

PROVINCIA DE MENDOZA

CFI

**ASISTENCIAS TÉCNICAS PARA PROMOVER EL
DESARROLLO PROVINCIAL**

***REPARACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS
POR LA ACTIVIDAD HIDROCARBURÍFICA***

INFORME FINAL

OCTUBRE DE 2011

Ing. Nidia Viviana Brusadin

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
RESUMEN	6
DEFINICIONES Y CONCEPTOS	7
MARCO LEGAL	9
INFORMACIÓN SOBRE LOS MÉTODOS DE REMEDIACIÓN DE TIERRAS EMPETROLADAS Y DEMÁS PASIVOS AMBIENTALES.....	11
TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS.....	12
TÉCNICAS DE AISLAMIENTO	12
TÉCNICAS FISICOQUÍMICAS.....	20
TÉCNICAS BIOLÓGICAS	35
TÉCNICAS TÉRMICAS	52
ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE REMEDIACIÓN DE TIERRAS EMPETROLADAS	56
UBICACIÓN Y DIMENSIONES DE LOS REPOSITORIOS EN LA PROVINCIA DE MENDOZA	61
SITUACIÓN EN LA PROVINCIA DE MENDOZA.....	62
ÁREAS ZONA NORTE (CUENCA CUYANA)	62
ÁREA ATAMISQUI	62
ÁREA BARRANCAS	62
ÁREA LA VENTANA	69
ÁREA TUPUNGATO REFUGIO	70
ÁREA RÍO TUNUYÁN	71
ÁREA VIZCACHERAS.....	72
ÁREA PUESTO POZO CERCADO	72
AREA CHAÑARES HERRADOS	72
AREA PIEDRAS COLORADAS	73
ÁREAS ZONA SUR (CUENCA NEUQUINA)	75
ÁREA ATUEL NORTE	75

ÁREA CERRO DE LOS NIDOS	77
ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA.....	81
ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA SUR	83
ÁREA CHIHUIDO DE LA SIERRA NEGRA	84
ÁREA CNQ7 y CNQ7A (EL CORCOVO)	84
ÁREA EL PORTÓN.....	88
ÁREA VALLE DEL RÍO GRANDE.....	89
ANÁLISIS Y CÁLCULO DE VOLÚMENES DE LOS REPOSITORIOS	91
ÁREAS ZONA NORTE (CUENCA CUYANA)	92
ÁREA ATAMISQUI	92
ÁREA BARRANCAS	92
ÁREA LA VENTANA	95
ÁREA PUESTO POZO CERCADO	96
ÁREA RÍO TUNUYÁN	96
ÁREA TUPUNGATO REFUGIO	96
ÁREA VIZCACHERAS.....	97
AREA CHAÑARES HERRADOS	97
AREA PIEDRAS COLORADAS	97
ÁREAS ZONA SUR (CUENCA NEUQUINA)	98
ÁREA ATUEL NORTE	98
ÁREA CERRO DE LOS NIDOS	98
ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA.....	98
ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA SUR	99
ÁREA CHIHUIDO DE LA SIERRA NEGRA	99
ÁREA CNQ7 y CNQ7A (EL CORCOVO)	100
ÁREA EL PORTÓN.....	101
ÁREA VALLE DEL RÍO GRANDE.....	101

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LAS OBSERVACIONES REALIZADAS A LOS RESERVORIOS	103
CARACTERÍSTICAS DE TIERRAS EMPETROLADAS	104
CARACTERÍSTICAS DE CUTTINGS DE PERFORACIÓN	105
CARACTERÍSTICAS DE FONDOS DE TANQUES	105
DERRAMES DE AGUA DE PRODUCCIÓN	106
DISPOSICIÓN DEL MATERIAL EN EL REPOSITORIO	106
CONCLUSIONES SOBRE LAS TECNOLOGÍAS QUE MEJOR SE ADAPTAN PARA EL TRATAMIENTO DE REPOSITORIOS DE LA PROVINCIA DE MENDOZA	107
CONCLUSIONES SOBRE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE	110
REUNIONES CON EL GOBIERNO DE MENDOZA ESPECIALISTAS CIENTÍFICO TÉCNICOS	112
REUNIONES	113
PROPUESTA DE UN PLAN SOBRE REMEDIACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES	115
INTRODUCCIÓN	116
MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	116
RELEVAMIENTO DE POZOS CON SOSPECHA DE PASIVOS AMBIENTALES QUE NO ESTÁN CUANTIFICADOS	117
PROPUESTA A NIVEL NORMATIVO PROVINCIAL	117
ANTECEDENTES	121
ANTECEDENTES	122
ANEXO I	124
PLANILLA RESUMEN DE ÁREAS, REPOSITORIOS, VOLÚMENES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	125
ANEXO II	126
NORMATIVA NACIONAL	127
NORMATIVA PROVINCIAL	149

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo final el relevamiento de los pasivos ambientales generados por la actividad hidrocarburífera en la Provincia de Mendoza, su origen, sus características, realizar un análisis comparativo de los sistemas de reparación, su cuantificación y proyecto de manejo de los pasivos ambientales.

Se recopiló la información referida a los métodos de remediación de tierras empetroladas y demás pasivos ambientales y se realizó el estudio y comparación de las tecnologías de descontaminación señalando sus ventajas y limitaciones.

Se visitaron los repositorios de la Cuenca Cuyana (Zona Norte) y de la Cuenca Neuquina de la Provincia de Mendoza actualizando también la información de los mismos.

Además se realizó un análisis de las características y el cálculo de los volúmenes de los repositorios de acuerdo a la información obtenida en los recorridos realizados y en los antecedentes estudiados.

Con el conocimiento detallado de los repositorios de la Provincia y los métodos de tratamiento posibles de ser usados, de acuerdo a las características de los distintos pasivos, se extrajeron conclusiones respecto a la forma óptima de remediarlos.

Las reuniones con representantes de organismos gubernamentales de control, con especialistas en la temática de la remediación de suelos empetrolados, han sido prioritarias para poder interpretar la realidad y las necesidades del sector. Las mismas fueron una permanente fuente de consulta sobre datos y experiencias que permitieron encontrar criterios comunes que sustentan la propuesta del plan integral sobre remediación de pasivos ambientales.

Se analizó la reglamentación vigente a nivel nacional y provincial y se compararon las mismas con la finalidad de obtener los puntos más relevantes para contribuir a una normativa específica aplicable a la remediación de pasivos ambientales en la actividad petrolera a fin de resolver las zonas grises, que no permiten en la actualidad solucionar con agilidad los procedimientos en el tema ambiental.

El plan de integral sobre remediación de pasivos petroleros es una consecuencia de un proceso de recopilación y análisis de datos in situ, numerosas consultas y de criterios consensuados, con el objetivo que sea una herramienta útil en la toma de decisiones de los organismos de control y de las empresas del sector para que el desarrollo de la actividad petrolífera en la Provincia de Mendoza sea sustentable.

DEFINICIONES Y CONCEPTOS

A los efectos de que se entiendan los conceptos utilizados se dan a continuación algunas definiciones y explicaciones relacionadas con la actividad petrolera y los pasivos ambientales generados por la misma:

Pasivo ambiental: es la liberación de materiales, residuos extraños o aleatorios, producidos por una empresa durante su funcionamiento ordinario o por accidentes, que no fueron remediados oportunamente y siguen causando efectos negativos al ambiente. Su condición de pasivos está relacionada con la pérdida del estado previo (un activo ambiental). Frente a la existencia de pasivos ambientales, en términos de contaminación del agua, del suelo, del aire, del deterioro de los recursos y de los ecosistemas, es necesario recurrir a una remediación o mitigación de los mismos.

Tierras Empetroladas: son parte de los pasivos ambientales y son una combinación de suelo con algún tipo de hidrocarburo o derivados del mismo. Según el origen de las tierras contaminadas se puede determinar el tipo de hidrocarburo que acompaña al suelo. Se Clasifican en dos grandes grupos: las **tierras empetroladas propiamente dichas**, que contienen un porcentaje pequeño de hidrocarburos y los denominados **barros empetrolados** los cuales contienen un porcentaje alto de hidrocarburos en combinación con aguas coproducidas.

Dentro de estos grandes grupos existen diversos orígenes de los mismos que se desarrollan a continuación:

Fondos de tanques: el origen de los fondos de tanques viene asociado a la producción de hidrocarburo, el que al ser extraído desde el subsuelo arrastra

partículas que llegan a los diferentes puntos, ya sean de almacenamiento o de tratamiento y se produce la sedimentación de las mismas en los diversos tanques utilizados. Las características de estas tierras es que son, en su mayor proporción, arenas combinadas con porcentajes de hidrocarburo y agua coproducida y se las denomina **arenas empetroladas**. También dentro de esta categoría se encuentra una producción de fondos de tanques proveniente de la desalinización de crudo. En dicho proceso se incorpora agua dulce sin tratamiento de sólidos, lo que hace que estas pequeñas partículas se combinen con el hidrocarburo produciendo un precipitado en forma de emulsión coloidal, llamados tradicionalmente **barros empetrolados**.

Derrames: se pueden producir de dos formas: durante el almacenamiento y durante el traslado. **Durante el almacenamiento:** el petróleo, en algunos puntos de su proceso, es almacenado en tanques que deberían tener un recinto de contención impermeabilizado. En muchos casos no existe el recinto de contención o falta o falla la impermeabilización del mismo lo que genera, ante una eventual rotura de tanque, un derrame sobre suelos. **Derrames durante traslado:** existen diversas formas de traslado de hidrocarburos o derivados de los mismos. Los más comunes son: por camiones, por línea de producción y por oleoductos y poliductos. Cuando por algún motivo se produce un accidente o rotura en el traslado, se origina un derrame sobre los suelos.

Ex-piletas: en la etapa de perforación de un pozo petrolero se utiliza agua mezclada con otros productos como son bentonita, baritina, polímeros, etc., denominándose a esta combinación **lodo de perforación**. Este lodo tiene múltiples funciones tales como refrigerante, controlador de filtrado, ayuda a la extracción del “cutting”, contener las paredes del pozo, controlar la presión de formaciones, etc. En ocasiones se utiliza en vez de agua, gasoil u otro derivado de hidrocarburo denominándose en este caso **lodo inverso**. Estos lodos, en base de agua o inverso, eran dispuestos en sitios denominados “piletas”, que consistían en una excavación con máquina vial, en una zona aledaña al pozo, generalmente revestida con una membrana plástica. Las mismas se utilizaban no solo para depositar los diversos tipos de lodos, sino también para alojar el petróleo extraído durante la etapa de puesta a punto del pozo. Una vez que el pozo era terminado se dejaban las piletas

abiertas para la evaporación. Con el tiempo esta situación generó una problemática ambiental, detectando que desde la altura, las aves confundían a estas piletas con espejos de agua, produciéndose la muerte de éstas al entrar en contacto con las piletas. Se decidió en la década de los '90 eliminarlas y para ello se procedió a rellenarlas con tierra de la zona. A partir de ese momento se generaron cientos de pasivos ambientales por la mezcla de los contenidos de las piletas con tierras limpias. En la actualidad por las altas temperaturas, en muchas de ellas se han producido revenimientos de petróleo, y en otros casos se sabe la ubicación de la pileta aunque no se observan afloramientos en superficie.

Cutting de perforación: se genera durante el proceso de perforación. Lo constituye todo el recorte producido por el trépano que es arrastrado a la superficie por el lodo de perforación. Estos recortes tienen las características de las formaciones geológicas atravesadas y están impregnados con los lodos utilizados. Es por esto que si se utilizan lodos de base hidrocarburo (inversos), en superficie se obtendrán recortes con porcentajes de hidrocarburo, que tienen que ser dispuestos y remediados al igual que las tierras empetroladas. También se dan casos durante el proceso de perforación, que cuando se atraviesa la formación de interés, se obtienen directamente en superficie **arenas empetroladas** pertenecientes al reservorio atravesado. El volumen de estas arenas se incrementa si la perforación es direccional siguiendo la formación productiva.

MARCO LEGAL

Es necesario para entender la actividad de remediación de pasivos ambientales generados por la actividad petrolera en la Provincia de Mendoza analizar el marco legal en la que se desenvuelve la misma. Conviven distintas normativas (nacional y provincial) que son de aplicación. En Anexo II se transcriben las principales normas que rigen esta actividad.

Como primeras conclusiones se tiene en cuenta que la ley nacional N° 24.051 es muy amplia, ya que al no contemplar valores límites, se consideran igual de peligroso a los residuos en bajas concentraciones respecto de la misma sustancia

en elevadas concentraciones. Es necesario definir un porcentaje mínimo por debajo del cual no se consideraría a un residuo como peligroso.

En la Provincia de Mendoza, la Dirección de Protección Ambiental, toma como parámetro de saneamiento en suelos, valores iguales o menores al 1% de TPH (hidrocarburos parafinicos totales) o su equivalente 10.000 ppm. Este valor ha sido adoptado a partir de las recomendaciones dadas por la API (American Petroleum Institute), por lo que sería conveniente darle a este valor un marco legal en la Provincia.

La superposición de normativas respecto de este tema genera ambigüedades en el ordenamiento del tema, ya que sigue vigente la resolución nacional N° 105/92 que en el punto 4.3.1.6. admite la utilización de tierras contaminadas con hidrocarburos, lo que contradice lo considerado como corriente Y48 (Resolución 897/02). De modo que la ausencia de límites mínimos admisibles para considerar la peligrosidad de un residuo petrolero, como la permisividad o no de su uso y disposición, son motivos de prioritario interés en la necesidad de regular el marco legal provincial.

**INFORMACIÓN SOBRE LOS MÉTODOS DE REMEDIACIÓN
DE TIERRAS EMPETROLADAS Y DEMÁS PASIVOS
AMBIENTALES**

TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Este apartado tiene el propósito de mostrar un conjunto de técnicas para tratar o remediar suelos contaminados. En el cuadro siguiente se describen las principales técnicas de remediación aplicables a los pasivos ambientales provenientes de la industria petrolera y a continuación se describen las mismas:

TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN						
AISLAMIENTO	FÍSICOQUÍMICAS	BIOLÓGICAS				TÉRMICAS
		Biodegradación in situ	Biodegradación ex situ on site	Biodegradación ex situ - off site	Fitorremediación in situ	
Tecnologías de pantalla	Extracción de vapores	Bioestimulación in situ	Landfarmig		Fitoextracción	Incineración
Vitrificación in situ	Inyección de aire	Bioventing	Biopilas		Rizofiltración	Desorción térmica
Reducción de la volatilización	Aireación	Bioslurping	Compostaje		Fitodegradación	
Estabilización / Solidificación	Bombeo de agua				Biodegradación estimulada por rizosfera	
	Enjuague de suelos				Fitoestabilización	
	Lavado de suelos				Fitovolatilización	
	Tratamiento electrocinético					
	Tratamientos químicos in situ					
	Barreras reactivas permeables					
	Inyección Profunda					

TÉCNICAS DE AISLAMIENTO

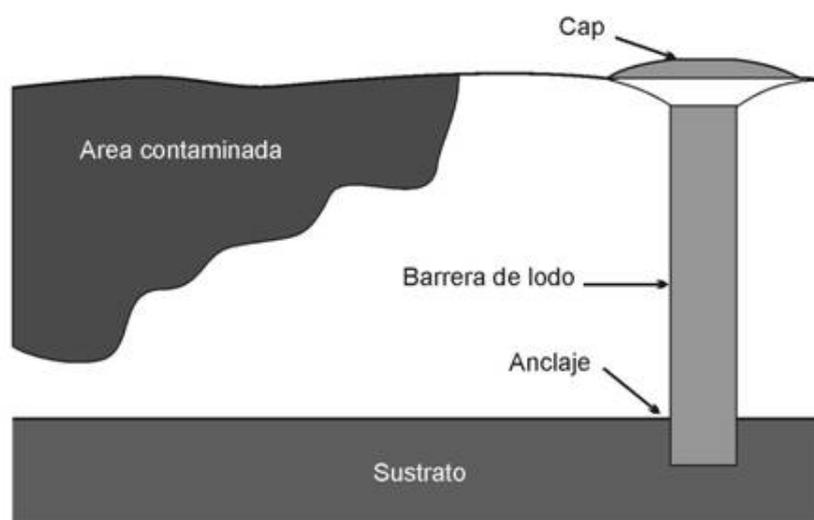
Tecnologías de Pantalla

Las tecnologías de pantalla tienen por objetivo la contención de los contaminantes en el subsuelo. Consisten en la introducción de paredes o barreras impermeables en el suelo de manera que se evita la migración de la contaminación. Por lo general se aplican cuando la descontaminación resulta técnica o económicamente inviable

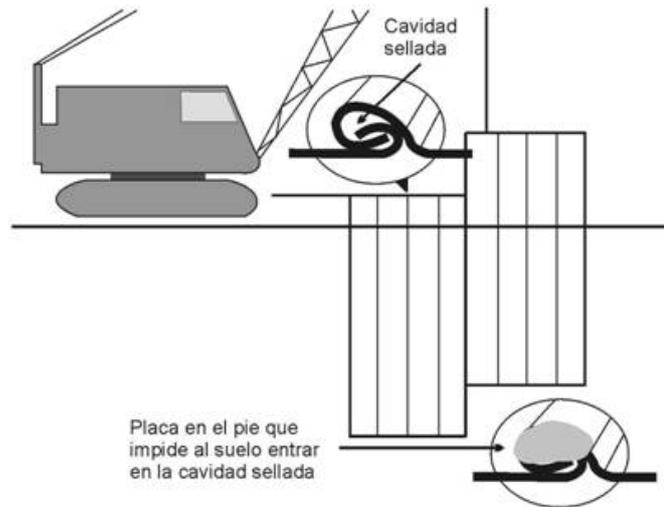
mediante alguna de las demás técnicas o cuando la contaminación está muy localizada.

