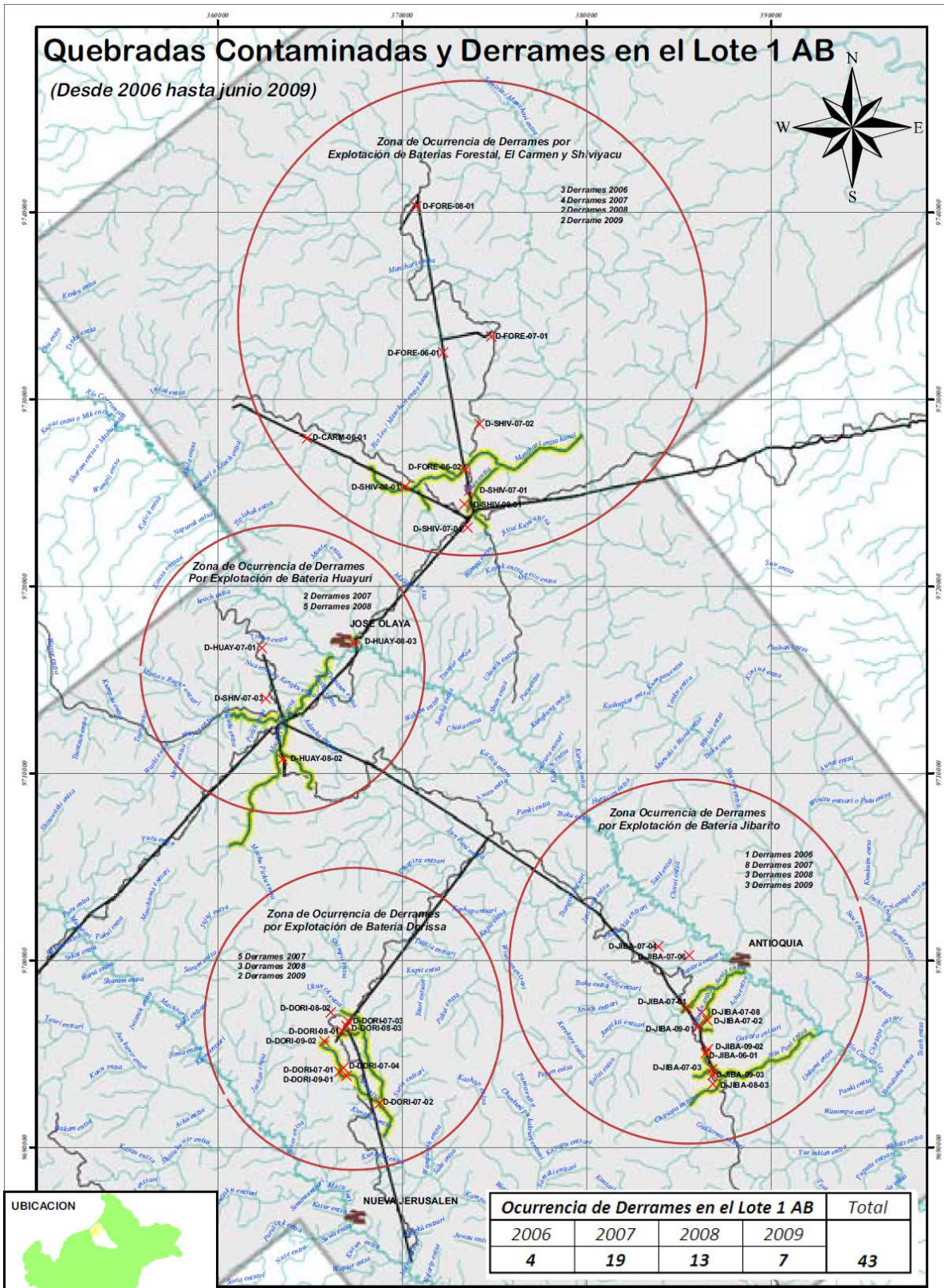


	2006 Desde Noviembre	2007	2008	2009 Hasta Julio	Total
Derrames graves *	4	17	11	10	42
Derrames menores	0	6	7	3	16
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>58</b>

\* Se clasificaron como derrames de mayor importancia los derrames que afectaron a más de 100m de una quebrada o río, y a los derrames que afectaron a más de 100m<sup>2</sup> de espejo de agua o de área de tierra.