Los tipos básicos de barreras empleados en esta técnica se describen a continuación:

- **Pantallas a base de lechadas:** consisten en trincheras verticales que se excavan alrededor del área contaminada y se rellenan con un lodo o lechada, que impermeabiliza el perímetro a aislar. El relleno estará constituido por mezclas más o menos complejas del propio suelo con arcillas especiales (sepiolita, bentonita, etc), que confieran mayor estanqueidad o determinadas propiedades filtrantes a la barrera. También el cemento puede utilizarse para aumentar el grado de confinamiento. En general se suele añadir una primera lechada, compuesta por agua y bentonita, de arriba hacia abajo, que evita el derrumbamiento; y, a continuación, la lechada de relleno, que se introducirá de abajo hacia arriba. Este tipo de barreras suelen tener profundidades máximas de 15 m, entre 0,6 y 1,2 m de espesor, y su mayor eficacia se consigue si quedan ancladas en una capa infrayacente de menor permeabilidad, como se observa en la siguiente figura:



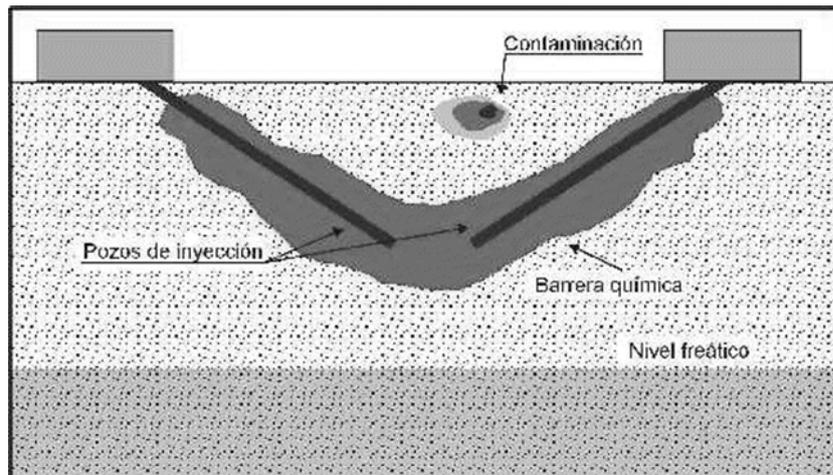
- **Pantallas de hormigón:** una vez excavada la zanja se introduce un panel de hormigón armado ya construido:



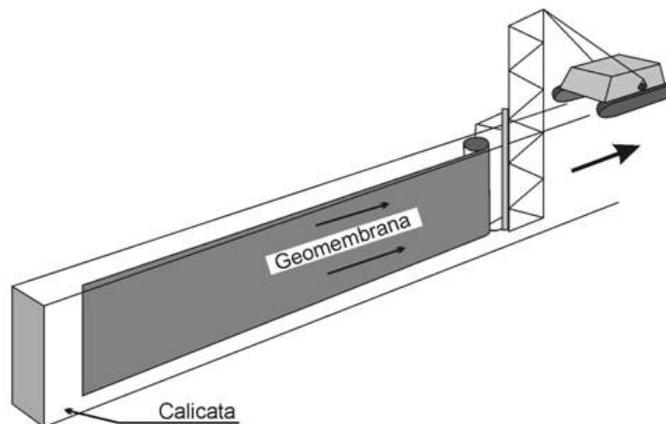
- **Pantallas por inyección de cemento:** consiste en impermeabilizar mediante inyección de una capa continua de cemento bajo todo el perímetro inferior del área contaminada. Para ello se introduce una estructura de varillas huecas inyectoras a través de las cuales se va añadiendo el cemento a alta presión. Una vez rellena toda la perforación se retira el varillaje. Esquema de la perforación:



- **Pantallas químicas:** como en el caso anterior, se inyecta bajo el área afectada un producto que impida la dispersión del contaminante, en este caso un agente químico, que en unos casos se emplea para reducir la permeabilidad del sustrato, y en otros, para reducir su toxicidad o movilidad:



- **Membranas sintéticas:** tras la correspondiente excavación de una zanja en el entorno del área contaminada, se introduce una geomembrana, que consiste en un elemento textil de diseño de muy baja permeabilidad:



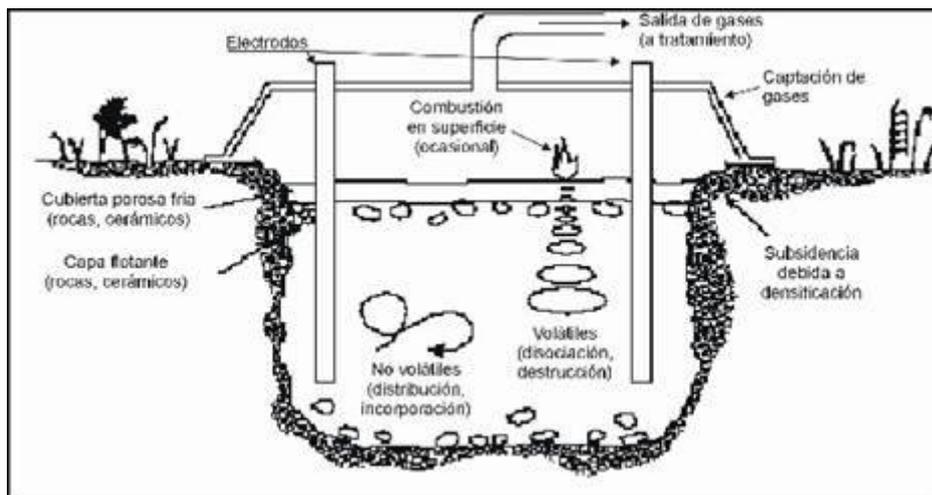
Vitrificación In Situ

Esta técnica se basa en el calentamiento y posterior fusión del suelo a muy alta temperatura (1600-2000 °C) utilizando una corriente eléctrica. La corriente se envía a dos electrodos que están introducidos según un diseño rectangular en la zona contaminada, provocando la fundición del suelo que queda entre ambos. A medida que el suelo se funde, los electrodos se van hundiendo, por lo que el suelo más profundo también se funde. Cuando se corta la energía eléctrica, el suelo fundido se enfría y vitrifica, es decir, se convierte en un bloque sólido de material parecido al vidrio. Los electrodos pasan a formar parte del bloque. Una vez vitrificado, el

volumen original del suelo se reduce. Esto hace que la superficie del suelo en el área quede levemente deprimida. Esta área se rellena con suelo limpio a fin de nivelar el suelo.

Mediante esta tecnología se consiguen dos formas de descontaminación:

- Los compuestos químicos inorgánicos (principalmente los metales pesados) queden atrapados en la masa vítrea formada. Se evita de esta forma que puedan ser lixiviados por la infiltración de agua de lluvia.
- Los compuestos orgánicos se destruyen y volatilizan a la temperatura de aplicación. Se hace necesaria la instalación de un sistema de recogida y depuración de gases en superficie. A continuación se presenta un esquema de un proceso de vitrificación con un sistema de recuperación de los gases emitidos para su tratamiento:



La vitrificación in situ constituye una alternativa agresiva, pero muy efectiva para contaminaciones polifásicas que incluyan compuestos muy refractarios, dioxinas o PCB, en comparación al resto de tratamientos a considerar. De momento es aplicable a problemas relativamente superficiales, se ha llegado a aplicar con éxito hasta unos 6 m de profundidad.

Algunos factores a tener en cuenta al utilizar esta técnica son los siguientes:

1. Humedad del suelo. Antes de nada se deben secar los suelos húmedos para evitar la formación de vapor. La emisión de vapor puede causar salpicaduras

en la superficie de material fundido a alta temperatura. Además, se pierde eficacia energética, ya que el calor generado se emplea en evaporar el agua y no en fundir el suelo.

2. Contenido en sales y ácidos. Los suelos ácidos con elevado contenido en sales van a presentar una elevada conductividad eléctrica, no ofreciendo resistencia al paso de la corriente, lo que va a dificultar su calentamiento.
3. Porosidad. Suelos excesivamente porosos disminuyen la eficacia de la corriente eléctrica.
4. Composición del suelo. Un exceso de escombros, cascotes, etc. o de materia orgánica combustible representan una limitación a la aplicación de esta técnica. Es necesaria una cantidad suficiente de materiales vitrificantes.

Reducción de la Volatilización

Con esta técnica lo que se pretende es evitar que los compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en el suelo se evaporen y escapen a la atmósfera. Hay que tener en cuenta que es una solución temporal previa a otras técnicas de aislamiento o de descontaminación. Para lograr el objetivo se puede seguir cualquiera de los tres métodos siguientes:

- **Reducción del volumen de poros llenos de aire:** el suelo se satura con agua para que los COV no escapen por los poros de la zona no saturada. Al hacer esto hay que tener cuidado si los compuestos volatilizados son solubles, ya que pasarían a formar parte de la disolución acuosa y podrían ser transportados fácilmente a otros sistemas. La reducción de la porosidad del suelo también se puede conseguir compactando el terreno.
- **Disminución de la temperatura:** se trata de evitar un calentamiento excesivo del suelo y, por consiguiente, de los compuestos orgánicos causantes de la contaminación, que ayude a su volatilización. Se ha de limitar la radiación neta que recibe el terreno mediante la implantación de algún tipo de estructura.

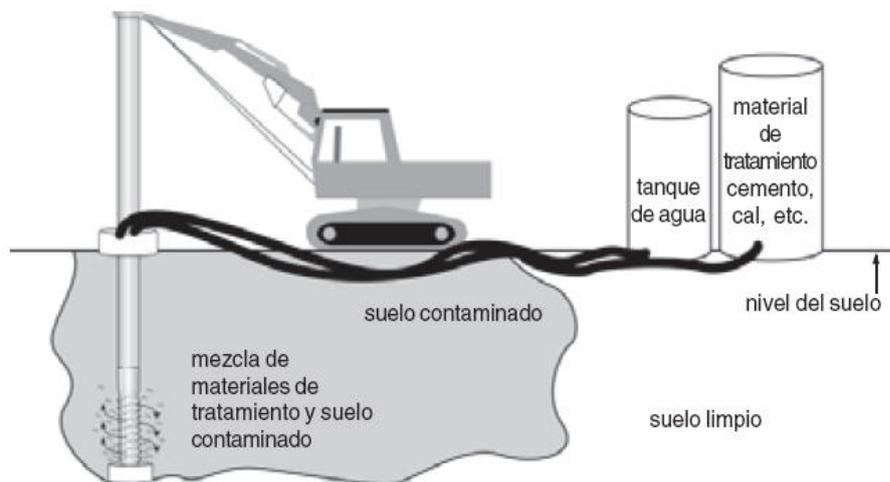
- **Sellado de la capa superficial:** aplicar una capa de hormigón a la parte superior del terreno para que los compuestos volatilizados no pasen de la superficie a la atmósfera.

Estabilización / Solidificación

Con esta técnica se pretende conseguir reducir la solubilidad, reactividad o movilidad de los elementos contaminantes mediante modificación de su estado químico o inmovilización física por un agente estabilizante (estabilización); o bien convertir el residuo con el contaminante en un sólido de manipulación sencilla y segura, evitando riesgos de volatilización, lixiviación o fugas (solidificación).

En general, estos métodos no van a destruir las sustancias contaminantes, sino que van a impedir su liberación o desprendimiento hacia el medio ambiente por procesos de lixiviación, reacciones químicas, etc.

El proceso puede esquematizarse de la forma que muestra el siguiente gráfico:



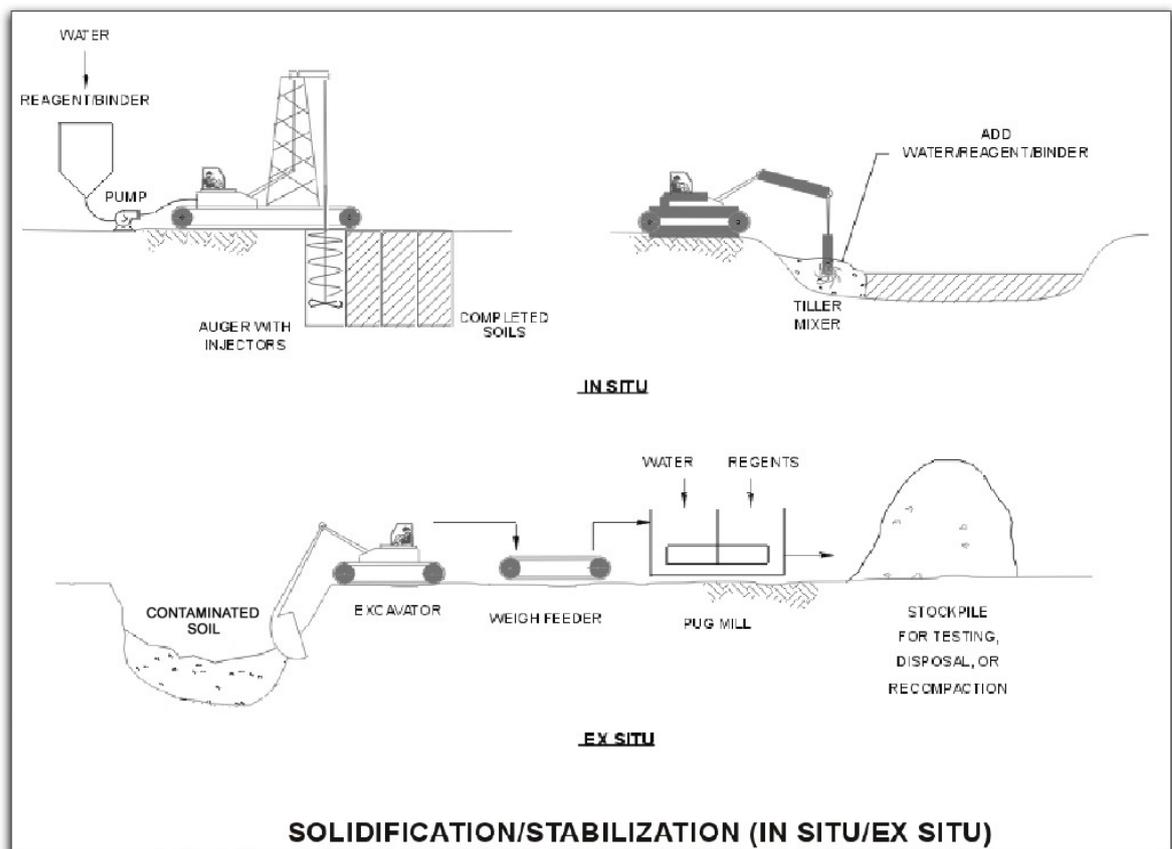
Son varios los aditivos químicos utilizados como estabilizantes, su compatibilidad dependerá del tipo de residuo a confinar.

En algunas circunstancias los métodos de estabilización/solidificación pueden requerir que el suelo sea excavado. El suelo o lodo contaminado se extrae y coloca en grandes mezcladoras en la superficie. La mezcladora combina el suelo o lodo con los materiales de tratamiento, como cemento y cal. Luego el suelo o lodo tratado

pueden ser colocados nuevamente en el sitio o depositados en un vertedero controlado.

En otros sitios, en lugar de excavar el suelo o lodo, los materiales de limpieza se pueden mezclar directamente bajo tierra. La mezcla se prepara con el uso de grandes barrenas o paletas rotatorias. Luego, el suelo o lodo tratado que queda en el sitio se cubre con suelo limpio o un pavimento.

Esta tecnología es adecuada cuando el suelo está contaminado por metales pesados y hay que tener en cuenta el contenido en materia orgánica del suelo, ya que ésta va a interferir negativamente al limitar la acción de los aditivos. Además, los efectos a largo plazo que pueden provocar los aditivos añadidos al suelo son aún desconocidos.

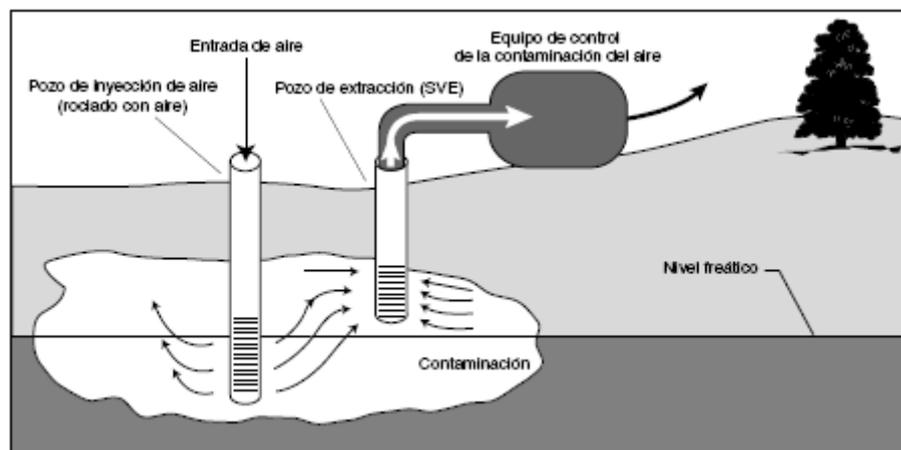


TÉCNICAS FISICOQUÍMICAS

Extracción de Vapores

La extracción de vapores (soil vapor extraction) es una técnica in situ que se aplica a la zona no saturada de suelos para la extracción de contaminantes volátiles de tipo orgánico. Consiste en la perforación de pozos por encima del nivel freático, en los que se genera un vacío, de forma que se bombean los COV contenidos en el suelo. La profundidad de aplicación de los pozos es de 1,5 metros, aunque se han aplicado satisfactoriamente hasta los 90 metros. Los gases que se extraen son recogidos y tratados, de forma que se separan los contaminantes para su tratamiento posterior o almacenamiento en condiciones de mayor seguridad.

Los pozos de extracción pueden combinarse con pozos de inyección de aire para favorecer la evaporación de los contaminantes. El número de pozos de inyección y de extracción para un área contaminada puede variar desde uno a cientos, en función de la extensión de la contaminación y de las características del suelo. En el siguiente esquema se representa el proceso de extracción de vapores con la mejora de pozos de inyección de aire:



Otras mejoras a la técnica básica que se pueden utilizar son las siguientes:

- Impermeabilizar la superficie mediante geomembranas impermeables que faciliten el flujo hacia los pozos y aumenten el radio de influencia de los mismos.
- Instalación de respiraderos.

- Inyección de aire caliente que aumente la temperatura y favorezca la volatilización de los COV.

Los factores a tener en cuenta para comprobar las limitaciones de la técnica son:

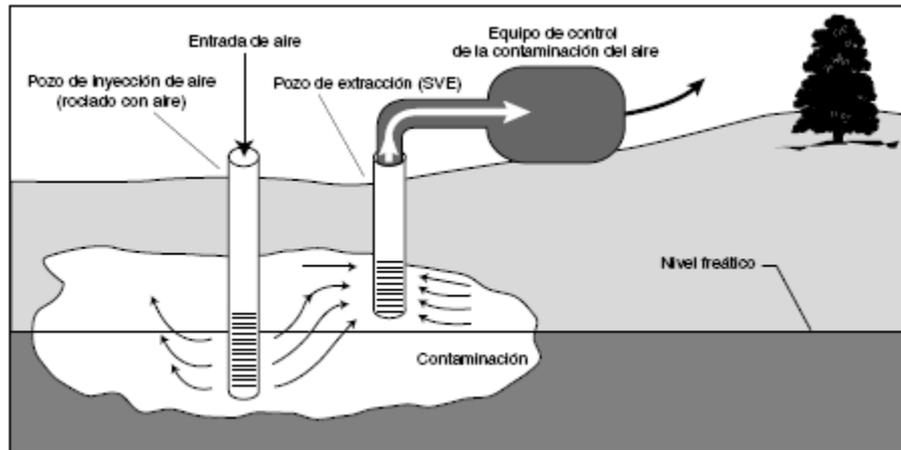
- Volatilidad: cuanto mayor sea la volatilidad de los contaminantes más fácilmente serán extraídos.
- Adsorción: no son métodos válidos cuando el suelo presenta una alta capacidad de adsorción, ya que los contaminantes van a estar retenidos en el suelo.
- Permeabilidad al aire: se generará una corriente de aire favorable cuanto más poroso sea el suelo.
- Temperatura: favorece la volatilidad.
- Humedad: desfavorable, los COV quedarán en el agua que hay en los poros al extraerlos y su tratamiento ex situ ya no puede ser el de una corriente gaseosa.

Por tanto, los contaminantes objetivo de extracción son los COV y algunos derivados del petróleo y la tecnología será aplicable sólo a los que presenten una presión de vapor mayor a 0,5 mmHg. La técnica no será aplicable para la eliminación de petróleos pesados, metales, PCB o dioxinas, pero como el proceso implica el flujo continuo de aire por el suelo, esto a menudo promueve la biodegradación in situ de estos compuestos orgánicos de volatilidad baja.

Inyección de Aire

La inyección de aire (air sparging) es una técnica in situ que se aplica a la zona saturada y a la zona de succión capilar y es complementaria a la extracción de vapores. Consiste en la introducción de aire por debajo del nivel freático a través de canales excavados verticales u horizontales. Estos últimos permiten el tratamiento de una mayor área. El aire inyectado hace burbujear la zona saturada y se desplaza el equilibrio vapor-líquido, volatilizándose los COV más insolubles, que se suelen

extraer mediante un sistema de extracción de vapores, como se muestra en el siguiente esquema:



Esta tecnología es diseñada para funcionar con altos caudales de aire para mantener el contacto entre aguas subterráneas y suelo y aumentar la cantidad de agua subterránea tratada. Además, el oxígeno añadido en la corriente de entrada a las aguas y al suelo de la zona no saturada estimula el crecimiento de microorganismos y, por tanto, la biodegradación de contaminantes por debajo y por encima del nivel freático.

Aireación

Se considera un método de eliminación pasiva para contaminantes volátiles. El suelo se excava y se vierte una fina capa, de unos 20 cm, sobre una superficie impermeable y se espera a que los COV se volatilicen. Para favorecer la volatilización se procede a la remoción periódica, por ejemplo, mediante el arado. El riego también favorece el proceso ya que el agua disuelve los contaminantes y produce su desorción y al evaporarse los arrastra hacia la superficie. Además, la humedad acelera la actividad de los microorganismos. También al extender el suelo se aumenta su temperatura y se expone a la acción de los vientos, con lo que aumenta la volatilización.

En general se trata de un proceso muy lento y tiene el inconveniente de que los contaminantes son devueltos directamente a la atmósfera, sin sufrir ninguna depuración. No obstante, estos compuestos devueltos a la atmósfera tienden a degradarse rápidamente. Los hidrocarburos reaccionan fácilmente con los radicales

hidroxilos atmosféricos, degradándose en un plazo que va desde un solo día para el dodecano hasta los 9 días para el benceno. Por otro lado, los disolventes clorados industriales se descomponen fotolíticamente con gran rapidez por acción de las radiaciones ultravioleta. La posible contaminación atmosférica se puede evitar si el suelo excavado es transportado a naves cerradas en las que se pueden recoger los gases para su posterior tratamiento y controlar las condiciones ambientales.