# Quebradas Contaminadas y Derrames en el Lote 1 AB

(Desde 2006 hasta junio 2009)



FEDERACION DE COMUNIDADES NATIVAS DEL CORRIENTES

## FECONACO

ESCALA 1:200000



Fuentes:  
Derrames e Instalaciones: Pj. de Monitoreo Independiente FECONACO



Leyenda

- Derrames
- Oleducto
- Cuerpos de agua contaminada
- Carretera
- Lote 1-AB
- Comunidad Nativa

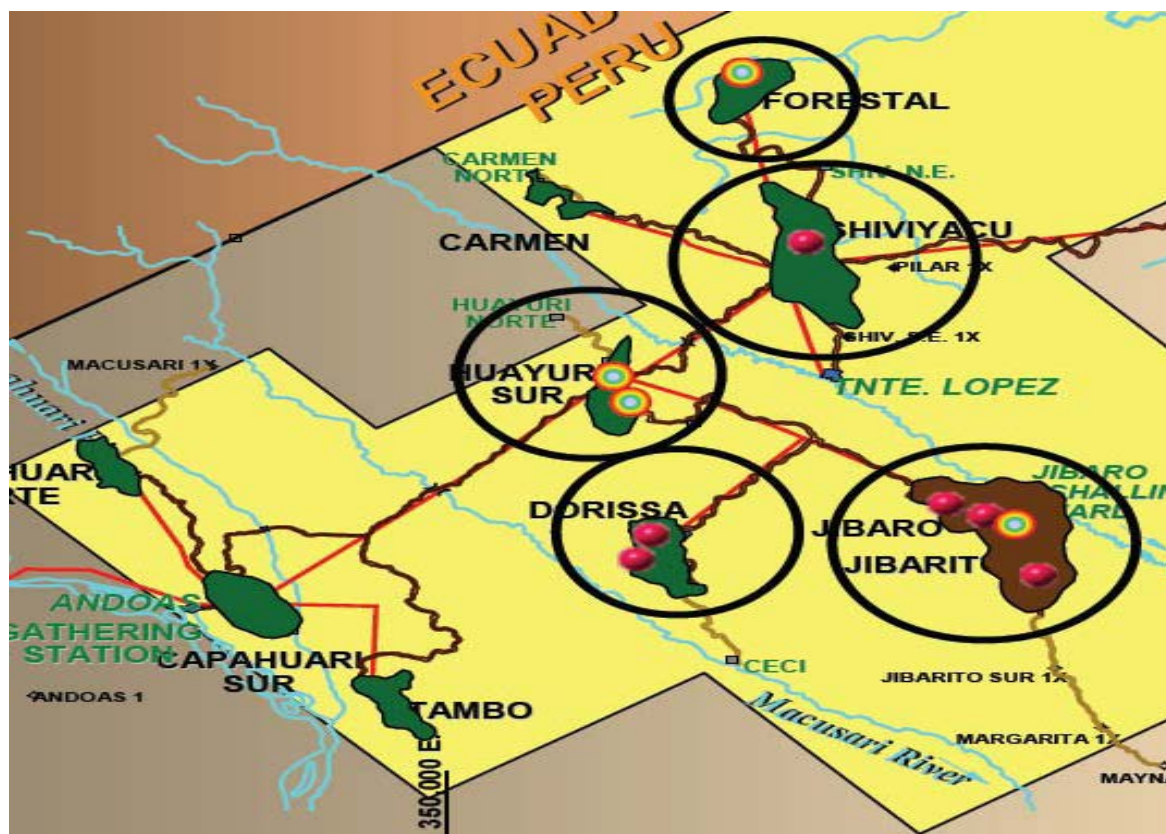
Las áreas de aguajales de Yanayacu constituyen un problema especial, debido a su extensión, volumen de contaminantes, inaccesibilidad y dificultades que implica trabajar en un medio pantanoso. Teniendo como referencias trabajos en áreas similares en México (estudios pilotos de remediación) los pasos a seguir son:

- 1) Recuperar los hidrocarburos de fase libre
- 2) tratamiento del agua in-situ y
- 3) revegetar el área.

Desde hace 5 años, en el Lote 1-AB desarrolla importantes y costosos programas de "remediación ambiental" y reforestación de buena parte de las 188 hectáreas (2% del área total), afectadas por la empresa desde que inició sus operaciones.

En 5 de las 9 zonas de producción, los suelos se han saturado con sales naturales del agua de pozos y por residuos de petróleo, perdiendo la vegetación.

**Fig.8.4 Cuadro de las 5 Zonas Productoras del Lote 1AB**





## 8.2. Plan de Monitoreo en la Cuenca

El Plan de Monitoreo Ambiental en la Cuenca tiene como propósito medir los impactos potenciales que puedan generarse a pesar de las medidas de mitigación incorporadas.

Este plan posibilita la identificación temprana y el control de los impactos, evitando así su potencial propagación y permitiendo, medir, verificar y optimizar las medidas de mitigación incluidas en el diseño.

El plan de monitoreo contiene los siguientes parámetros ambientales:

- a) La metodología de toma de muestras debe estar fundamentada estadísticamente, utilizando métodos reconocidos tanto nacional como internacionalmente (Standard Methods, métodos ASTM).
- b) Técnicas de muestreo y métodos analíticos de campo y de laboratorio para cada uno de los contaminantes identificados, así como los demás parámetros operacionales de control como pueden ser humedad y temperatura del material en proceso de tratamiento.
- c) Frecuencia de muestreo en función del método de remediación seleccionado.
- d) Monitoreo de efectos colaterales en función del método de remediación, tales como emisiones a la atmósfera o residuos de productos a aplicarse a través de la tecnología seleccionada.
- e) Definición de formatos y registros para el seguimiento de las labores de manejo (libro de campo), para la toma de muestras, así como para los reportes de análisis de laboratorio.
- f) Determinación de parámetros a observarse en posibles medidas de rehabilitación del sitio, especialmente las características físico-químicas y biológicas del suelo en el caso de revegetación.

En el Lote 1-AB, se sigue un programa de monitoreo de calidad de agua en 9 estaciones ubicadas en los puntos de descarga de las baterías de producción y en 16 estaciones ubicadas en los 5 ríos receptores. Las aguas de producción de los yacimientos Capahuari Sur y Capahuari Norte son descargadas al río

Capahuari y luego al Pastaza, con un flujo aproximado de 100,000 barriles diarios de agua.

Según las evaluaciones realizadas por Occidental en 1997, al río Capahuari se descargan aguas de formación con altos niveles de cloruros y aceite.

Fig.8.5 Plan de Monitoreo



### 8.3. Plan Zonal de Contingencia

El objetivo principal del Plan de Contingencias es prevenir y controlar sucesos no planificados, pero previsibles, y describir la capacidad y las actividades de respuesta inmediata para controlar las emergencias de manera oportuna y eficaz. Los objetivos específicos son:

- Establecer un procedimiento formal y escrito que indique las acciones a seguir para afrontar con éxito un accidente, incidente o emergencia, de tal manera que cause el menor impacto a la salud y al ambiente.
- Optimizar el uso de los recursos humanos y materiales comprometidos en el control de derrames, fugas y emergencias.
- Establecer procedimientos a seguir para lograr una comunicación efectiva y sin interrupciones entre el personal de la empresa Contratista encargada de la ejecución del proyecto, los representantes gubernamentales, la DGAA

(Dirección General de Asuntos Ambientales), la DGH, y otras entidades requeridas.

- Cumplir con las normas y procedimientos establecidos, de acuerdo a la política de protección ambiental en las actividades de Hidrocarburos dadas por el Sector Energía y Minas y otras instituciones del Estado.

Este plan contiene la estrategia de respuesta para cada tipo de accidentes y/o emergencias potenciales que podrían ocurrir, y permite flexibilidad para responder eficazmente a situaciones imprevistas.

Las instalaciones de producción de grandes volúmenes de petróleo, ubicadas en forma dispersa y mayormente cerca o junto a las partes altas de los ríos y afluentes del Pastaza, Corrientes y Tigre dentro del Lote 1-AB, constituyen un potencial de gran riesgo de producción de derrames de petróleo por accidentes en cualquier momento, lo que originaría una contaminación rápida de los cursos de agua y un impacto ambiental negativo de grandes implicancias.