La principal ventaja de esta técnica es su bajo coste económico.

Bombeo de Agua

Técnica de tratamiento in situ que consiste en la perforación de varios pozos que lleguen hasta el acuífero contaminado para la extracción del agua con las sustancias nocivas. Se aplica en la eliminación de compuestos solubles. El agua que se ha extraído será sometida a algún método de depuración.

Al ser un proceso en el que se va a extraer agua subterránea, el nivel freático va a disminuir, lo que puede ser beneficioso si los contaminantes quedan retenidos en el suelo por encima de este nivel y no pasan a formar parte del acuífero.

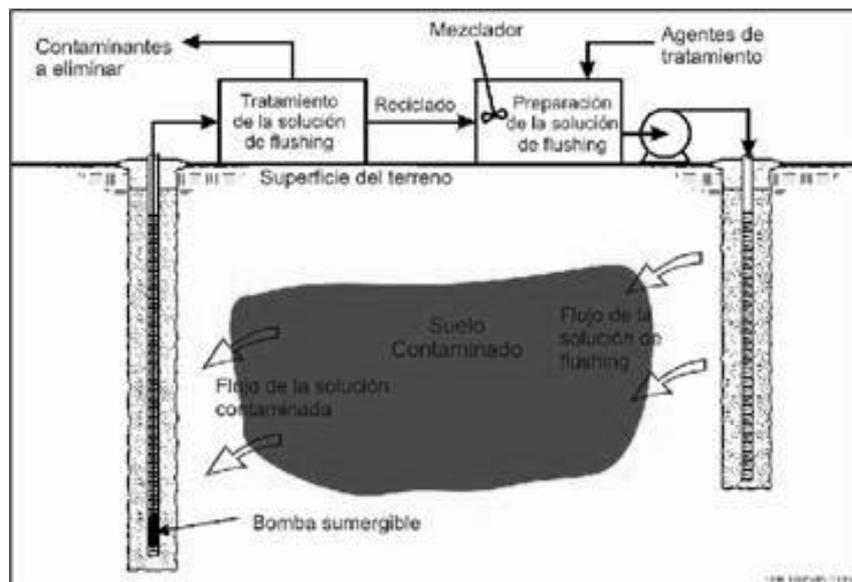
Como ventajas en el empleo de esta técnica destacan su rapidez y bajo coste. A su vez presenta una serie de inconvenientes o limitaciones:

- No aplicable a la zona no saturada
- Baja eficacia en la eliminación de compuestos poco solubles.
- Dificultad en el diseño y emplazamiento de los pozos (número, disposición, espaciado).
- Problemas derivados de la geología de la zona.
- Existe riesgo de desplazamiento de otros contaminantes a la zona tratada.

Enjuague de Suelos

Es una técnica, también conocida como “flushing in situ”, consiste en la inyección (mediante pozos, zanjas, sistemas de aspersión o sistemas de infiltración) de una

disolución de enjuague que ayude a movilizar los contaminantes para su posterior bombeo a la superficie mediante pozos de extracción. La solución extraída se trata en superficie y el efluente limpio proveniente de este tratamiento se puede reciclar como nueva disolución de enjuague. El esquema del proceso se muestra en la siguiente figura:



La disolución de enjuague va a aumentar la movilidad de los contaminantes por aumento de solubilidad, formación de emulsiones o reacciones químicas diversas y estará formada por agua o agua más aditivos, que variarán en función del tipo de contaminante que se desee extraer. En la siguiente tabla se muestran las disoluciones más comúnmente empleadas y los compuestos que se eliminan con cada una:

DISOLUCIONES EMPLEADAS EN EL ENJUAGUE DE SUELOS CONTAMINADOS	
Disolución de enjuague	Contaminantes a tratar
Agua	Contaminantes solubles en agua
Disolventes orgánicos	Contaminantes orgánicos
Disoluciones ácidas (HCl, HNO ₃)	Metales, contaminantes orgánicos
Disoluciones básicas (NaOH)	Fenoles, metales
Disoluciones tensioactivas (detergentes, emulgentes)	Contaminantes oleosos

Con el enjuague del suelo in situ se obtienen resultados óptimos en lugares donde hay espacios en el suelo que permiten el paso de la disolución de lavado (suelos arenosos). Sin embargo, si el suelo tiene un alto porcentaje de limo o arcilla, la solución de enjuague no puede desplazarse fácilmente en su interior, de modo que no puede entrar en contacto fácilmente con los contaminantes. Eso limita la eficacia general del proceso de enjuague del suelo. Además, algunos líquidos de enjuague contienen aditivos que podrían contaminar el agua subterránea si no se retiran por completo.

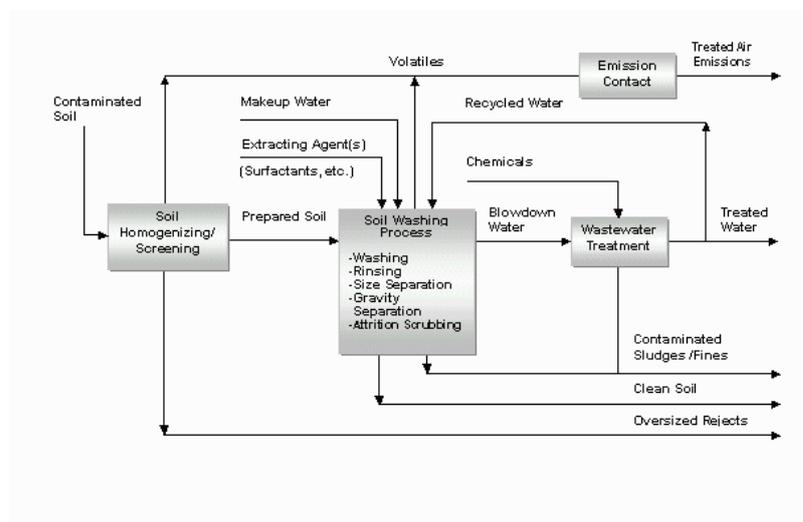
Otros problemas radican en la baja eficacia a la hora de tratar suelos contaminados con una mezcla de sustancias peligrosas, como metales y aceites, ya que es muy difícil preparar una disolución de enjuague capaz de retirar eficazmente varios tipos diferentes de contaminantes al mismo tiempo. Debido a esta desventaja no se aconseja su utilización para tratar suelos contaminados con hidrocarburos.

Lavado de Suelos (Lavado de Arenas)

El lavado de suelos o soil washing es una técnica de descontaminación ex situ en la que se extrae el suelo para ser tratado en instalaciones específicas en las que se eliminan los compuestos peligrosos que contenga mediante procesos químicos y físicos. El procedimiento consiste básicamente en el empleo de una disolución de lavado a base de agua y aditivos químicos y un proceso mecánico de separación de finos. Los contaminantes se eliminan, por tanto, por una de las siguientes vías:

- Disolviéndolos o suspendiéndolos en la disolución de lavado, que estará formada por agua y agentes tensioactivos (surfactantes). En todo momento se controla el proceso por manipulación química del pH.
- Concentrándolos en un volumen de suelo más pequeño a través de técnicas físicas de separación de partículas por tamaño (gravimetrías).

Los procesos físicos tienen su utilidad en la separación granulométrica de las fracciones más finas (limos y arcillas), siempre más contaminadas por su mayor capacidad de adsorción, de las más gruesas (arena, grava), siempre más limpias y más fácilmente depurables. Al concentrar los contaminantes en un volumen menor mediante estos métodos, pueden ser eliminados de una manera más eficaz en un tratamiento posterior o recirculando las arcillas a la disolución de lavado. Las fracciones gruesas y las finas que hayan conseguido ser limpiadas se devuelven al lugar de donde fueron extraídos. Se muestra a continuación un esquema básico del proceso, que incluye además un sistema de depuración de emisiones gaseosas:



Una mezcla compleja de contaminantes en el suelo, como por ejemplo una mezcla de metales, COP y COV, y composiciones de contaminante heterogéneas en todas partes de la mezcla de suelo hacen que sea difícil formular una sola disolución de lavado que elimine de manera eficaz todos los tipos de contaminantes. En estos casos se requiere un lavado secuencial, usando diferentes soluciones de lavado y/o distintas partes del suelo en disoluciones diferentes.

El lavado de suelos se considera una tecnología de transferencia de contaminación, en la que el agua procedente de los procesos de limpieza del suelo tendrá que ser tratada mediante la técnica adecuada, según los contaminantes que presente.

En algunos casos resulta necesario combinar el lavado del suelo con otras técnicas de tratamiento, pero puede usarse para tratar una amplia gama de contaminantes, principalmente metales, derivados del petróleo, COV y plaguicidas. La capacidad de recuperación será mayor en suelos de grano grueso.

Tratamiento Electrocínética - Electroquímico

Esta técnica es aplicable a la zona saturada del suelo y consiste en la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad (que reduzca costes y respete a los organismos de la zona) entre dos electrodos cerámicos introducidos en la zona contaminada, para provocar la migración de las especies con carga. Los iones metálicos, iones de amonio y compuestos orgánicos cargados positivamente migrarán hacia el cátodo; mientras que los aniones cloruros, cianuros, fluoruros, nitratos y compuestos orgánicos cargados negativamente lo harán hacia el ánodo. Alrededor del ánodo se generan condiciones ácidas, que pueden ayudar a movilizar los contaminantes metálicos para su transporte al sistema colector del cátodo. Si se va a aplicar a la zona no saturada, será necesaria una purga de agua.

Los dos mecanismos primarios de transporte de contaminantes son:

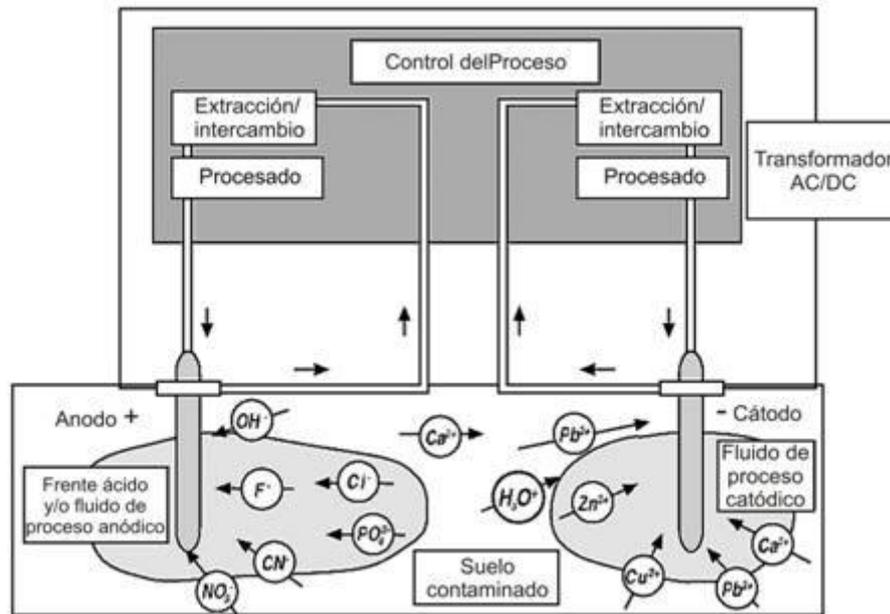
- Electromigración: movilización de los contaminantes en forma iónica a favor del campo eléctrico. Representa el movimiento de las partículas en disolución en el agua intergranular del suelo o subsuelo, sobre la base de su comportamiento iónico.

- Electroósmosis: representa el movimiento del líquido en relación a las cargas estacionarias de las superficies sólidas. Se produce una movilización en masa del líquido, como consecuencia de la interacción con las paredes de los poros. Se debe a que en las superficies no equilibradas de las partículas del suelo predominan las cargas negativas, que atraen al líquido hacia el ánodo, que se comporta como un gran catión. Las especies orgánicas o inorgánicas no iónicas pueden ser transportadas en este flujo de agua inducido.

Existen a su vez dos técnicas de eliminación de los contaminantes:

- Extracción: el mecanismo de transporte en este caso es la electromigración, los contaminantes se van a concentrar en los electrodos polarizados para su extracción y posterior tratamiento ex-situ. La extracción en los electrodos se puede realizar de varias maneras entre las que destacan: galvanoplatear en el electrodo, precipitación o co-precipitación en el electrodo, bombeo del agua cercana al electrodo, o utilización de resinas de intercambio iónico. Esta técnica se usa en suelos contaminados con metales.
- Tratamiento sin extracción: el mecanismo de transporte que actúa es la electroósmosis, que se produce en las zonas de tratamiento colocadas entre ambos electrodos. La polaridad de los electrodos se invierte periódicamente para invertir el flujo de contaminantes a través de las zonas de tratamiento. La frecuencia con la que es invertida la polaridad se determina en función de la tasa de transporte de los contaminantes a través del suelo. Esta técnica se aplica en suelos con contaminados con compuestos orgánicos.

A continuación se muestra un esquema del proceso de tratamiento electrocinético:



El procedimiento tiene la ventaja de que apenas si resulta influenciado por la textura o la permeabilidad del suelo, factores limitantes de otras técnicas, aunque como inconvenientes tiene el consumo energético elevado, que está limitado a la eliminación de metales y algunos compuestos orgánicos y que es posible una reducción en la eficacia del proceso por precipitación de sales y compuestos orgánicos.

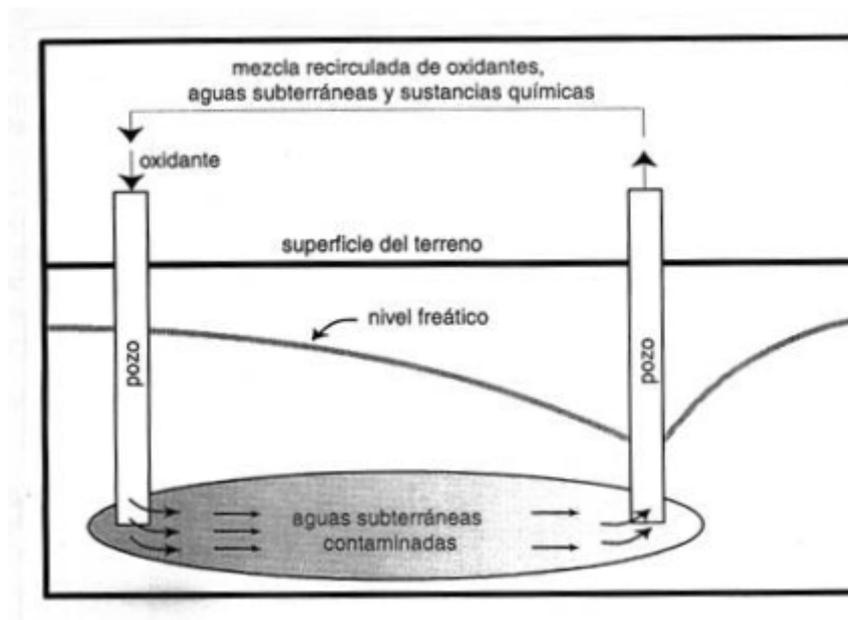
Estudios a escala piloto indican que los gastos de energía en la extracción de metales del suelo pueden ser de 500 kWh/m³ o más cuando hay un espaciado de electrodos entre 1 y 1,5 metros. Los costes variarán con la cantidad de suelo a tratar, con la conductividad del suelo, con el tipo de contaminante, con el espaciado de electrodos y con el tipo de diseño de proceso empleado.

Tratamientos Químicos In Situ

Consisten en la eliminación total o parcial de los contaminantes presentes en un suelo mediante la aplicación de agentes químicos. Como no es posible hacer llegar un flujo de tales agentes químicos descontaminantes a la zona afectada, es necesario recurrir a procesos de mezclado, o de inyección de los productos químicos en el suelo. A continuación se describen los procesos de oxidación química y de cloración.

- **Oxidación química**

La tecnología más empleada es la oxidación química, en la que se van a transformar compuestos susceptibles de ser oxidados (aldehídos, ácidos orgánicos, fenoles, cianuros, plaguicidas, compuestos organoclorados) en otros compuestos inocuos, como agua y dióxido de carbono. La técnica se base simplemente en la introducción en el terreno de los oxidantes, a través de pozos a diversas alturas, sin que sea necesario bombear los productos de la oxidación. No obstante, se observa que se obtiene una mayor efectividad de la técnica si establece un sistema cerrado, re-inyectando lo obtenido por el pozo de extracción, con ello se ayuda a que se mezcle mejor el oxidante con los productos que constituyen la contaminación, como se observa en la siguiente figura:



Los oxidantes más comúnmente empleados son:

- Ozono (O_3): el ozono puede oxidar los contaminantes directamente o por la formación de radicales hidroxilo ($HO\bullet$). Junto con el peróxido de hidrogeno (H_2O_2), las reacciones de oxidación que induce el ozono son las más eficaces en medios ácidos. La reacción de oxidación es de cinética de primer orden, lo que hace que sea sumamente rápida. Aunque su carácter gaseoso hace problemático su manejo. Debido a su alta reactividad e

inestabilidad, se debe producir en puntos cercanos al lugar de tratamiento. Por otro lado, la descomposición in-situ del ozono puede conllevar una oxigenación beneficiosa que favorezca la bio-estimulación.

- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2): al utilizar el peróxido de hidrógeno en forma líquida en combinación con el ión ferroso (Fe^{2+}) se da lugar a lo que se conoce como reactivo Fenton, que induce la formación de radicales hidroxilo (HO^\bullet), unos oxidantes muy fuertes no específicos que pueden degradar rápidamente gran variedad de compuestos orgánicos. Las reacciones son sumamente rápidas y siguen una cinética de segundo orden. Este proceso es muy efectivo bajo condiciones muy ácidas ($pH = 2-4$), y resulta ineficaz en condiciones moderadas o fuertemente alcalinas.
- Permanganato: se introduce en el suelo en forma líquida en disolución o en forma sólida combinado con el potasio ($KMnO_4$) o el sodio ($NaMnO_4$), y es más económico que los oxidantes anteriores. La estequiometría de reacción del permanganato en sistemas naturales es compleja debido a sus múltiples estados de valencia. Las reacciones de oxidación son algo más lentas que en el caso del ozono y el peróxido, y siguen una cinética de segundo orden. Dependiendo del pH del medio, la oxidación puede ser por transferencia directa de electrones o por generación de radicales. Las reacciones del permanganato son efectivas sobre un rango de pH de 3,5 a 12.

La oxidación química es una técnica muy adecuada para la eliminación de ciertos contaminantes orgánicos, sobre todo cuando éstos se encuentran a profundidades considerables, a las que otros métodos no pueden llegar. Pero va a resultar un método caro de remediación.

- **Descloración**

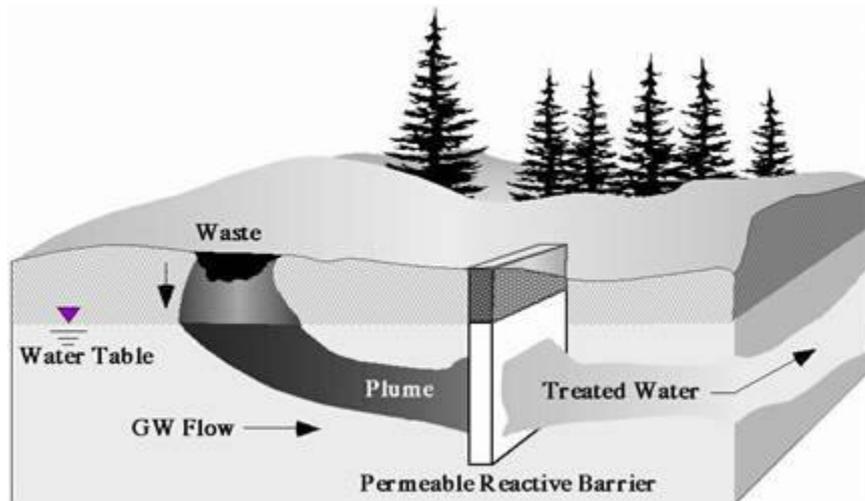
Consiste en la inyección en el suelo de aditivos como la cal viva (CaO), $Ca(OH)_2$ o $NaOH$, que provocarán un aumento en el pH del suelo hasta valores de 9-11 y un aumento de calor al reaccionar el suelo con ellos. Esta

combinación de calor y alcalinidad provoca la descloración de los PCB, que se desprenden de los átomos de Cl presentes en su estructura química.

Barreras Reactivas Permeables

Las barreras reactivas permeables (BRP) o PRB, según sus siglas en inglés, 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.

Las PRB se construyen cavando una zanja larga y estrecha en el camino de las aguas subterráneas contaminadas. La zanja se llena de material reactivo capaz de eliminar las sustancias químicas dañinas. Los materiales reactivos se mezclan con arena para facilitar que el agua fluya a través de la pared, en lugar de alrededor de ella. A continuación se expone un esquema básico del funcionamiento de esta técnica:



Los materiales o compuestos reactivos van a eliminar los contaminantes presentes en el agua de dos maneras posibles:

- **Degradación:** las sustancias dañinas se transforman mediante reacción química en compuestos inocuos o inofensivos. Por ejemplo, el hierro granulado puede transformar algunos tipos de disolventes que presentes compuestos clorados en sustancias químicas inofensivas. También se puede

conseguir la degradación de los contaminantes estimulando el crecimiento de microorganismos que transforman en su metabolismo las sustancias perjudiciales en CO₂ y agua. Para ello las paredes de las barreras estarán rellenas de nutrientes y oxígeno.

- **Adsorción o retención:** las sustancias químicas quedan atrapadas en las paredes de la barrera permeable. Se utiliza carbón activo, que es capaz de adsorber las sustancias en su superficie; y agentes precipitantes como la caliza, que provocan la precipitación de los compuestos nocivos en forma de sólidos que quedan retenidos en las paredes de la barrera.

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.

Algunos de los contaminantes que pueden ser eliminados de las aguas subterráneas empleando la técnica de las barreras reactivas se exponen en la siguiente tabla, que contiene además el material reactivo correspondiente:

COMPUESTOS ELIMINADOS UTILIZANDO BRP	
Contaminantes a tratar	Agentes tratantes
Halocarbonos (CFC's...), metales reducibles	Hierro metálico granulado
Halocarbonos, metales reducibles	Metales reducidos
Halocarbonos	Pares de metales
Metales (Cr, Ni, Pb, Cu, Mn, U, As, Se, V...), aguas ácidas	Calizas
Metales, compuestos orgánicos (tetracloroetano, tricloroetano, cloruro de vinilo...)	Materiales adsorbentes (carbón activo)
Metales reducibles, compuestos orgánicos	Agentes reductores
Hidrocarburos del petróleo (BTX...)	Aceptores biológicos de electrones

Para el diseño de las BRP se hace necesaria la realización de una compleja modelización del comportamiento del agua subterránea que incluya la modelización de su flujo y la modelización del transporte de partículas o plumas dentro de ese flujo.

Una vez construidas, 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.

Las BRP constituyen una técnica emergente en el tratamiento de aguas subterráneas que está demostrando gran eficacia y que, además, presenta considerables ventajas económicas frente a otras técnicas como el bombeo y posterior tratamiento en superficie (pump and treat). Por otro lado cuenta con una serie de limitaciones o inconvenientes:

- Lentitud, ya que depende del flujo natural de agua subterránea.
- Dificultad de construcción y diseño.
- Los materiales reactivos usados van a ir perdiendo propiedades con el tiempo. Por ejemplo, el carbón activo dejará de adsorber contaminantes cuando se sature.

Inyección Profunda

El método de inyección profunda consiste en retornar mediante reinyección materiales sólidos remanentes del proceso productivo de hidrocarburos a las formaciones productivas de origen.

Los hidrocarburos producidos en las operaciones de extracción suelen contener altos porcentajes de sólidos, principalmente arenas. Este material, el cual se deposita en los fondos de tanques de los diversos procesos que atraviesa el crudo, está conformado por arena producida con el petróleo y agua de formación. La tecnología a utilizar es conocida como “Inyección de lechada o lodo mediante fractura hidráulica”.

Debido a las propiedades reológicas de la lechada, como viscosidad y densidad, es necesario elevar la presión de inyección de manera de fracturar hidráulicamente el reservorio para que el mismo pueda receptor el fluido.

La inyección se realiza en forma intermitente con el objetivo de permitir la difusión de la fractura en la formación y la separación del fluido (que penetrará hacia zonas alejadas del pozo) de los sólidos (que permanecerán en las cercanías del pozo).

La principal característica que debe satisfacer el reservorio en el cual se inyectará la lechada es un alto valor del producto “permeabilidad x espesor”. Los comportamientos y características deseables son:

- 1) Rápida difusión de la presión de fractura. Esto es necesario para continuar inyectando en un tiempo razonable.
- 2) Continuidad lateral: asegura suficiente almacenamiento del agua inyectada.
- 3) Roca sello: arcilla que evite migración de fluidos y posible crecimiento de fractura hacia zonas superiores.

TÉCNICAS BIOLÓGICAS

BIODEGRADACIÓN IN SITU

Bioestimulación In Situ

La biorremediación es el proceso mediante el cual, los microorganismos (bacterias, hongos, etc) autóctonos o inoculados de una zona, degradan (metabolizan) los contaminantes orgánicos presentes en la misma. Para que los microorganismos (principalmente las bacterias) puedan eliminar las sustancias químicas dañinas, el suelo y las aguas subterráneas deben tener la temperatura, los nutrientes y la cantidad de oxígeno apropiados. Esas condiciones permiten que los microorganismos crezcan y se multipliquen, y asimilen más sustancias químicas. Las condiciones o factores que influyen en la eficacia de este proceso se resumen en la siguiente tabla:

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA BIORREMEDIACIÓN			
Factores favorables		Factores desfavorables	
Características químicas	Características hidrogeológicas	Características químicas	Características hidrogeológicas
- Abundancia de hidrocarburos alifáticos lineales y escasa presencia de resinas y asfaltenos	- Porosidad media	- Componentes muy pesados abundantes en la mezcla	- Rocas fracturadas
- Concentraciones bajas	- Elevada permeabilidad	- Mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos	- Baja permeabilidad
- Presencia de poblaciones microbianas diversas	- Mineralogía uniforme	- Concentraciones tóxicas	- Compleja mineralogía
- Adecuada oxigenación	- Homogeneidad	- Escasa actividad microbiana	- Heterogeneidad
- pH = 6-8		- Ambientes anóxicos	
- Temperaturas superiores a 15 °C		- pH extremos	
		- Temperaturas bajas	

Con la bioestimulación o biorremediación acelerada lo que se pretende es acelerar el proceso de biodegradación natural proporcionando nutrientes y/o nuevos microorganismos a una zona contaminada con compuestos orgánicos para proceder a su transformación en compuestos inofensivos.

La técnica consiste en perforar pozos por los que, por unos se introducen los nutrientes o los microorganismos en disolución acuosa en a la zona saturada, y por otros se extrae agua que se depura puede ser reintroducida en el acuífero.

La biodegradación se puede dar en condiciones aerobias o anaerobias:

- **Biodegradación aerobia:** en presencia de oxígeno suficiente (condiciones aerobias) y otros nutrientes elementales, los microorganismos degradarán los contaminantes orgánicos hasta convertirlos finalmente en dióxido de carbono, agua y nueva biomasa celular. En la bioestimulación es común la inyección del agua junto con los nutrientes y oxígeno disuelto, que favorezca el proceso. En algunas ocasiones y para microorganismos concretos se puede añadir peróxido de hidrógeno disuelto, que dará lugar al oxígeno para que éste actúe como aceptor final de electrones. En los lugares contaminados situados en zonas de clima frío donde la temperatura del agua es baja, el proceso es menos eficaz. En estas situaciones se emplean como elementos paliativos mantas de calor, que se sitúan cubriendo la superficie del terreno y ayudan a aumentar la temperatura del suelo y la tasa de degradación.
- **Biodegradación anaerobia:** en ausencia de oxígeno (condiciones anaerobias), los contaminantes orgánicos son metabolizados hasta metano y cantidades limitadas de dióxido de carbono e hidrógeno molecular. Bajo condiciones sulfato-reductoras, el sulfato es transformado a ión sulfuro o azufre elemental; y bajo condiciones nitrato-reductoras se genera como producto final nitrógeno molecular. A menudo, los contaminantes son degradados a compuestos intermedios o finales que son más tóxicos que el contaminante inicial. Por ejemplo, la biodegradación anaerobia del 1,1,1-tricloroetano, más conocido como TCE, generará cloruro de vinilo, más tóxico y persistente. Este COV puede ser degradado si se crean condiciones aerobias.

La bioestimulación in situ se usa satisfactoriamente en el tratamiento de suelos, lodos y aguas subterráneas contaminados con hidrocarburos, derivados del petróleo, pesticidas, disolventes, conservantes de la madera y otras sustancias químicas orgánicas.

En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de microorganismos utilizados en la biodegradación de compuestos orgánicos volátiles (COV):

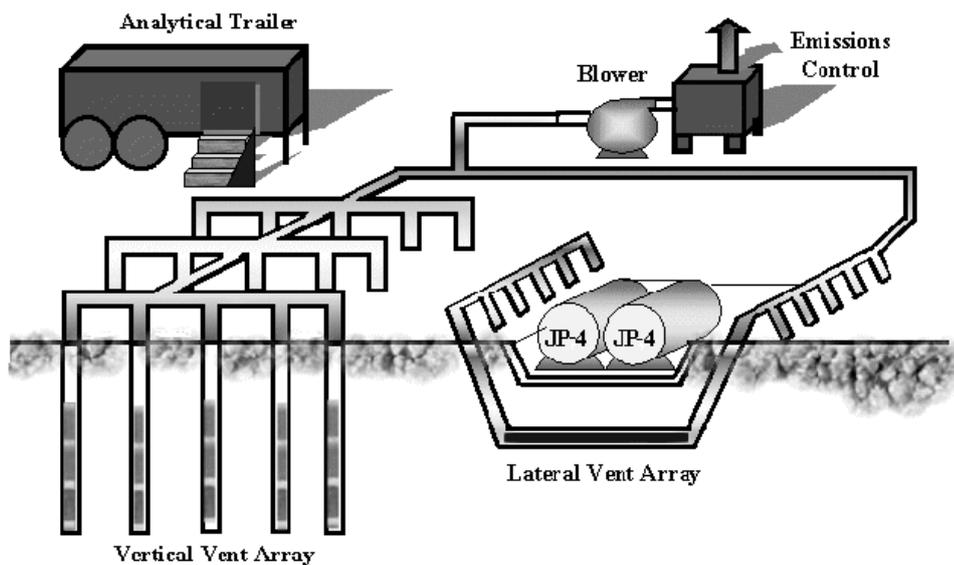
MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN AL DEGRADACIÓN DE COV	
Compuesto	Géneros utilizados
<u><i>AEROBIOS</i></u>	
Clorobencenos	Alcaligenes, Pseudomonas
Clorofenoles	Alcaligenes, Arthrobacter, Flavobacterium, Pseudomonas, Rodococcus
Clorobenzoatos	Acinetobacter, Alcaligenes, Arthrobacter, Corynebacterium, Flavobacterium, Pseudomonas
Clorotoluenos	Pseudomonas
<u><i>ANAEROBIOS</i></u>	
Monoclorobenzoato	Desulfomonile tiedjei

La biorremediación presenta una serie de ventajas e inconvenientes respecto a otras técnicas de descontaminación de suelos, resumidos en el siguiente cuadro:

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS	
Ventajas	Inconvenientes
- Posibilidad de aplicarse in situ o ex situ	- Tiempo de proceso largo
- Bajo coste de operación	- Efectiva sólo en condiciones superficiales
- Apenas se generan residuos	- Aplicable sólo a hidrocarburos biodegradables
- No requiere de equipamientos especializados para su aplicación	- Inviabile bajo determinadas condiciones

Bioventing

El bioventing es una técnica de tratamiento biológico in situ que combina la ventilación mecánica de los COV con la utilización de microorganismos autóctonos para degradar compuestos orgánicos adsorbidos por el suelo en la zona no saturada. Mediante esta tecnología, la actividad de las bacterias es estimulada introduciendo un flujo de aire en la zona no saturada por medio de pozos de inyección. Si fuera necesario, también se añadirían nutrientes para favorecer el proceso, cuyo esquema de funcionamiento se presenta a continuación:



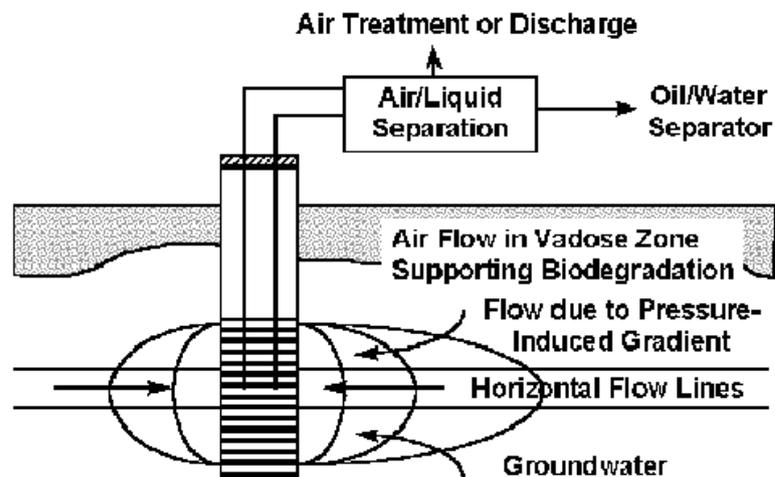
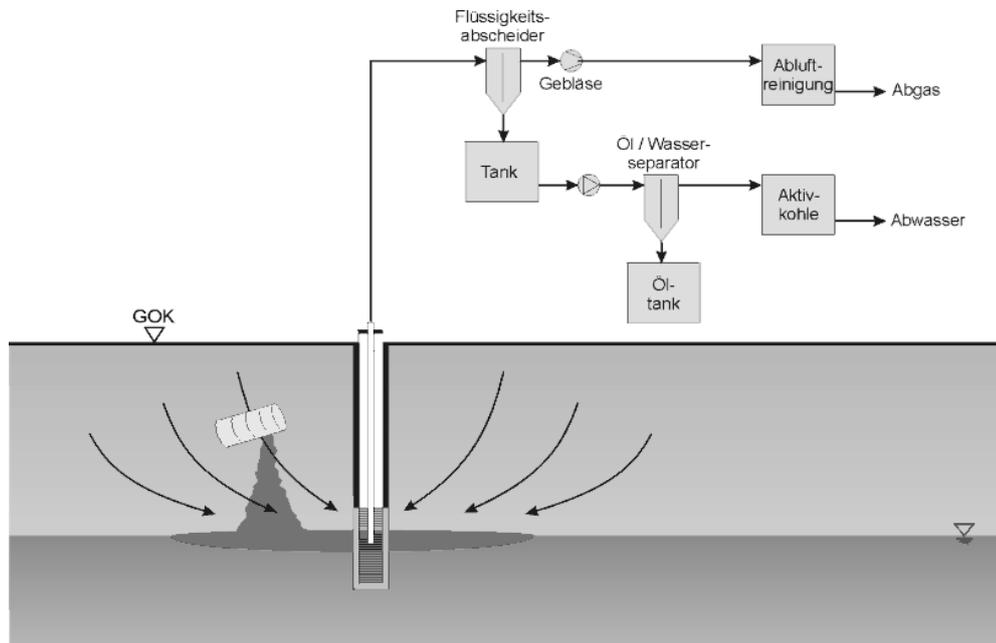
En contraste con la técnica de extracción de vapores, en el bioventing se utilizan bajos caudales de aire, para proporcionar sólo el oxígeno suficiente para mantener la actividad microbiana. El aire se suministra de forma directa a la zona contaminada, y, además de la biodegradación de los hidrocarburos adsorbidos al suelo, se favorece un lento flujo de los compuestos volátiles, que pueden ser degradados al atravesar el suelo biológicamente activo.

La tecnología del bioventing ha sido satisfactoriamente utilizada en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo, disolventes no clorados, algunos pesticidas, conservantes de la madera y otros compuestos orgánicos. A pesar de no ser una técnica aplicable a la eliminación de compuestos inorgánicos, la biorremediación puede ser usada para cambiar la valencia de algunos de esos compuestos para que puedan ser adsorbidos en el suelo o bioacumulados en micro y macroorganismos.

Bioslurping

El bioslurping 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 y en el agua capilar. Se muestra a continuación un esquema del proceso:

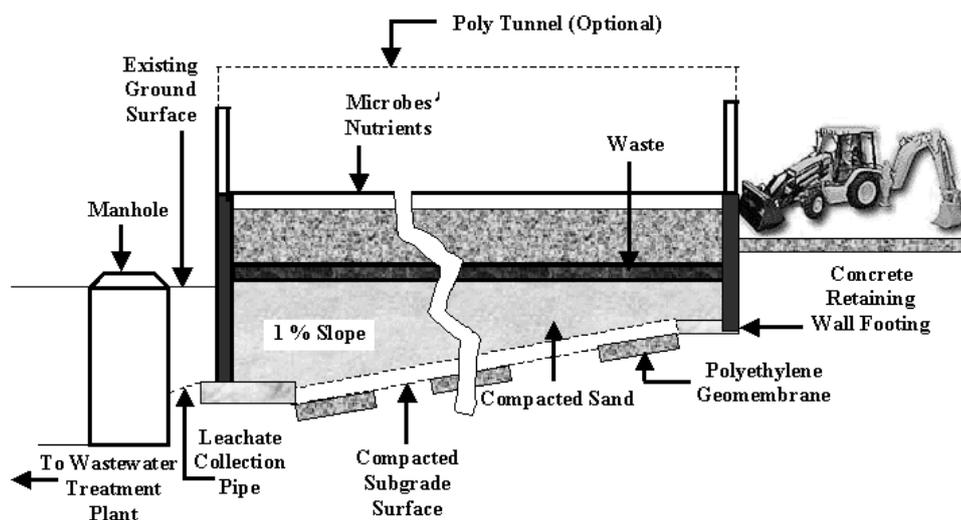


El bioslurping se ha utilizado satisfactoriamente en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo. Es una tecnología rentable que combina la descontaminación de la zona no saturada con la extracción de compuestos contaminantes que se encuentran flotando en el agua subterránea. Es aplicable incluso en zonas donde el nivel freático se encuentra a más de 10 metros de profundidad.

BIODEGRADACIÓN EX SITU ON SITE

Landfarming

El landfarming es una tecnología de biorremediación ex situ que requiere la excavación de los suelos contaminados y su disposición sobre una superficie impermeable (normalmente algún tipo de geomembrana). Esta geomembrana está dispuesta sobre la superficie del terreno adyacente a la zona contaminada o en una pequeña piscina excavada cerca de esta zona y sobre la que se vierte el suelo a tratar. Además, el proceso cuenta con un sistema de drenaje para la recolección de lixiviados, que deberán recibir algún tratamiento posterior:



La descontaminación se basa en la acción de los microorganismos presentes en el suelo, por lo que la utilidad de tratarlos ex situ reside en poder controlar fácilmente las condiciones óptimas de biodegradación de los compuestos orgánicos. Fundamentalmente se controlan las siguientes condiciones:

- **Contenido en humedad:** se añade agua mediante un sistema de riego.
- **Aireación:** el suelo es volteado por métodos mecánicos periódicamente.
- **pH:** debe permanecer cerca de la neutralidad, por lo que se añadirán enmiendas calizas en caso de aumentar la acidez.
- **Otras enmiendas:** nutrientes, inoculación de microorganismos.

Por lo general, los contaminantes son tratados en levantamientos de medio metro de espesor. Cuando se consigue el grado de depuración deseada se retira este suelo y se añade una nueva capa, aunque puede ser útil retirar sólo la parte superficial del primer montón y verter sobre el mismo nuevo residuo a tratar para que se aproveche la actividad microbiana existente.

El landfarming se usa satisfactoriamente en el tratamiento de lodos de refinería que contienen hidrocarburos del petróleo. Si existen compuestos muy volátiles en la mezcla, éstos pueden ser emitidos a la atmósfera antes de ser degradados por los microorganismos. La tasa de degradación se reduce si:

- Los hidrocarburos son muy pesados.
- Los compuestos presentan anillos en su estructura química, como es el caso de los HAP.
- Presentan cloro o nitrógeno.

Biopilas

Las biopilas constituyen una tecnología de biorremediación ex situ en la cual el suelo contaminado con hidrocarburos es extraído y dispuesto en un área de tratamiento o piscina previamente excavada para su descontaminación con microorganismos.