Por lo tanto, es sumamente importante tener un Plan Zonal de Contingencias para la Cuenca Tigre-Pastaza, con miras a establecer los procedimientos a seguir para hacer frente en forma efectiva cualquier contingencia que se pueda presentar y definir las responsabilidades a ser asumidas por cada operador de los Lotes en la región

El Plan constituye una guía para todas las etapas de los derrames de petróleo. De acuerdo al D.S.015-2006-EM Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos y demás normas internacionales y nacionales de seguridad de instalaciones petroleras, los derrames de cinco (5) barriles o más deberán ser reportados a la DGH dentro de las 24 horas de conocido el derrame. Las empresas petroleras operadoras son las responsables de la implementación de este plan.

## CAPITULO IX

### COSTOS

#### **Estimación de Costos**

La EPA (Agencia de Protección Ambiental) publicó guías provisionales para efluentes finales de la extracción de petróleo tierra adentro, con producciones de más de 10,000 barriles/día y con producción de agua utilizada de manera beneficiosa, encargando a la empresa Arthur D. Little la realización de un estudio de análisis del impacto económico de las guías y a la empresa Jacobs Engineering, Inc. un estudio que caracterizó los pozos petroleros en los estados impactados, así como el costo de adecuación a las nuevas regulaciones.

La manera más eficiente de tratar los suelos de áreas petrolíferas extensas tales como la del Lotes 1AB, consiste en excavar los suelos contaminados y transportarlos a una planta de tratamiento diseñada y ubicada estratégicamente en el Lote, la que deberá ser operada de manera continua para minimizar costos.

En consideración a las condiciones logísticas existentes en el Lotes 1-AB, los métodos de remediación Biopilas y Landfarming, son los más recomendables.

El costo total de capital para la construcción de las biopilas es de US\$ 61,700, esto incluye el tamaño de la Planta de Tratamiento: 10,000 m<sup>3</sup>. La capacidad de Planta: 9,000 - 11,000 m<sup>3</sup> de suelo por año y componentes de la Planta (Celdas de tratamiento, área de recepción y acondicionamiento, almacén y laboratorio). El costo de operación y mantenimiento de biopilas es de US\$ 18,000 por año.

Los suelos contaminados, requerirán entre 4 y 6 meses de tratamiento en las celdas de biopilas y tendrán un costo promedio de tratamiento de aproximadamente US\$ 33 por metro cúbico de suelo tratado.

Los costos totales de capital para la construcción de una planta de Landfarming de 10,000 m<sup>3</sup> es de US\$ 110,000, con un costo de operación y mantenimiento de US\$ 18 por metro cúbico.

El nivel general de limpieza aceptable del suelo remediado es de 10,000 partes de hidrocarburos de petróleo totales, sin contener componentes que inhiban el tratamiento biológico y una vida media de hidrocarburos de aproximadamente 45 días.

Para la remediación de las áreas pantanosas como la de Yanayacu, es posible que se tenga que construir una balsa flotante o barcaza, para transportar los materiales del interior del pantano a la orilla. Todo el equipo y personal deben ser transportados por helicóptero.

Tecnología de Remediación: **Biopilas**

Costo de Planta para 10,000 m<sup>3</sup>: \$ 61,700/10,000 m<sup>3</sup>

Costo de Mantenimiento: \$ 18,000/ año      Duración de Operación: 4-6 meses

Volumen de Remediación: 480,000 m<sup>3</sup> por 30 años

Costo de Planta para 480,000 m<sup>3</sup>

\$ 61,700/10,000 m<sup>3</sup> x 480,000 m<sup>3</sup> = \$ 2'961,600

Costo de Mantenimiento y Operación

(\$ 18,000/ (10000 m<sup>3</sup> x año)) x 480,000 m<sup>3</sup> x 30 años x ½ año = \$ 12'960,000

Costo Total: \$ 2'961,600 + \$ 12'960,000 = \$ 15'921,600

Costo por m<sup>3</sup>: \$ 15'921,600/480,000 = \$33.17/ m<sup>3</sup>

Tecnología de Remediación: "**Landfarming**"