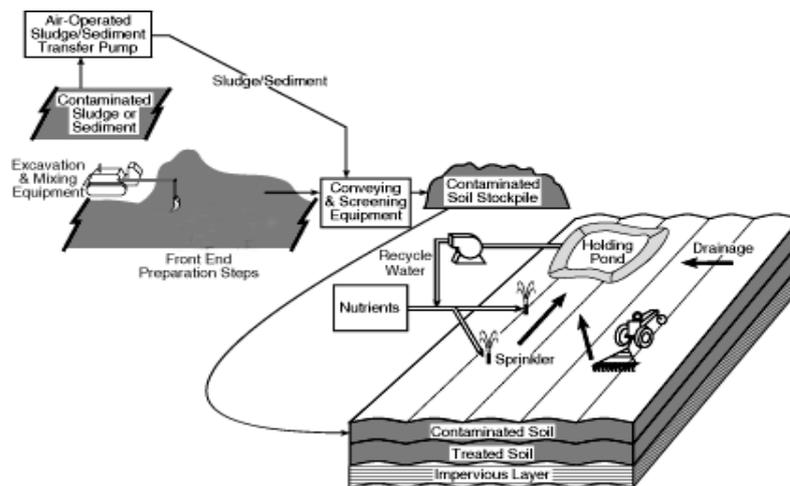
Las biopilas se utilizan cuando la sustancia contaminante es demasiado volátil como para ser tratada con la técnica de landfarming, ya que las emisiones gaseosas serían demasiado altas, o cuando se quiere acelerar el proceso de biorremediación.

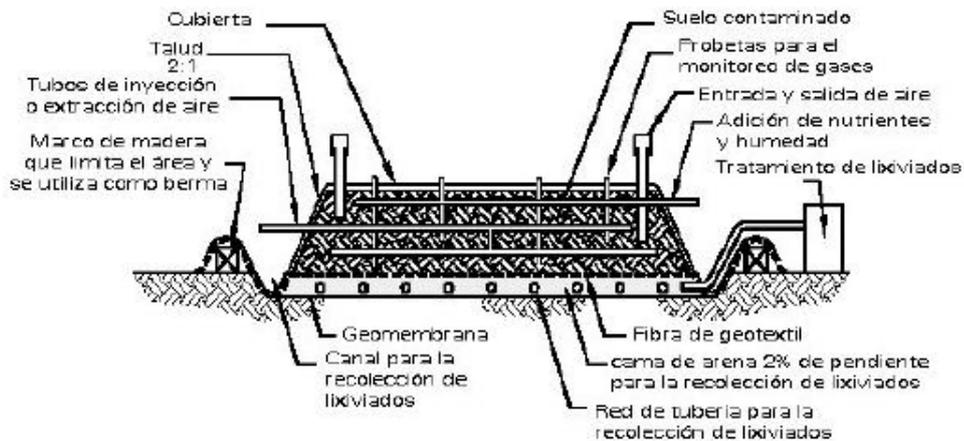
La zona de tratamiento incluye sistemas de recolección de lixiviados y un sistema de aireación que cuenta con una serie de tuberías de PVC que son colocadas durante la construcción. Estas cañerías están interconectadas a un soplador de presión negativa o de vacío, que fuerza al oxígeno atmosférico a pasar a través de la pila de suelo. También se controlan otros parámetros como la humedad, la temperatura, los nutrientes o el pH. Existen en el mercado aditivos químicos específicos cuyas propiedades nutritivas pueden estimular la biodegradación. De esta manera se tiene un alto control sobre las condiciones de remediación y el medio.

La base de la piscina de tratamiento estará cubierta con una superficie impermeable para reducir al mínimo el riesgo de lixiviación de los contaminantes al suelo limpio que queda debajo. Los lixiviados recogidos por el sistema de drenaje pueden ser tratados en un biorreactor en la misma zona.

Los montones de suelo no suelen exceder los 2 o 3 metros como máximo y pueden estar cubiertos en la parte superior por plásticos impermeables para controlar la volatilización de los COV, que deberán ser tratados antes de su emisión a la atmósfera.

A continuación se muestra un esquema general del proceso y de una biopila:





El tratamiento de suelos mediante biopilas se aplica fundamentalmente para la eliminación de COV no halogenados e hidrocarburos. Los COV halogenados, los compuestos semivolátiles y los pesticidas también pueden ser tratados mediante esta tecnología, pero la eficacia del proceso puede disminuir, y puede ser sólo aplicable a ciertos compuestos dentro de estos grupos.

Compostaje

El compostaje de suelos contaminados es un proceso biológico controlado en el que los contaminantes orgánicos (por ejemplo los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) son convertidos en sustancias inofensivas por los microorganismos aerobios, dando lugar a un producto final estabilizado denominado compost, que es útil en agricultura.

El suelo contaminado es excavado y trasladado a la zona de tratamiento. Éste área estará previamente construida y consiste en una pista impermeabilizada con ajuste de las pendientes hacia un sumidero para el control de los lixiviados, los cuales serán reinyectados en el suelo, generando un ciclo semicerrado de circulación de agua. El suelo se suele distribuir en filas o en pilas de 1,5 metros de alto y 2,1-2,5 metros de ancho, aunque depende del diseño.

Durante el proceso es necesario mantener unas determinadas condiciones para obtener unos buenos resultados:

- **Aireación:** es el factor fundamental a controlar, ya que los microorganismos aerobios van a necesitar una tasa de oxígeno determinada para lograr la biodegradación de los contaminantes. Se puede conseguir una buena aireación de diferentes formas en función del tipo de proceso de compostaje diseñado.
- **Temperatura:** se generarán condiciones termófilas debido al calor producido por los microorganismos en la degradación del material orgánico. El rango de temperatura óptimo de trabajo oscila entre 54 y 65 °C.
- **Humedad:** los microorganismos necesitan de una hidratación adecuada para su correcto desarrollo. Pero una excesiva hidratación del suelo restringe el movimiento del aire en el subsuelo y reduce la disponibilidad de oxígeno, el cual es sumamente necesario para los procesos metabólicos aeróbicos de las bacterias. El rango ideal de hidratación del suelo es de 20 a 30 % en peso. En los procesos de biorremediación en pilas de compostaje el suelo debe ser hidratado periódicamente ya que se seca con facilidad como consecuencia de la evaporación, la que a su vez se ve incrementada durante las operaciones de aireación y bajo condiciones de clima cálido.
- **pH:** para sostener el crecimiento de la población bacteriana, las pilas de compostaje deben mantenerse en un rango de pH entre 6 y 8 durante su operación, siendo 7 el valor óptimo. Suelos fuera de este rango requerirán un ajuste, pudiendo aumentarse con la adición de enmiendas calizas en caso de ser demasiado ácido, o aumentarse añadiendo azufre en caso de que sea demasiado alcalino.
- **Nutrientes:** los microorganismos requieren de una fuente de carbono para el crecimiento celular y una fuente de energía para mantener las funciones metabólicas requeridas para su crecimiento. Las fuentes de carbono pueden provenir del contaminante o del carbono contenido en fertilizantes o aditivos y agentes de esponjamiento (bulking agents). Estos agentes de esponjamiento tienen como objetivo, además, evitar el apelmazamiento del suelo, que puede producirse por una excesiva hidratación y que va a dificultar el flujo de aire a través de la pila, limitando la capacidad de degradación de los

microorganismos. Se utilizan por ello agentes de esponjamiento tales como serrín, paja, virutas de madera, hojas, cáscaras de semilla o estiércol.

- **Cantidad de microorganismos:** normalmente en la pila de suelo contaminado existen microorganismos suficientes para realizar el proceso, pero puede ser necesario inocularlos o añadir estiércol o una pila de compost maduro. Al introducir el estiércol, por un lado se está aumentando la población microbiana y, por otro, se están añadiendo nutrientes.

Existen tres diseños posibles del proceso de compostaje:

- **Pilas estáticas aireadas.** El suelo se apila en montones que se airean mediante soplantes o bombas de vacío que están distribuidas en el interior de las pilas.
- **Pilas mecánicamente agitadas.** El suelo se coloca en reactores donde se mezcla mecánicamente para conseguir la aireación.
- **Windrow composting.** Es la alternativa más rentable y la más utilizada. El suelo se coloca en montones alargados que se mezclan periódicamente con equipos móviles.

El proceso de compostaje aplicado a la descontaminación de suelos se utiliza cuando existe gran cantidad de compuestos orgánicos biodegradables, con muy buenos resultados en suelos contaminados con HAP. También se puede utilizar en el tratamiento de explosivos. Por otro lado, una excesiva presencia de COV hace necesario el control y tratamiento de las emisiones gaseosas provenientes de las pilas de compostaje.

Biodegradación Ex Situ - Off Site

Esta técnica implica la excavación del suelo y su transporte a instalaciones específicas donde va a ser tratado en biorreactores.

En primer lugar el suelo es sometido a un proceso físico en el que se separan escombros y otros elementos gruesos. A continuación se mezcla con agua para

llevar el contaminante a una concentración predeterminada, dependiente de la tasa de biodegradación y de las propiedades físicas del suelo.

El suelo se introduce en el biorreactor, que normalmente consiste en un fermentador cilíndrico horizontal que gira sobre su eje favoreciendo la mezcla de la masa contaminada. Se introducen nutrientes, oxígeno y microorganismos en caso de que fuera necesario. También se suelen añadir materiales inertes de elevada superficie específica, sobre los que los microorganismos se desarrollan con mayor facilidad. En caso de que fuera necesario ajustar el pH se adicionará un ácido o una base.

Cuando la biodegradación se ha completado, la mezcla de suelo puede ser devuelta a su lugar de origen, previo secado.

La utilización de biorreactores es más conveniente que otras técnicas de biorremediación en los casos en que el suelo sea heterogéneo, la permeabilidad sea baja, en las áreas donde las aguas subterráneas son difíciles de extraer, o cuando se requiera una velocidad de tratamiento mayor.

La técnica está especialmente indicada en el tratamiento de COV no halogenados y residuos de artillería. Si se cuenta con microorganismos específicos también se obtienen buenos resultados en el tratamiento de COV halogenados, pesticidas y PCB. Estos compuestos también pueden ser tratados en biorreactores secuenciales en los que se alternan procesos aerobios con procesos anaerobios.

FITORREMEDIACIÓN IN SITU

Esta tecnología consiste en la utilización de las plantas para llevar acciones de eliminación, transferencia, estabilización o degradación de contaminantes presentes en el suelo. Las plantas van a actuar como filtros biológicos que descomponen o estabilizan metales o bien degradan contaminantes orgánicos.

La fitocorrección o fitorremediación se suele combinar con otros métodos de limpieza en las etapas finales y sus características principales son:

- Es una técnica de limpieza pasiva, estéticamente agradable y dependiente de la energía solar.

- El tiempo de aplicación es más largo que en otro tipo de tecnologías de descontaminación.
- Los costes económicos que conlleva son bajos.
- Se emplea cuando la contaminación es superficial y la zona no es muy extensa.
- Se aplica a un rango amplio de contaminantes, pero principalmente se utiliza en la extracción de metales.

Aunque las medidas fitocorrectoras son mucho más lentas que otros métodos y llegan solamente a la profundidad hasta la cual llegan las raíces, pueden eliminar los últimos restos de contaminantes atrapados en el suelo que a veces quedan con las demás técnicas de tratamiento. Lógicamente, cuando se utilizan árboles en lugar de plantas pequeñas, las raíces pueden penetrar más en el perfil del suelo, pudiéndose tratar contaminación más profunda.

A continuación se describen las principales técnicas fitocorrectivas empleadas en la descontaminación de suelos:

Fitoextracción

También conocida como fitoacumulación consiste en la absorción de contaminantes específicos (metales) por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas.

En primer lugar, se seleccionarán las especies más adecuadas, según los metales presentes y las características del emplazamiento, y se cultivarán en la zona contaminada. Una vez completado el crecimiento vegetativo de la planta el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad. Estas cenizas apenas ocuparán un 10 % del volumen que ocuparía el suelo si se excavará para su tratamiento. Otra alternativa es transformar las plantas en abono vegetal para reciclar los metales. El proceso se repite hasta que se alcance la reducción de concentración de metales deseada.

Más de 400 plantas pueden absorber grandes cantidades de cinc, níquel y cobre y la fitoextracción también se realiza con éxito en presencia de plomo y cromo:



Rizofiltración

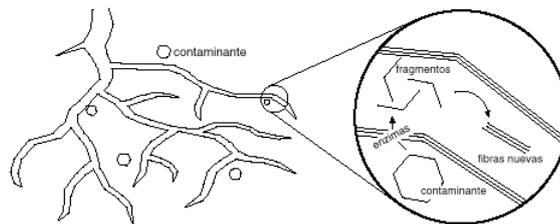
Es una técnica parecida a la fitoextracción, pero en este caso se procede al cultivo de las plantas en invernaderos con las raíces sumergidas en agua en vez de en tierra. Cuando el sistema radicular de la planta está bien desarrollado se transplanta rápidamente a la zona contaminada para que absorba el agua contaminada del suelo. A medida que las raíces se van saturando en agua, se cortan y se eliminan. Otra opción es recoger el agua contaminada y llevarla al invernadero donde están las plantas en cultivo.

Esta técnica se utiliza en el tratamiento de suelos contaminados con metales, residuos industriales, escorrentías de procesos agrícolas, drenajes ácidos de minas y contaminantes radiactivos.

Fitodegradación

Mediante esta técnica se van a degradar contaminantes orgánicos gracias al uso de determinadas plantas. Estas plantas van a producir enzimas que catalizan la degradación de los compuestos orgánicos y los productos obtenidos van a ser utilizable por el metabolismo de la planta para el crecimiento y desarrollo de sus tejidos.

Se utiliza en la degradación de HAP y compuestos clorados como el tricloroetileno (TCE).



Biodegradación estimulada por la rizosfera

Consiste en la liberación de sustancias naturales ricas en carbono orgánico al medio por parte de las raíces, tales como azúcares, ácidos o alcoholes, que van a ser utilizadas por los microorganismos. La proliferación de microorganismos va a acelerar el proceso de biodegradación de contaminantes que llevan a cabo los mismos.

El proceso de biodegradación también se ve favorecido gracias a que las raíces ayudan a airear el terreno y tienden a conducir el agua más profunda a esta zona.

Fitoestabilización

La fitoestabilización es el fenómeno de producción de compuestos químicos por la planta que actúan inmovilizando los contaminantes en la interfaz raíces-suelo.

Fitovolatilización

Este proceso consiste en la absorción por parte de árboles y plantas de agua junto con contaminantes orgánicos, los cuales pueden llegar a las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera. Los álamos, por ejemplo, volatilizan el 90 % del TCE que absorben.

El árbol más comúnmente empleado en los proyectos de fitorremediación es el álamo, que es capaz de adaptarse en un amplio rango de condiciones climáticas y que puede absorber una gran cantidad de agua, disminuyendo la tendencia de los contaminantes superficiales a desplazarse a las aguas subterráneas por descenso del nivel freático.

La fitorremediación se puede usar satisfactoriamente para tratar la contaminación superficial de suelos con metales, pesticidas, disolventes, explosivos, hidrocarburos del petróleo y HAP.

TÉCNICAS TÉRMICAS

Incineración

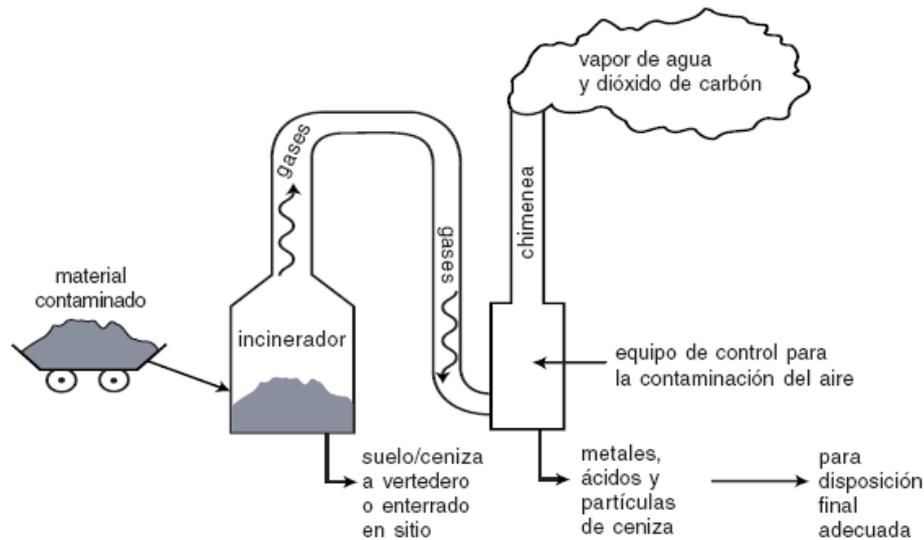
El suelo se quema a temperaturas entre 870 y 1200 °C en presencia de oxígeno para volatilizar y, posteriormente, destruir por oxidación térmica, compuestos halogenados y otros compuestos orgánicos refractarios principalmente, mientras que los metales no son destruidos.

A menudo es necesario combustible adicional para iniciar la oxidación.

No se trata de una incineración común, sino que se trata de superponer al efecto clásico de la incineración la posibilidad de hacer reaccionar en la fase gaseosa, a elevadas temperaturas, el hidrógeno con los contaminantes orgánicos para producir moléculas más pequeñas y ligeras, y menos tóxicas.

El proceso se lleva a cabo ex-situ, es decir, se excava el suelo y se lleva a los incineradores.

Los gases residuales procedentes de la combustión generalmente requieren ser tratados para eliminar cualquier metal, ácido o partícula de ceniza remanente. Tales desechos son nocivos y deben desecharse en forma adecuada en un vertedero autorizado. Los otros gases más limpios, como el vapor de agua y el dióxido de carbón, se liberan al aire a través de una chimenea. El suelo o la ceniza remanente después de la incineración se pueden eliminar en un vertedero o enterrar en el sitio. La cantidad de material que requiere eliminación es muy inferior a la cantidad inicial de material contaminado. A continuación se muestra un esquema del funcionamiento del proceso:



Los tipos de incineradores más comúnmente empleados son:

- **Circulating Bed Combustor (CBC):** utiliza aire a alta velocidad para arrastrar la fuente alimento con los residuos y crear una zona de combustión sumamente turbulenta que destruya los hidrocarburos tóxicos. Esta turbulencia produce una temperatura uniforme alrededor de la cámara de combustión, de unos 760-870 °C, inferior a la de los incineradores convencionales. En el CBC se mezcla completamente el material durante la combustión. La mezcla eficaz y la temperatura de combustión baja reducen gastos de operación y las emisiones potenciales de gases como el óxido de nitrógeno (NOx) y el monóxido de carbono (CO).
- **Lecho fluidizado:** utiliza aire a alta velocidad para difundir y suspender las partículas como si se trataran de un fluido y funciona a temperaturas mayores a 870 °C. Otras unidades experimental, como la unidad infrarroja, usa una resistencia eléctrica para calentar elementos o tubos, que a su vez calientan el material que pasa por la cámara sobre una cinta transportadora y funciona en temperaturas similares (mayores a 870 °C).
- **Combustión infrarroja:** la tecnología de combustión infrarroja es un sistema de tratamiento térmico móvil que utiliza barras de carburo de silicio calentadas eléctricamente para elevar la temperatura de los compuestos orgánicos hasta la de combustión. Los residuos se alimentan a la cámara

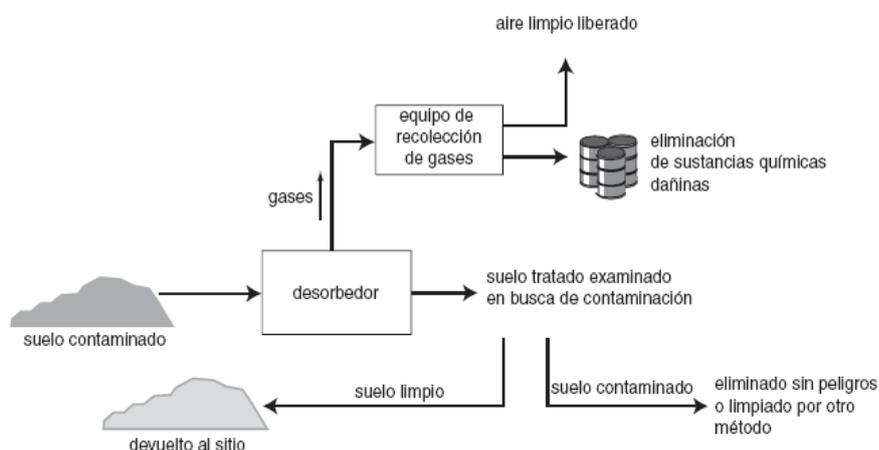
primaria sobre la cinta transportadora y son expuestos al calor infrarrojo radiante (1000 °C) proporcionado por las barras de carburo de silicio. Un soplante proporciona aire en determinados puntos del recorrido seleccionados con anterioridad para controlar la tasa de oxidación. Cualquier residuo que quede sin quemar es incinerado en un dispositivo de postcombustión.