Costo de Planta para 10,000 m<sup>3</sup>: \$ 110,000/10,000 m<sup>3</sup>

Volumen de Remediación: 480,000 m<sup>3</sup> por 30 años

Costo de Planta para 480,000 m<sup>3</sup>

\$ 110,000/10,000 m<sup>3</sup> x 480,000 m<sup>3</sup> = \$ 5'328,000

Costo de Mantenimiento y Operación

480,000 m<sup>3</sup> x \$18/ m<sup>3</sup> = \$ 8'640,000

Costo Total: \$ 5'328,000+ \$ 8'640,000= \$ 13'968,000

El costo estimado de remediación utilizando las tecnologías Biopilas y "Landfarming" para una planta 480,000 m<sup>3</sup> en un período de 30 años es de US\$ 29'889,600.

**Fig 9.2 Cuadros Comparativos de Suelos en Capahuari Sur, Trompeteros y Shivyacu del Lote 1AB**



**Capahuari Sur - Lote 1AB**



**Trompeteros - Lote 1AB**



**Shivyacu 37 - Lote 1AB**

## CAPITULO X

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES:

- Es importante realizar actividades preventivas evitando que se acumulen los pasivos ambientales y se deberán desarrollar medidas serias y responsables.
- Las fuentes de contaminación principales tales como:
  - Derrames y fugas accidentales de oleoductos.
  - Operaciones de limpieza de tanques y separadores.
  - Lavado de tanques y pozas.
  - Pérdida o descargas durante la perforación de pozos y operación.
  - Descargas de las aguas de formación.
  - Descargas furtivas de las baterías.Se puede remediar con las técnicas “Biopilas” y “Landfarming”.
- La actividad petrolera contada de manera histórica demuestra que fue dejando a su paso, una secuencia de pozos, los más antiguos se transformaron con el tiempo, en pasivos ambientales unos más críticos que otros, provocando contaminación severa que compromete la calidad del agua y del suelo, especialmente en el Lote 1 AB, donde se encuentran la mayoría de estos.
- El pasivo ambiental a ser identificado en el área correspondiente se limitará a los procesos de degradación críticos realizados por la actividad del hombre y que afectan al ecosistema e interaccionarán con la ejecución de los trabajos de Prospección sísmica 2D y 3D, si se han realizado estos tipos de actividades en los campos petroleros.
- Todas las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos que se desarrollan en las cuencas se encuentran normadas por la Ley N' 26221 Ley Orgánica de Hidrocarburos y por el Reglamento de Medio Ambiente, D.S. 015-2006-EM.



- Cada instalación contará con un personal permanente para atender las contingencias de derrames y tendrá un entrenamiento de respuesta ante derrames de petróleo, avisos a las autoridades, procedimientos de alerta interna y externa, áreas de respuesta crítica, de alto riesgo y las medidas de adecuación para el Plan Zonal de Contingencias. Se deberán realizar simulacros anuales de contingencia (D.S. 015-2006-EM) "Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos".
- Existen dos alternativas disponibles para eliminar los vertimientos de agua de formación con petróleo, descargadas al medio ambiente natural: tratando el agua antes de la descarga para eliminar todos los hidrocarburos y metales, o reinyectando el agua producida a la formación de donde proviene o a cualquier formación adecuada.
- El tratamiento de aguas para la eliminación de metales no resulta económico para ser aplicado en el Lote 1-AB, por el gran volumen de agua a ser tratado. El tratamiento por reinyección de aguas producidas en campos petroleros, es una práctica común y es utilizada como un método de recuperación secundaria.
- Para la remediación de suelos contaminados del Lotes 1-AB se han evaluado las siguientes tecnologías: Extracción del Vapor del Suelo (EVS), Bioventilación, Biopilas, Landfarming y Mitigación Natural.
- La mitigación natural es un método de remediación pasivo, involucra biodegradación aeróbica y anaeróbica, dispersión, volatilización y adsorción. La biodegradación es el mecanismo de mitigación natural más importante, es el único proceso natural que produce una reducción real de la masa de constituyentes petroleros.
- El Plan Zonal de Contingencias para la Cuenca Tigre-Pastaza, establece los procedimientos a seguir para hacer frente en forma efectiva ante cualquier contingencia que se pueda presentar y define las responsabilidades en los momentos de emergencia. El Plan constituye una guía para todas las etapas de los derrames de petróleo.

- Una actuación rápida aseguraría el control del pasivo actualmente en manos del cliente.
- La retirada de receptores o vías de exposición son mecanismo de minimización del pasivo a largo plazo.

## **RECOMENDACIONES**

- Para eliminar las descargas de las aguas de formación producidas al medio ambiente natural, se recomienda reinyectarla a la formación de donde proviene o a cualquier otra formación adecuada. Los pozos de reinyección para proteger el ambiente, deben inyectar las aguas debajo de niveles de aguas subterráneas que se usen o potencialmente usables.
- Usar la tecnología de "Biopilas" y "Landfarming" para la remediación de suelos en la superficie y en consideración a las condiciones logísticas existentes en el Lotes 1-AB, por ser efectivas para reducir casi todos los productos petroleros por biodegradación. Se deberán excavar los suelos contaminados y transportarlos a una Planta de Tratamiento diseñada y ubicada estratégicamente, la que deberá ser operada de manera continua para minimizar costos.
- Tratar las áreas de agujales como la de Yanayacu, mediante evaluaciones pilotos de remediación, siguiendo los siguientes pasos: recuperar los hidrocarburos de fase libre, tratar el agua in-situ y revegetar el área. Complementando los ensayos de campo y trabajos experimentales dedicados a la propagación y cultivo de especies vegetales originales de esa zona de selva baja, que actualmente se efectúan en el Lote 1-AB, fortaleciendo el suelo con abono natural.
- Adoptar un Plan de Monitoreo Ambiental en la Cuenca, que contenga parámetros ambientales que impacten favorablemente el área donde se realizan las operaciones petrolíferas, con el propósito de evitar futuros

impactos potenciales que puedan generarse a pesar de las medidas de mitigación incorporadas.

- Adoptar el Plan Zonal de Contingencias para la Cuenca Tigre-Pastaza, constituyéndolo como Guía para todas las etapas de derrames de petróleo, estableciéndose los procedimientos a seguir para hacer frente en forma efectiva a cualquier contingencia que se pueda presentar, definiendo las responsabilidades a ser asumidas por cada operador de los Lotes en la región.

## CAPITULO XI

### BIBLIOGRAFIA

- ASTM E 2081-00 (Reapproved 2004) “Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (RBCA)”.
- Llamas, S. (2009). “Procedimientos normalizados para identificación y clasificación de residuos”. Universidad Federal de Pernambuco. Recife. Brasil. pp: 55.
- Ley N' 26221 Ley Orgánica de Hidrocarburos
- El Reglamento de Medio Ambiente, D.S. 015-2006-EM.
- Environmental Resources Management. Cesar Pindado
- ASTM D 4700 “Guide for soil sampling from the vadose zone”.
- ASTM E 1739-95 (Reapproved 2002).
- Específico del emplazamiento, IHOBE (1998);
- U.S. EPA PRG (2002 ); U.S. EPA RAIS; ORNL; IHOBE (1998); Yaws (1999), Verschueren (1996)
- Específico del Emplazamiento ASTM (2000); Johnson & Ettinger (1991).
- Pérez, R. 2003. Aislamiento y selección de cepas bacterianas degradadoras de hidrocarburos. Tesis en opción al título de Máster en Biotecnología. Mención Ambiental. Universidad de Oriente
- Viñas, M. 2005. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. Facultad de biología. Universidad de Barcelona. Serrano, J. H. y col. 2006. Protección ambiental y producción + limpia. Parte 1 y 2. Editorial Academia.
- Solanas, A. M. 2002. Biodegradación y Biorremediación: aspectos básicos aplicados a la transformación microbiana de contaminantes orgánicos. Apuntes del curso de postgrado. Universidad de Barcelona. España.
- Contaminación y Remediación de Suelos ([www.ingenieriaambiental.com](http://www.ingenieriaambiental.com))
- Pozzo Ardizzi, M.G. 1995. Tratamiento biológico de residuos de petróleo, “landfarming”. Publicación de divulgación del Instituto Universitario en Ciencias para la Salud.
- Ing. A. Erazo – FIP-UNI, Copias de curso de Manejo y Contaminación Ambiental Fac. Petróleo, Petroquímica y Gas natural.