- **Hornos rotatorios:** están equipados de un dispositivo de postcombustión y un sistema de control de la contaminación atmosférica. El horno rotatorio es un cilindro ligeramente inclinado que gira y que sirve como una cámara de combustión y funciona a temperaturas de más de 1000 °C.

La eficiencia de destrucción de residuos peligrosos está en torno al 99,99 %, elevándose esta a cifra hasta 99,9999 % para los PCB y las dioxinas.

Desorción Térmica

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 son eliminados 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:



Los sistemas de desorción térmica varían en eficacia dentro del rango de los compuestos orgánicos:

- Los procesos que emplean una temperatura de aplicación más baja están indicados para la eliminación de COV no halogenados y combustibles. Para otros COV la eficacia se reduce.
- Si la temperatura de desorción es moderadamente alta, la tecnología se aplica en la eliminación de compuestos orgánicos semivolátiles (SVOC), HAP, PCB, pesticidas y metales volátiles (como el Hg). Los COV y combustibles también pueden ser tratados, pero puede resultar menos rentable. La presencia de cloro puede afectar a la volatilización de algunos metales como el plomo (Pb).

El proceso es aplicable para la separación de compuestos orgánicos procedentes de residuos de refinería, residuos de alquitrán, residuos de la industria de la madera, suelos contaminados por creosota, hidrocarburos, pesticidas y desechos de pintura.

ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE REMEDIACIÓN DE TIERRAS EMPETROLADAS

CARACTERÍSTICAS Y COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS

A continuación se muestra una tabla con el resumen de las características básicas de cada técnica antes descrita, en la cual se determina la aplicabilidad o no para la remediación de los pasivos ambientales de la Provincia de Mendoza.

CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE SUELOS						
Técnica	Lugar de aplicación	Velocidad de tratamiento	Coste económico	Contaminantes tratables	Aplicabilidad Pas. Amb. Mza	Aclaración
Tecnologías de pantalla	In situ	Lenta	Bajo	Contaminantes muy tóxicos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que el objetivo es remediar y no contener, que es lo que realiza este método.
Vitrificación in situ	In situ	Media	Alto	Contaminantes muy tóxicos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que no trata hidrocarburos y derivados del petróleo.
Reducción de la volatilización	In situ	Solución temporal	Bajo	COV	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que no trata hidrocarburos y derivados del petróleo. Solución Temporal
Estabilización/solidificación	In situ ó ex situ	Rápida	Bajo	Metales pesados, materiales radiactivos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que no trata hidrocarburos y derivados del petróleo. No remedian, sino que impiden la liberación de los contaminantes.
Extracción de vapores	In situ	Media	Bajo	COV, algunos derivados del petróleo	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.

Técnica	Lugar de aplicación	Velocidad de tratamiento	Coste económico	Contaminantes tratables	Aplicabilidad Pas. Amb. Mza	Aclaración
Inyección de aire	In situ	Media	Bajo	COV	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.
Aireación	Ex situ	Lenta	Bajo	COV	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que solo trata COV.
Bombeo de agua	In situ	Rápida	Bajo	Compuestos solubles	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que es para acuíferos contaminados.
Enjuague de suelos	In situ	Media	Medio	Fenoles, metales, aceites, contaminantes solubles, compuestos orgánicos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.
Lavado de suelos	Ex situ	Rápida	Medio	Metales, derivados del petróleo, COV, plaguicidas	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que no puede ser aplicados a materiales de fina granulometría.
Tratamiento electrocinético - electroquímico	In situ	Media	Medio	Metales, compuestos orgánicos	SI	
Tratamientos químicos	In situ	Rápida	Medio	PCB, otros contaminantes orgánicos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.
Barreras reactivas	In situ	Lenta	Medio	Metales, halocarbonados, hidrocarburos derivados del petróleo, otros compuestos orgánicos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.
Inyección Profunda	In situ	Media	Medio	Metales, compuestos orgánicos, hidrocarburos	SI	Solo para casos muy específico

Técnica	Lugar de aplicación	Velocidad de tratamiento	Coste económico	Contaminantes tratables	Aplicabilidad Pas. Amb. Mza	Aclaración
Bioestimulación in situ	In situ	Lenta	Bajo	Hidrocarburos, derivados del petróleo, pesticidas, disolventes, conservantes de la madera, otras sustancias químicas orgánicas.	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.
Bioventing	In situ	Media	Bajo	Hidrocarburos derivados del petróleo, disolventes no clorados, algunos pesticidas, conservantes de la madera, otros compuestos orgánicos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.
Bioslurping	In situ	Media	Bajo	Hidrocarburos derivados del petróleo	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos se encuentran apilados en repositorios al aire libre.
Landfarmig	Ex situ	Media	Bajo	Lodos de refinería	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que estos contienen hidrocarburos.
Biopilas	Ex situ/ in situ	Media	Bajo	COV, hidrocarburos, pesticidas	SI	Aplicable bajo ciertas condiciones estrictas de temperatura y humedad
Compostaje	Ex situ	Media	Bajo	Explosivos, HAP, compuestos orgánicos biodegradables	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que no trata hidrocarburos y derivados del petróleo.
Biodegradación off site	Ex situ	Media	Alto	Residuos de artillería, COV, PCB, pesticidas	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. de Mza. Ya que no trata hidrocarburos y derivados del petróleo.

Técnica	Lugar de aplicación	Velocidad de tratamiento	Coste económico	Contaminantes tratables	Aplicabilidad Pas. Amb. Mza	Aclaración
Fitorremediación in situ	In situ	Lenta	Bajo	Metales, pesticidas, disolventes, explosivos, hidrocarburos del petróleo, HAP	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que el procedimiento sería demasiado lento.
Incineración	Ex situ	Rápida	Alto	Todo tipo de compuestos orgánicos	NO	No es aplicable a los Pas. Amb. De Mza. Ya que no trata hidrocarburos y derivados del petróleo.
Desorción térmica	Ex situ	Rápida	Alto	Compuestos orgánicos procedentes de residuos de refinería, residuos de alquitrán, residuos de la industria de la madera, suelos contaminados por creosota, hidrocarburos, pesticidas, desechos de pinturas	SI	Cumple con la eliminación de HC por debajo de los valores límites admitidos.

Las técnicas antes descritas han sido estudiadas a partir del conocimiento científico- técnico actual del tema. La tabla comparativa nos brinda un criterio de selección de técnicas utilizables, algunas con restricciones para los distintos pasivos.

UBICACIÓN Y DIMENSIONES DE LOS REPOSITARIOS EN LA PROVINCIA DE MENDOZA

SITUACIÓN EN LA PROVINCIA DE MENDOZA

En la Provincia de Mendoza existen, según las áreas de concesión petrolera, distintos tipos de tierras empetroladas dado que sus características varían de acuerdo al origen y tipo de yacimiento.

Se presenta una clasificación y resumen de las mismas a partir de la información obtenida.

ÁREAS ZONA NORTE (CUENCA CUYANA)

A continuación se detalla de cada área, su ubicación, superficie y repositorios de las mismas.

ÁREA ATAMISQUI

Ubicación

Ubicada en la provincia de Mendoza, principalmente en el departamento de Rivadavia, y en menor superficie en los departamentos de Luján de Cuyo, San Carlos y Tupungato, dentro de la denominada cuenca Cuyana.

Superficie

El área Atamisqui abarca una superficie de 436 km².

Repositorios

Esta área no presenta repositorios.

ÁREA BARRANCAS

Ubicación

Ubicada 30 km (en línea recta) hacia el Sur-Sureste de la Ciudad de Mendoza, ubicada en los Departamentos de Luján de Cuyo y Maipú y otros como Junín, Rivadavia y Tupungato.

Superficie

La superficie total estimada es de 619 km².

Repositorios y Depositorios

El área Barrancas tiene una variedad de repositorios, depositorios, y sectores de acopios de tierras contaminadas. A continuación se detallan alguno de ellos.

Repositorio de áridos empetrolados B-104

El repositorio B-104. Este repositorio se encuentra actualmente operativo y se utiliza para el acopio transitorio de tierras empetroladas.

El sitio se ubica cercano a la playa de tanques de la PTC B-104, hacia el Suroeste de la misma, se encuentra parcialmente cercado, ocupa un predio de aproximadamente 100 x 35 m.



IMAGEN GOOGLE EARTH – B-104

Depositorio transitorio de cutting (DTC) Barrancas

Este depositario se encuentra actualmente operativo y se utiliza para el acopio transitorio de recortes de terreno de perforación (cuttings).

Pertenecía a un sector previamente impactado, donde se ubicaban obradores.

El predio se encuentra debidamente identificado. Esta sectorizado en 3 tres zonas individuales y debidamente señaladas.



IMAGEN GOOGLE EARTH – DTC

Sector de rezagos almacenes Barrancas

El sector de rezagos se encuentra en el predio de Almacenes de Barrancas, el mismo se encuentra cercado y se utiliza para el acopio transitorio de residuos y rezagos generados por la actividad desarrollada por YPF S.A. en el Área de Concesión Barrancas.

Tiene una superficie aproximada de 7.840 m².



IMAGEN GOOGLE EARTH – ALMACENES BARRANCAS

Repositorio B-12

En la actualidad se encuentra en construcción. El objeto del repositorio es el acopio de tierras empetroladas, cutting y fondos de tanques.

El predio cuenta con una superficie de 28000 m² aproximadamente y se encuentra parcialmente cercado debido a que aún se encuentra en construcción.

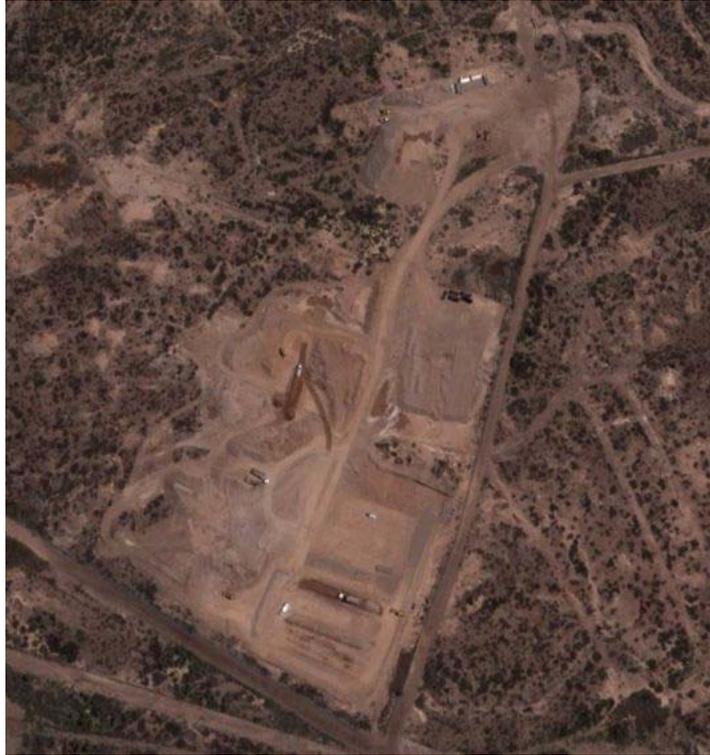


IMAGEN GOOGLE EARTH - B -12

Repositorio B-2

En la actualidad se encuentra abandonado. El objeto del repositorio fue el acopio de tierras empetrodadas, cutting y fondos de tanques.

El predio cuenta con una superficie de 5.000 m² aproximadamente.



IMAGEN GOOGLE EARTH – B-2

Sitio de Biorremediación Landfarming Barrancas

El sitio se encuentra no operativo. El predio está parcialmente cercado, se localiza en cercanías de la locación del pozo B-402, en un sector al Norte de la misma.

El predio tiene una superficie aproximada de 9.335 m².



IMAGEN GOOGLE EARTH – BIORREMEDIACIÓN BARRANCAS

Repositorio B-67

El Repositorio B-67 se encuentra no operativo. Se ubica en la locación del pozo inactivo B-67.

El repositorio tiene una superficie aproximada de 7.937 m².

No se encuentra señalizado con cartel indicador.



IMAGEN GOOGLE EARTH – B- 67

Locación B-312 con acopio de lodos

El predio cuenta con una superficie aproximada de 4.445 m² y el acceso a la locación está restringido por un bordo de tierra.





IMAGEN GOOGLE EARTH – B-312

ÁREA LA VENTANA

Ubicación

El Área de Concesión La Ventana está ubicada a 48 km (en línea recta) hacia el Sureste de la Ciudad de Mendoza, en los Departamentos Rivadavia, en su mayor parte, Luján de Cuyo y San Carlos.

Superficie

La superficie total estimada es de 480 km².

Repositorios

El área cuenta con un Repositorio de Suelos Empetrolados PB-105 en donde se realizaba el acopio de tierras empetroadas; actualmente el mismo está no operativo.

El predio de este repositorio se encuentra debidamente cercado.

Este predio cuenta con carteles de identificación, con cerco perimetral, con una tranquera en el ingreso y posee una superficie de aproximadamente 28020 m².

Este predio gestiona residuos **condicionados, no consolidados y suelos contaminados** que eventualmente se generen en el área de concesión en estudio.



IMAGEN GOOGLE EARTH – REPOSITORIO PB 105



EX CAMINO – REPOSITORIO PB 105

ÁREA TUPUNGATO REFUGIO

Ubicación

Se ubica en la provincia de Mendoza, principalmente en el departamento de Tupungato, en la denominada cuenca Cuyana.

Se encuentra ubicada en el departamento Tupungato y parte del área es atravesada por la Ruta Provincial N° 86.

Superficie

La superficie total del área alcanza los 27 km².

Repositorio.



REPOSITORIO TUPUNGATO REFUGIO

ÁREA RÍO TUNUYÁN

Ubicación

El Área RÍO TUNUYÁN está ubicada a 45 km (en línea recta) hacia el Sur-Sureste de la Ciudad de Mendoza, en los Departamentos Luján de Cuyo y Rivadavia.

Superficie

La superficie total estimada es de 21 km².

Repositorios

En el área de concesión en estudio no existen repositorios para la disposición de residuos.

ÁREA VIZCACHERAS

Ubicación

El Área de Concesión Vizcacheras está ubicada a 72 km (en línea recta) hacia el Sur de la Ciudad de Mendoza, en los Departamentos San Carlos (en su mayor parte), Rivadavia y Santa Rosa.

Superficie

La superficie total estimada es de 500 km².

Repositorios

El área cuenta con un **Repositorio de Suelos Empetrolados Ex Aeropista Vizcacheras**, el repositorio, categorizado como situación ambiental, en él se acopian transitoriamente suelos empetrolados.

Este predio gestiona residuos **condicionados y suelos contaminados** que eventualmente se generen en el área de concesión en estudio.

Este predio carece de cartelería de identificación, cuenta con cerco perimetral parcial y posee una superficie de aproximadamente 20152 m².

ÁREA PUESTO POZO CERCADO

Ubicación

El Área en estudio, Puesto Pozo Cercado, se encuentra ubicada en el departamento de Tupungato, emplazado en el centro-oeste de la provincia de Mendoza.

Superficie

La superficie total estimada es de 169,93 Km².

Repositorios

El Área Puesto Pozo Cercado, no cuenta con repositorio de suelos empetrolados. Los mismos son transportados para su incineración en la Planta Mineti ubicada en el departamento de Las Heras.

Informe tareas

AREA CHAÑARES HERRADOS

Ubicación

El Área se encuentra ubicada en el departamento de Tupungato, emplazado en el centro-oeste de la Provincia de Mendoza.



Repositorios

El Área no cuenta con tierras empetroladas.

AREA PIEDRAS COLORADAS

Ubicación

El Área se encuentra ubicada en el Departamento de Tupungato, emplazado en el centro-oeste de la provincia de Mendoza.

Repositorio

El repositorio cuenta con un cerco perimetral completo cerrado. Existe un proyecto de macro encapsulado, con ensayos pilotos, que hasta la fecha no se han continuado, por problemas planteados por los superficiarios.



VISTA LATERAL DEL REPOSITORIO



VISTA GENERAL DE REPOSITORIO



CERCO DEL REPOSITORIO

ÁREAS ZONA SUR (CUENCA NEUQUINA)

ÁREA ATUEL NORTE

Ubicación

Se encuentra ubicada en los departamentos San Rafael y Malargüe, ubicados en el Sur de la Provincia de Mendoza.

Repositorio Atuel Norte

Se encuentra ubicado al Sur del pozo AN-2 y la Batería de Atuel Norte, frente al depósito de chatarra y rezagos.

Posee su perímetro cercado, postes de hormigón y portón de acceso. Tiene una pileta que se encuentra impermeabilizada con membrana plástica termosellada.



REPOSITORIO RIO ATUEL NORTE

El repositorio está inhabilitado debido a que está en su máximo nivel.

Predio de chatarra y rezagos

Se ubica al sur de la Batería Atuel Norte. El mismo está destinado al depósito de materiales en desuso, ferrosos y no ferrosos, como así también distintos tipos de rezagos. Además se realiza el acopio de materiales de rezago como cañerías, varillas y tubing



SECTOR DE CHATARRA



SECTOR DE REZAGOS.

El sector tiene cierre perimetral metálico con tejido romboidal del 2 pulgadas, portón de acceso y cartelería informativa. El sector no posee cartelería de seguridad.

Las baterías dispuestas en el sector de chatarra, se encuentran ubicadas sobre suelo no impermeabilizado.

ÁREA CERRO DE LOS NIDOS

Ubicación

Se encuentra dentro del Área Cañadón Amarillo a 15 Km al Noroeste del Yacimiento Potasio Río Colorado

Repositorios



IMAGEN GOOGLE EARTH – REPOSITORIO CERRO DE LOS NIDOS



REPOSITORIO CERRO DE LOS NIDOS



ENTRADA AL REPOSITORIO



EXCAVACIONES EN EL REPOSITORIO



PILETONES



VISTA AMPLIA – PILETONES

Dentro del repositorio existe una pileta vacía y limpia, también hay una pila de tierras empetrodadas de 35 metros de altura aproximadamente.

El Repositorio ha sido clausurado por la Dirección de Protección Ambiental.

ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA

Ubicación

Está ubicada en el sector Sur de la Provincia de Mendoza, en el Departamento de Malargüe. La misma está conformada por 4 yacimientos: Chihuido de La Salina, Chihuido de La Salina Norte, Chihuido de La Salina Centro Norte y Chihuido de La Salina Centro Sur; el resto constituyen pozos que no alcanzan a conformar un yacimiento.

Superficie

La superficie total estimada del área es de 60 km².

Repositorios

En el área existe un repositorio de Residuos y un sitio de Tratamiento de Cutting Mendoza que se encuentran contiguos, separados por un cierre perimetral. El mismo se utiliza para la disposición transitoria de residuos sólidos condicionados (Y48) y no condicionados (chatarra) generados por la actividad desarrollada por YPF S.A. en las Áreas de Concesión Chihuido de La Salina y Chihuido de La Salina Sur.

Estos sitios se encuentran a aproximadamente 1,3 km al Sureste de la Planta Compresora ChLS II.

La superficie total, incluyendo ambos predios, es de aproximadamente 20.670 m².

A este Repositorio se destinan los suelos con hidrocarburos generados en las Áreas de Concesión Chihuido de La Salina y Chihuido de La Salina Sur. Este repositorio carece de identificación pero se encuentra correctamente cercado, con control de ingreso cerrado.

No existen tratamientos de suelos empetrolados, sólo se acumula.



REZAGOS Y CHATARRAS



FONDOS DE TANQUE



PILETONES VACIOS

ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA SUR

Ubicación

Está ubicada en su mayor parte en la Provincia de Mendoza, Departamento de Malargüe. Sólo una pequeña porción del extremo Sur, la que no cuenta con instalaciones, se encuentra dentro de la Provincia de Neuquén, Departamento Pehuenches. La misma está conformada por seis yacimientos: Chihuido de La Salina Sur, Chihuido de La Salina Sur Escama Superior, Chihuido de La Salina Sur Escama Intermedia, Rincón de Correa, Rincón de Correa Sur y Bajo Los Lobos.

Superficie

La superficie total estimada es de 71 km².

Repositorios

En el área no existen repositorios para la disposición, ni tratamiento de residuos.

ÁREA CHIHUIDO DE LA SIERRA NEGRA

Ubicación

Está ubicada en el Sur de la Provincia de Mendoza, en el Departamento Malargüe y al Norte de la Provincia del Neuquén, en el Departamento Pehuenches. El sector está comprendido por los yacimientos: Desfiladero Bayo, Desfiladero Bayo Este, Puesto Molina y otros de menor relevancia.

Superficie

La superficie total estimada es de 2.079 km².

Repositorios

El área no cuenta con ningún tipo de repositorio de residuos.

ÁREA CNQ7 y CNQ7A (EL CORCOVO)

Ubicación

Las Áreas de explotación de hidrocarburos CNQ7 y CNQ7A, se encuentran ubicadas en el departamento de Malargüe, emplazado al Sur de la Provincia de Mendoza.

Repositorios

En el área existe un Repositorio y dentro de él se encuentra:

- Un sitio de tratamiento de cutting de base agua.
- Un sitio de tratamiento de arenas de coproducción.
- Un sitio de disposición de residuos perteneciente a la corriente Y48 (trapos, guantes, maderas con restos de hidrocarburos).

El repositorio cuenta con cierre perimetral y el suelo está impermeabilizado con manto de arcilla. Este repositorio contiene los residuos de la actividad hidrocarburífera de la zona. Por el tamaño del mismo, se deben tratar constantemente, de lo contrario se saturaría en poco tiempo.

Tratamiento de cutting: por tratarse de un área de gran actividad, la empresa optó por hacer el tratamiento en el repositorio y no instalar plantas de recuperación en la zona del pozo perforado. Este tratamiento sólo se realiza para cutting provenientes de lodo de base agua, a los que se los centrifuga y acopia formando una capa fina para lograr el secado final. A los mismos se les realizan análisis de hidrocarburos totales (TPH) y metales pesados y cuando los valores obtenidos son menores a los valores máximos permitidos, por la ley 24.051, su disposición final se realiza en canteras de la zona.

Tratamiento de arenas de coproducción: el reservorio de esta área es poco consolidado, por lo que generan con la producción petróleo, arenas coproducidas. Estas se almacenan en los tanques de la Batería y de la Planta de Tratamiento de Crudo (PTC). Las arenas son recuperadas y transportadas desde los tanques por camiones y tratadas en el repositorio.

Existen dos piletas con lodos de fondos de tanque, con dimensiones aproximadas de 30 m x 30 m. Los mismos no tienen tratamiento, y su destino final sería disponerlos en pozos de inyección profunda una vez habilitado el proceso.



PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODO - DENTRO DEL REPOSITORIO



REPOSITORIO EL CORCOVO NORTE



PILETONES CON FONDOS DE TANQUE



ACUMULACION DE CUTTING DE PERFORACION

Repositorio Jahuel Casa de Piedra

Existe un repositorio de 10.000 m² sin ningún tipo de tratamiento. Sólo se depositan arenas coproducidas. Las mismas son almacenadas en dos piletas de 20 m x 10 m cada una. Las tierras empetroladas se trasladan para su tratamiento al Corcobo Norte (ECN).



REPOSITORIO DE 100m x 100 m



BORDES DEL REPOSITORIO

ÁREA EL PORTÓN

Ubicación

Está ubicada en un cuarto de su superficie en la Provincia de Mendoza, Departamento de Malargüe y el resto se encuentra en la Provincia de Neuquén, Departamento Pehuenches. La zona es atravesada por el Río Colorado, que es el límite entre ambas provincias. La misma está conformada por los yacimientos: El Portón, El Portón Sur y El Portón Norte.

Superficie

La superficie total estimada es de 37 km².

Repositorios

En el sector mendocino del área de concesión no existen repositorios.

ÁREA VALLE DEL RÍO GRANDE

Ubicación

Está ubicada hacia el Sur de la Ciudad de Malargüe, en el Departamento homónimo. La misma está conformada por los Yacimientos: Cerro Divisadero, Loma Alta, Loma Alta Sur, Los Cavaos, Malal del Medio, Pampa Palauco, Río Grande y otros de menor relevancia.

Superficie

La superficie total estimada del área es de 694 km².

Repositorios

Repositorio Ex Pista Pampa Palauco de suelos contaminados: la pista presenta pilas de material empetrolado en proceso de tratamiento mediante la técnica de Biorremediación en Biopilas.

Repositorio de cutting LAS.x-4 (Loma Alta Sur exploratorio 4): se tratan sólidos y semisólidos (cutting y lodos) generados por las actividades de perforación.

Repositorio ex ripiera Cerro Fortunoso: el repositorio tiene una superficie de 60 m x 60 m.



CAMINO A CERRO FORTUNOSO (INTRANSITABLE)



YACIMIENTO CERRO FORTUNOSO (CARTEL)

Observaciones

No se logró visitar el *Repositorio de Cutting LAS.x-4* y al *Repositorio Ex Pista Pampa Palauco* porque los caminos estaban intransitables debido a la acumulación de nieve. La información se obtuvo del Informe Ambiental correspondiente al 2010.

ANÁLISIS Y CÁLCULO DE VOLÚMENES DE LOS REPOSITORIOS

Se realiza a continuación un análisis de las características de los repositorios y el cálculo de los volúmenes de los mismos de acuerdo a la información obtenida en los recorridos realizados y a los antecedentes estudiados.

En Anexo I se incluye una planilla resumen de las Áreas y Repositorios con sus volúmenes y características principales.

ÁREAS ZONA NORTE (CUENCA CUYANA)

ÁREA ATAMISQUI

Esta Área no presenta repositorios

ÁREA BARRANCAS

El Área Barrancas tiene una variedad de repositorios, depósitos, y sectores de acopios de tierras contaminadas. A continuación se detallan alguno de ellos.

Repositorio B-104

Este repositorio se encuentra actualmente operativo y se utiliza para el acopio transitorio de tierras empetroladas.

El sitio se ubica cercano a la playa de tanques de la PTC B-104, hacia el Suroeste de la misma. Se encuentra parcialmente cercado y ocupa un predio de aproximadamente 100 m x 35 m.

Volumen estimado: 24.000 m³

Características: no hay clasificación de tierras empetroladas según su origen, fondos de tanque o cutting.

Depositorio transitorio de cutting (DTC) Barrancas

Este depositorio se encuentra actualmente operativo y se utiliza para el acopio transitorio de recortes de terreno de perforación (cutting).

Pertenecía a un sector previamente impactado, donde se ubicaban obradores.

El predio se encuentra bien identificado y sectorizado en 3 tres zonas similares.

Volumen estimado: 21 m³

Características: se almacena cutting no contaminado con hidrocarburos.

Sector de Rezagos Almacenes Barrancas

El sector de rezagos se encuentra en el predio de Almacenes de Barrancas, el mismo se encuentra cercado y se utiliza para el acopio transitorio de residuos y rezagos generados por la actividad desarrollada por YPF S.A. en el Área de Concesión Barrancas.

Tiene una superficie aproximada de 7.840 m².

Volumen aproximado: no se puede estimar, ya que está compuesto de materiales muy variados.

Características: los materiales acumulados son de diversos orígenes, cañerías en mal estado, virolas de tanques, tapas de rosca de barras de sondeo, tachos en desuso y chatarra en general.

Repositorio B-12

En la actualidad se encuentra en construcción. El objeto del repositorio es el acopio de tierras empetroladas, cutting y fondos de tanques.

El predio cuenta con una superficie de 28.000 m² aproximadamente y se encuentra parcialmente cercado debido a que aún se encuentra en construcción.

Volumen aproximado: no evaluable por estar en construcción.

Características: se dispondrá de tierras de todo tipo de origen sin diferenciar procedencia.

Repositorio B-2

En la actualidad se encuentra abandonado. El objeto del repositorio fue el acopio de tierras empetroadas, cutting y fondos de tanques.

El predio cuenta con una superficie de 5.000 m² aproximadamente.

Volumen aproximado: 4.000 m³

Características: se dispuso de tierras de diversos orígenes, sin diferenciar procedencia.

Sitio de Biorremediación - Landfarming Barrancas

El sitio se encuentra no operativo. El predio está parcialmente cercado, se localiza en cercanías de la locación del pozo B-104, en un sector al Norte de la misma.

El predio tiene una superficie aproximada de 12.000 m².

Volumen aproximado: 15.000 m³

Características: existen tierras con bajo porcentaje de hidrocarburos, derivadas de distintos orígenes.

Repositorio B-67

El Repositorio B-67 se encuentra no operativo. Se ubica en la locación del pozo inactivo B-67.

El repositorio tiene una superficie aproximada de 8.000 m².

No se encuentra señalizado con cartel indicador.

Volumen aproximado: 67.000 m³

Características: son tierras empetroladas, con altos contenidos de hidrocarburos, sin clasificación previa.

Locación B-312 con acopio de lodos

El predio cuenta con una superficie aproximada de 4.445 m² y el acceso a la locación está restringido por un bordo de tierra.

Volumen aproximado: 15.000 m³

Características: las tierras provienen de cutting de perforación con lodos utilizados a base de agua, por lo que las mismas se encontrarían libres de hidrocarburos.

ÁREA LA VENTANA

El área cuenta con un Repositorio de Suelos Empetrolados PB-105

PB-105

El predio originalmente era el camino de ingreso al pozo PB-105. Este repositorio se encuentra cercado y cuenta con carteles de identificación, con cerco perimetral y con una tranquera de ingreso al mismo.

Posee una superficie de aproximadamente 28.000 m².

En este predio se han acumulado residuos provenientes de suelos contaminados generados en el área de concesión en estudio.

Volumen estimado: 25.000 m³

Características: se realizaba el acopio de tierras empetroladas. Actualmente no está operativo por encontrarse saturado. Está clausurado por la autoridad de aplicación, Dirección de Protección Ambiental (DPA).

ÁREA PUESTO POZO CERCADO

El Área Puesto Pozo Cercado, no cuenta con repositorio de suelos empetrolados. Los mismos son transportados para su incineración en la Planta Cementera Minetti

ÁREA RÍO TUNUYÁN

En el área de concesión no existen repositorios para la disposición de residuos. Las tierras empetroladas y cutting del área se trasladan al repositorio B-104 de Barrancas.

ÁREA TUPUNGATO REFUGIO

En el área de concesión existe un repositorio para la disposición de residuos. La superficie que abarca es de 6.400 m² aproximadamente.

Volumen estimado: 3 m³

Características: los residuos son tierras empetroladas de incidentes y restos de poda. Los residuos clasificados, se disponen en dos contenedores dentro del repositorio

ÁREA VIZCACHERAS

El área cuenta con un *Repositorio de Suelos Empetrolados Ex Aeropista Vizcacheras*.

En el repositorio se acopian transitoriamente suelos empetrolados.

Este predio acumula residuos condicionados (Y48) y suelos contaminados que eventualmente se generan en el área de concesión.

Este predio carece de carteles de identificación, cuenta con cerco perimetral parcial y posee una superficie de aproximadamente 20.152 m².

Volumen estimado: 20.000 m³

Características: son tierras empetroladas, con altos contenidos de hidrocarburos, sin clasificación previa.

AREA CHAÑARES HERRADOS

El área no cuenta con tierras empetroladas.

AREA PIEDRAS COLORADAS

Repositorio

Volumen estimado: 8.000 m³

Observaciones: los residuos de esta área actualmente son transportados para su incineración en la Planta Cementera Minetti ubicada en el Departamento de Las Heras, Provincia de Mendoza.

ÁREAS ZONA SUR (CUENCA NEUQUINA)

ÁREA ATUEL NORTE

Repositorio Atuel Norte

El repositorio está inhabilitado debido a que está en su máximo nivel.

Volumen estimado: 15 m³

Características: el repositorio contiene tierras empetroladas.

ÁREA CERRO DE LOS NIDOS

Repositorios

Existe un repositorio de 200 m x 100 m, donde no hay tratamiento, sólo se acumulan tierras empetroladas.

Volumen estimado: 43.750 m³

Características: el repositorio contiene tierras empetroladas mezcladas con fondos de tanque y cutting de perforación.

ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA

Repositorios

En el Sitio de Tratamiento de Cutting Mendoza se deposita cutting (base agua) y fondos de tanques que se encuentran en una cuña impermeabilizada. Este sector presenta identificación parcial deteriorada, con control de ingreso cerrado.

En el predio existen acumulaciones de tierra y distintas piletas de tratamiento: sector con hidrocarburos o lodo en estado líquido y otros con mayor proporción de suelos.

Una de las piletas con líquido no posee malla de protección para aves. No existen tratamientos de suelos, sólo se acumula.

El repositorio está separado en 3 partes:

- Cutting de perforación no contaminado (2.100 m³).
- Caños y chatarra en desuso (1.500 m³).
- Tierras empetroladas provenientes de derrames, cuttings de formaciones productivas y de lodos inversos (base hidrocarburo) (17.000 m³).

Volumen estimado: 19.100 m³

Características: existe clasificación de tierras empetroladas y de fondos de tanque.

Próximamente comenzarán con tareas de saneamiento: biopilas y desorción térmica.

ÁREA CHIHUIDO DE LA SALINA SUR

Repositorios

En el área no existen repositorios para la disposición, ni tratamiento de residuos. Los mismos, en caso de generarse, son enviados a los repositorios existentes en el Área de Concesión Chihuido de la Salina.

ÁREA CHIHUIDO DE LA SIERRA NEGRA

Repositorios

El área no cuenta con ningún tipo de repositorio de residuos. En cuanto a los residuos condicionados y suelos contaminados, que eventualmente se generan en el área, son acopiados en el Repositorio Chihuido de La Salina.

ÁREA CNQ7 y CNQ7A (EL CORCOVO)

Repositorios

En el área existe un Repositorio dentro de él se encuentra:

- Un Sitio de Tratamiento de Cutting de base agua.
- Un Sitio de Tratamiento de arenas de coproducción.
- Un Sitio de disposición de residuos perteneciente a la corriente Y48 (trapos, guantes, maderas con restos de hidrocarburos).

Volumen estimado: este repositorio es muy dinámico, ya que hay un tratamiento continuo de arenas, por lo que no existe acumulación importante y por lo tanto no es relevante considerar el volumen del mismo.

Características: hay diferenciación de las tierras empetroladas, las tierras coproducidas y el cutting de perforación. Cada una se dispone para su tratamiento.

Repositorio Jahuel Casa de Piedra

Existe un repositorio cuadrado de 10.000 m², sin ningún tipo de tratamiento. Sólo se depositan arenas coproducidas. Las mismas son almacenadas en dos piletas de 20 m x 10 m cada una. Las tierras empetroladas se trasladan para su tratamiento al Corcobo Norte (ECN).

Volumen estimado: 200 m³

Características: sólo se disponen arenas coproducidas.

ÁREA EL PORTÓN

Repositorios

En el sector de Mendoza del área de concesión no existen repositorios. En el caso de generarse residuos son trasladados al repositorio del Área de Concesión Chihuido de La Salina.

Observaciones

Se inspeccionaron varios pozos al azar y no se encontraron pasivos ambientales.

ÁREA VALLE DEL RÍO GRANDE

Repositorios

Repositorio Ex Pista Pampa Palauco de suelos contaminados: La pista presenta pilas de material empetrolado en proceso de tratamiento mediante la técnica de Biorremediación en Biopilas.

Volumen estimado: 13.000 m³

Características: sólo se disponen tierras empetroladas varias.

Repositorio de cutting LAS.x-4 (Loma Alta Sur exploratorio 4): En la misma se tratan sólidos y semisólidos (cutting y lodos) generados por las actividades de perforación.

Volumen estimado: 6.400 m³, el mismo es muy variable.

Características: sólo se dispone cutting de perforación obtenido de lodos base agua.

Repositorio ex ripiera Cerro Fortunoso: el repositorio tiene una superficie de 60 m x 60 m.

Volumen estimado: 5.000 m³.

Características: se disponen tierras de diversos orígenes y no hay clasificación.

**ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LAS OBSERVACIONES
REALIZADAS A LOS RESERVORIOS**

De acuerdo a los recorridos realizados de las distintas áreas petroleras se observa que las empresas tienen realidades distintas respecto al tratamiento y disposición de tierras empetroladas y cuttings de perforación en las distintas áreas de la Provincia de Mendoza.

Se observa en la actualidad una gran cantidad de repositorios, algunos de ellos colapsados y cerrados por la Autoridad de Aplicación, otros en permanente crecimiento, así como muchos de ellos en procesos de tratamiento en etapas de pruebas pilotos.

Existen empresas que acumulan en los repositorios tierras empetroladas de distintos orígenes y no realizan ningún tipo de tratamiento por lo que saturan uno a uno sus repositorios.

En algunos casos mezclan los fondos de tanque con tierra de bajo contenido de hidrocarburos, con el fin de dar estabilidad a los fondos de tanque, para que puedan apilarse sin la necesidad de hacer piletas.

Otras empresas tratan sus residuos en el repositorio, tratando de dar solución a cada uno de los pasivos generados. También realizan investigaciones para lograr un mejor tratamiento y disminuir costos.

Existen otros casos que tercerizan el tratamiento no utilizando repositorios.

CARACTERÍSTICAS DE TIERRAS EMPETROLADAS

Existen diversos orígenes de estas tierras que están vinculados a las características de cada yacimiento.

Los yacimientos más antiguos tienen mayor generación de tierras empetroladas derivadas de pinchaduras o roturas de cañerías producidas, en la mayoría de los casos, por corrosión interna. También existen en estos yacimientos (anteriores a la aplicación de la legislación ambiental) pasivos ambientales, especialmente ex piletas, derivadas de técnicas inadecuadas implementadas en el pasado.

También a mayor producción de hidrocarburos hay más generación de barros empetrolados derivados en todos los casos de los fondos de tanque.

En los yacimientos la Zona Sur (CNQ7) la producción de petróleo viene acompañada de una importante cantidad de arenas por lo que la generación de tierras empetroadas es mayor a la de otros yacimientos.

Los nuevos yacimientos están implementando técnicas para prevenir las pinchaduras usando cañerías de ERFV (Epoxi Reforzado con Fibras de Vidrio).

CARACTERÍSTICAS DE CUTTINGS DE PERFORACIÓN

La generación de cutting proviene directamente de la perforación de pozos y los mismos pueden estar contaminados o no por petróleo. De las características de los lodos (base agua o hidrocarburos) depende esta situación.

Se ha observado que la generación de cutting contaminado por el uso de lodos de base hidrocarburo aparece en algunos yacimientos de la zona del Chihuido no dándose esta realidad en el resto de las áreas de la provincia.

Los cuttings de perforación también son contaminados cuando se perfora en la roca reservorio y esto se ve incrementado cuando la perforación es horizontal (porque genera una mayor superficie de contacto con el reservorio). Este es el caso del yacimiento Llancañelo en la Zona Sur.

CARACTERÍSTICAS DE FONDOS DE TANQUES

Los volúmenes de residuos de fondos de tanque son proporcionales a la producción de hidrocarburos.

En los recorridos realizados se observó que el método de disposición final que usan las operadoras actualmente, se basa en la incineración de los residuos transportándolos a la Planta de Cemento Minetti (ubicada en Las Heras Mendoza), única operadora habilitada para tratar los mismos.

Existen fondos de tanques que se acumulan en piletas para realizar otros tratamientos.

En la zona sur (El Corcovo) se observó una prueba piloto para la disposición final por inyección en una formación profunda de fondos de tanques provenientes de los yacimientos Jahuel Casa de Piedra y el Corcovo.

DERRAMES DE AGUA DE PRODUCCIÓN

Se observó que en los repositorios no hay tierras provenientes de derrames de agua de producción.

DISPOSICIÓN DEL MATERIAL EN EL REPOSITORIO

En casi todos los repositorios es imposible determinar el origen de las tierras empetroladas porque se confunde con el suelo existente. Esta situación imposibilita conocer “la trazabilidad” de las tierras empetroladas, incumpliendo así con lo establecido en la ley 24.051 y la ley provincial 5.917 de Residuos Peligrosos.

Al contrario, en repositorios pequeños y en el repositorio del yacimiento El Corcovo (coproducción de arenas), es factible determinar el origen de las tierras empetroladas.

**CONCLUSIONES SOBRE LAS TECNOLOGÍAS QUE MEJOR
SE ADAPTAN PARA EL TRATAMIENTO DE REPOSITARIOS
DE LA PROVINCIA DE MENDOZA**

En este informe se describieron las técnicas de remediación y se realizó un cuadro comparativo de las mismas a partir del conocimiento científico-técnico.

Con la información obtenida sobre los pasivos ambientales de la Provincia de Mendoza, se procedió a la clasificación de las técnicas más propicias para la remediación de los diferentes repositorios y se llega a la conclusión que las mismas son: tratamiento electrocinético–electroquímico, inyección profunda, biopilas y desorción térmica y lavado de suelos en combinación con inyección profunda.

En los siguientes cuadros se describen los distintos tipos de repositorios en función de las técnicas de remediación y se realiza una clasificación por tipo de tratamiento.

TIPO	CARACTERISTICA	COMENTARIOS
A	Repositorios heterogéneos con valores medios y altos de TPH.	Se selecciona más de una técnica, debido a que individualmente o combinadas, pueden ser aplicables a repositorios heterogéneos. Estas técnicas pueden ser aplicadas para tratamientos de repositorios con medios y altos valores de TPH. En las pruebas piloto de Biopilas no se ha logrado aún reducir a los valores máximos exigidos por la autoridad de aplicación en la Provincia. La desorción térmica, si bien tiene resultados óptimos en el descenso de los niveles de TPH, no es aconsejable por los altos costos de la técnica. No se aconseja aplicar tratamiento electrocinético-electroquímico debido a la gran heterogeneidad de las tierras empetroladas.
B	Repositorios homogéneos con valores medios y altos de TPH.	Se aconseja aplicar tratamiento electrocinético-electroquímico debido a la homogeneidad de las tierras empetroladas, al bajo costo y a la aplicabilidad en repositorios tanto con bajos como con altos valores de TPH. Además permite la remoción de metales pesados. Las técnicas de Biopilas y Desorción Térmica son aplicables a los repositorios homogéneos, éstas tienen un mayor costo operativo. En las pruebas piloto de Biopilas y con el tratamiento Electrocinético – electroquímico, no se han logrado aún reducir a los valores máximos exigidos por la autoridad de aplicación en la Provincia en los tiempos previstos.
C	Recortes de perforación con lodo base agua.	En este tipo de repositorios se controla el contenido de TPH y Metales Pesados. Si los mismos están por debajo de los valores establecidos por la ley 24051, pueden ser depositados en canteras o dispuestos en rellenos de caminos. Si no se cumplen con los valores estipulados por esta ley, estos deberán ser tratados con las técnicas de descontaminación ya vistas.
D	Repositorios de arenas coproducidas.	Este es un caso particular en el que son aplicables además otras técnicas como el lavado de arenas e inyección a formaciones profundas, además de las desarrolladas anteriormente. Con el lavado de arena queda un residuo (lodos con partículas menores a 12 micrones) que forman una sustancia coloidal estable que puede disponerse en formaciones profundas o también tratada por desorción térmica. La inyección profunda es una alternativa viable y de menor costo. De ser tratada por desorción térmica, se elevarían más aun los costos del tratamiento

ZONA	ÁREA	REPOSITORIO	VOLUMEN (m ³)	TÉCNICA DE REMEDIACIÓN	CLASIFICACIÓN
NORTE	Atamisqui	NO TIENE			
	Barrancas	B-104	24000	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A
		DTC	21	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A
		Rezagos Almacén			
		B-12 (en construcción)			
		B-2	4000	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A
		Sitio Biorremediación	15000	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A
		B-67 revisar volumen	67000	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A
	B-312	15000	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A	
	La Ventana	PB-105	25000	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A
	Puesto Pozo Cercado	NO TIENE			
Río Tunuyán	NO TIENE				
Tupungato Refugio	REPOSITORIO	3	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B	
Vizcacheras	EX AERO PISTA VIZCACHERAS	20000	Biopilas / Desorción Térmica	Tipo A	
Chañares Herrados	NO TIENE				
Piedras Coloradas	REPOSITORIO	8000	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B	
SUR	Atuel Norte	REPOSITORIO	15	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B
	Cerro de Los Nidos	REPOSITORIO	43750	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B
	Chihuido de La Salina	Cutting no contaminado	2100	Técnica de remediación a aplicar según contenido de TPH y metales pesados	Tipo C
		Caños y chatarra			
		Tierras Empetroladas	17000	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B
	Chihuido de La Salina Sur	NO TIENE			
	Chihuido de La Sierra Negra	NO TIENE			
	CNQ7	Repositorio con tratamiento de cutting de base agua		Técnica de remediación a aplicar según contenido de TPH y metales pesados	Tipo C
		Piletos con fondo de Tanque		Inyección Profunda / Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica	Tipo D
		Repositorio Jahuel Casa de Piedra	200	Lavado de Arenas / Inyección Profunda / Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica	Tipo D
El Portón	NO TIENE				
Valle del Río Grande	Repositorio Ex Pista Pampa Palauco	13000	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B	
	Repositorio de cutting LAS.x-4	6400	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B	
	Repositorio ex ripiera Cerro Fortunoso	5000	Electrocinético - Electroquímico / Desorción Térmica / Biopilas	Tipo B	

CONCLUSIONES SOBRE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE

En el marco legal de la actividad hidrocarburífera analizado se expresaba que como la ley nacional N° 24.051 y la ley provincial N° 5.917 no contemplan valores límites, se considera igual de peligroso a los residuos en bajas concentraciones que en elevadas concentraciones.

Es necesario definir un porcentaje por debajo del cual no se consideraría a un residuo como peligroso.

En la Provincia de Mendoza, la Dirección de Protección Ambiental, toma como parámetro de saneamiento en suelos valores iguales o menores al 1% de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) o su equivalente 10.000 ppm. Este valor ha sido adoptado a partir de las recomendaciones dadas por la API (American Petroleum Institute). Sin embargo el valor considerado por esta Dirección es cuestionado por las empresas operadoras y de servicios, pues alegan que con los métodos desarrollados en pruebas pilotos en condiciones reales, es difícil llegar al 1% de HTP, y que valores superiores de HTP son inocuos para el Medio Ambiente.

Ya sea el 1% de HTP el valor adoptado u otro mayor (que debería ser resultado de las conclusiones de pruebas reales) es conveniente darle un marco legal provincial para evitar que todo suelo contaminado sea considerado como residuo peligroso.

Por otro lado se debería incluir al agua de coproducción como Residuos Petrolero Peligroso, siempre que esta salga del sistema provocando incidentes y tierras contaminadas.

Es necesario reglamentar la legislación para conocer “la trazabilidad” de las tierras contaminadas, identificando: origen, ubicación, tratamientos realizados y disposición final.

También se deben definir las características constructivas de los repositorios, normalizando las capacidades de los mismos y los tiempos máximos de acopio para que se mejore la realidad encontrada en la mayoría de los repositorios actuales

**REUNIONES CON EL GOBIERNO DE MENDOZA
ESPECIALISTAS CIENTÍFICO TÉCNICOS**

REUNIONES

En las distintas etapas de trabajo se desarrollaron diversas acciones con representantes de áreas del Gobierno del de Mendoza, especialistas y científicos de la Universidad Nacional de Cuyo, todos vinculados a la temática a resolver. Los mismos fueron:

- Sr. Germán Micic, Subdirector de la Dirección de Protección Ambiental, con el objeto de informarle sobre el avance en las tareas vinculadas a esa Dirección. Solicitar la información referida a Informes ambientales y sobre las pruebas pilotos de métodos de remediación en las Áreas Petroleras de la Provincia. Mantener la información sobre los avances del trabajo, como de los requerimientos de esa dirección en relación a los fines propuestos por el equipo consultor.
- Ing. Martín Oro, del Área de Petróleos de la Dirección de Protección Ambiental, con quien se realizaron los contactos con las empresas que realizan tratamientos de remediación en las áreas de estudio. Se realizó viaje conjunto a “El Corcovo”, “Jahuel Casa de Piedra” y “Valle Río Grande”. Se consensuaron los criterios respecto de la aplicación de la normativa vigente para el seguimiento del área, así como las necesidades de reformulación de las mismas para avanzar en el control y manejo de la temática ambiental.
- Ing. Verónica Pacheco, responsable del área de Residuos Peligrosos de la Dirección de Protección Ambiental, quien brindó información sobre las pruebas pilotos llevadas a cabo en los diversos repositorios de la Provincia y los resultados obtenidos hasta la fecha. Se consensuaron criterios y pautas para el manejo de los residuos, con vista a plantear el plan integral.
- Ing. Horacio Moreno, de la Dirección de Petróleo perteneciente al Ministerio de Infraestructura, Vivienda y Transporte, con el objeto de informarle sobre los avances en las tareas vinculadas a esa Dirección. Solicitar especificaciones de cartografía y localización de la Áreas Petroleras. Generar contactos con las

empresas concesionarias de las Áreas Petroleras de la Provincia de Mendoza. Recibir la información acerca de la pautas desarrolladas en la renegociación de los contratos de las Áreas petroleras, donde se establece, que aquellas empresas que extendieron sus contratos, deben remediar todos los pasivos existentes antes de finalizar los plazos de la concesión original.

- Dr. Mauricio Grinspan, de la Subsecretaría Legal y Técnica del Gobierno de Mendoza, a quien se le informa los avances y tareas realizadas y ajuste de los pasos a seguir para la culminación de las tareas en desarrollo. Presentación de los informes para su aprobación.
- Lic. José Cantero, responsable del Instituto de Bioprocesos de la Facultad de Ingeniería de la UNCUYO, a quien se le consultó sobre los avances en los ensayos en biopilas y métodos auditados por esa institución. Se evaluaron experiencias respecto de los límites de limpieza en suelos empretrolados, datos que aportan a las definiciones en materia de normativa como de manejo en el Plan Integra

**PROPUESTA DE UN PLAN SOBRE REMEDIACIÓN DE
PASIVOS AMBIENTALES**

INTRODUCCIÓN

Se realiza una propuesta de plan de remediación de pasivos ambientales de origen petrolero, considerando toda la información obtenida y las opiniones de los referentes del tema, estudios, comparaciones y selecciones de tecnologías de remediación, observaciones de ubicación y dimensiones y análisis cualitativo y cuantitativo de los reservorios de las áreas petroleras de Mendoza.

Este plan contempla medidas de prevención y mitigación de los reservorios existentes y disposición final de los residuos. También el relevamiento para ubicación de ex piletas y reservorios que no están a la vista y se supone que existen vinculados a pozos petroleros.

También se hace una propuesta de medidas a nivel legislativo que se deberían implementar para completar la normativa vigente.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

En la realización de nuevas obras en los yacimientos, que deben ser aprobadas por la Autoridad de Aplicación, se debería exigir que las cañerías de transporte de petróleo o agua de producción sean de ERFV (Epoxi Reforzado con Fibras de Vidrio) si las presiones son bajas y en el caso de altas presiones (cañerías de acero) que tengan recubrimiento interno. Si las cañerías son enterradas deberían poseer protección catódica.

En el caso de tanques, ya sean de control o almacenamiento, estos siempre deberían contar con protección catódica, además de cumplimentar con las normas de construcción y mantenimiento.

Respecto a la perforación de nuevos pozos estos deberían realizarse con la tecnología de locación seca, informando la cantidad de cutting generado, su disposición transitoria y final.

La disposición transitoria debería realizarse en lugares debidamente acondicionados (repositorios) con condiciones que aseguren la impermeabilidad de la zona.

Relevar las cañerías existentes que son causa de incidentes para que la Autoridad de Aplicación pueda exigir el cambio de los tramos dañados para evitar nuevas contaminaciones.

Esto se puede realizar con la información que proviene de la declaración de incidentes que efectúan las empresas operadoras de las áreas petroleras donde indican las causas, dimensiones y ubicación de los mismos.

Con estos datos es posible hacer un relevamiento y por métodos estadísticos determinar las cañerías más vulnerables a sufrir roturas y pinchaduras y por lo tanto la Autoridad de Aplicación puede exigir el cambio de las mismas en forma preventiva antes de que se produzcan nuevos incidentes.

RELEVAMIENTO DE POZOS CON SOSPECHA DE PASIVOS AMBIENTALES QUE NO ESTÁN CUANTIFICADOS

Se debería hacer un relevamiento completo de todos los pozos existentes de la Provincia de Mendoza, que no tienen declarados pasivos ambientales, a fin de encontrar y cuantificar la posible existencia de ex piletas y/o cualquier otro tipo de residuo contaminante.

Para esto se debería hacer un plan sistemático de rastrillaje que operativamente permita descubrir las posibles ex piletas, debido a que en muchos casos las tierras empetroladas no afloran a la superficie.

PROPUESTA A NIVEL NORMATIVO PROVINCIAL

A fin de que se pueda solucionar el manejo integral de los pasivos ambientales de origen petrolero es necesario complementar la normativa existente.

Definir como Residuo Petrolero a todo residuo líquido y/o semisólido (fondos de tanques, purgas de tratadores, equipos decanter, fondos de piletas API, recupero de derrames no admitidos en piletas API, residuos sólidos generados en el tratamiento por centrifugados de barros oleosos, lodos de perforación a base de hidrocarburos,

recortes de terreno de perforación con hidrocarburos, material extraído del saneamiento de piletas, entre otros), material o suelo afectado por hidrocarburos, como resultado de procesos, operaciones o actividades desarrolladas dentro de las tareas de exploración, explotación, perforación, producción, transporte, almacenaje, mantenimiento, industrialización, limpieza y/o derrame, en suelo y/o agua, con un contenido de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) a definir por la Autoridad de Aplicación. El concepto de residuo petrolero debe especificarse cuando el porcentaje de TPH no exceda un valor establecido

De acuerdo a los análisis realizados y a las opiniones recibidas se considera que un valor de TPH menor al 2% (20.000 ppm) en las tierras contaminadas no causan impactos sobre el ambiente. En este rango no se produce escurrimiento del petróleo contenido por lo que se le puede dar una disposición final como relleno de canteras y/o para la construcción de caminos.

Se debería impedir la dilución de mezclas de suelos contaminados con hidrocarburos con suelo natural o nativo. También no se debería permitir la mezcla de lotes con diferentes composiciones o concentraciones de contaminantes en la gestión de residuos petroleros. Habría que prohibir el agregado de áridos o suelos a fin de mejorar la consistencia de la mezcla para posibilitar su retiro y de ser necesario se deberían utilizar gelificantes comerciales aprobados.

En todos los casos de derrames y posterior tratamiento de los residuos petroleros peligrosos, se debería conseguir:

- Maximizar la extracción de los líquidos que pudieran existir en las mezclas de suelo afectado por hidrocarburos como resultado de los derrames de hidrocarburos en suelo y/o agua.
- Los pozos o fosas de contención para levantar el hidrocarburo deberían ser saneados antes de su tapado.
- Minimizar la extracción de suelo autóctono de la zona afectada privilegiando la utilización de tareas manuales cuando se deba preservar la vegetación arbustiva.

Previo a la disposición final de los residuos petroleros no peligrosos y de residuos petroleros peligrosos remediados, las empresas deberían presentar a la Autoridad de Aplicación la siguiente información y documentación:

- Diseño de muestreo realizado.
- Protocolos de los análisis realizados por un laboratorio oficial y por métodos normalizados vigentes de TPH, de BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos), metales pesados, HAPs (hidrocarburos aromáticos polinucleares) y ecotoxicidad a fin de garantizar la inocuidad de los residuos.
- Tratamiento efectuado por el Operador de Residuos Petroleros Peligrosos.
- Fecha en la cual se realizaría la disposición final, la que debería hacerse en presencia de la Autoridad de Aplicación para constatar los volúmenes a disponer, la ubicación final y todo otro dato de interés.

Se deberían fijar plazos para la gestión de los repositorios, tales como duración del acopio por lote de material contaminado y tiempo a partir del cual el lote deberá pasar a la etapa de tratamiento e identificación del mismo para su trazabilidad.

La trazabilidad del material sujeto a acopio, tratamiento, traslados y disposición final debería garantizarse a través de los registros de movimiento de materiales del Repositorio que deberían contener: identificación de lote acopiado, origen del mismo, datos de análisis y composición del lote, fecha de ingreso y ubicación (con identificación de celda o parcela de acopio) y cronograma de gestión en la etapa de tratamiento y tipo de proceso que se le efectuará y sitio de disposición final una vez saneado. Este procedimiento debe ser aprobado antes de dar inicio al tratamiento propiamente dicho y deberá auditarse y evaluar sus resultados con datos de laboratorios, con los que se determinará la finalización de tratamiento.

El agua de producción debe incluirse como un residuo peligroso ya que sus características hacen que sea más contaminante que los hidrocarburos porque posee salinidades de entre 20.000 ppm y 60.000 ppm y posee además mayor infiltración en el terreno. Generalmente el agua de producción trabaja con presiones por encima de las 60 kg/cm², llegando en algunos casos a presiones de 200 kg/cm²,

lo que genera al producirse una pinchadura, derrames de caudales considerablemente mayores a los que se observan en derrames de petróleo.

Por último se debería exigir a las empresas a tener un tratamiento continuo de sus residuos petroleros y esto se puede establecer determinando plazos máximos de acopio de los mismos.

ANTECEDENTES

ANTECEDENTES

- Lagrega, D. et al. *Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos*. Mc Graw Hill. 1996.
- SPE 69445 *Extensive Evaluation of Aerated Accumulation Technique for Soil Treatment* Ercoli, E.; Gálvez, J.; Calleja, C.; Calvo, V.; Cantero, J.; Videla, S.; Medaura, M.C.; DiPaola, M. - Repsol -YPF SA - Bioprocesos-UNC
- Informe Ambiental 2008 de la Dirección de Protección Ambiental
- Informe Ambiental 2010 de la Dirección de Protección Ambiental
- Digesto ambiental de la Provincia de Mendoza.
- Programa Nacional para la gestión ambiental de sitios contaminados 2006.
- Biorremediación y remediación de suelos contaminados con hidrocarburos sustancias tóxicas, caracterización, saneamiento. México
- Metodología de análisis de riesgo, ASTM 1739/95.
- Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Dr. Ignacio D. Coria
- Ingeniería y gerenciamiento ambiental. UAIS-Iga-600-001
- Comunicaciones de riesgo. Una aproximación conceptual. Documento de trabajo Setiembre de 2010, Lic. Gustavo Choconi.
- [www.qros.co.uk/Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series Volume 1 Analysis of Petroleum Hydrocarbons in Environmental Media.pdf](http://www.qros.co.uk/Total%20Petroleum%20Hydrocarbon%20Criteria%20Working%20Group%20Series%20Volume%201%20Analysis%20of%20Petroleum%20Hydrocarbons%20in%20Environmental%20Media.pdf)
- www.qros.co.uk/tph_analysis.html
- www.miliarium.com/prontuario/tratamientosuelos/TratamientoSuelos.html
- www.eueti.uvigo.es/files/material_docente/1862/tema8contaminaciondelsuelo.
- [www.es.scribd.com/doc/53385046/analisis y evaluaci3n de par3metros cr3ticos en biodegradaci3n de hidrocarburos en suelos- pdf](http://www.es.scribd.com/doc/53385046/analisis_y_evaluaci3n_de_par3metros_cr3ticos_en_biodegradaci3n_de_hidrocarburos_en_suelos-pdf)

- www.ecogestionar.com.ar/normativa/Residuos-Peligrosos-Ley-24051-92.PDF
- www.escrap.com.ar/legislacion/SE-RE-105.pdf

Legislación Nacional y provincial

Nacional

LEY N° 24051 Residuos peligrosos

Resolución N° 105 / 1992: Normas y procedimientos que regulan la protección ambiental durante las operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos.

Resolución N° 897/02

Provincial

LEY N° 5.961: Régimen Provincial sobre Preservación y Mejoramiento del Ambiente

DECRETO N° 2.109/94: Procedimiento Evaluación Impacto Ambiental.

DECRETO N° 437/93: Evaluación de Impacto Ambiental de la Exploración y Explotación de Hidrocarburos.

DECRETO N° 170/08: Complementario del Decreto N° 437/93.

Resolución N° 667/08

Ley N° 5917 de Adhesión a la Ley Nacional N° 24.051 de Generación, Manipulación, Transporte y Tratamiento de Residuos Peligrosos - Registro Provincial

ANEXO I

PLANILLA RESUMEN DE ÁREAS, REPOSITORIOS, VOLÚMENES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ZONA	ÁREA	REPOSITORIO	VOLUMEN (m ³)	CARACTERÍSTICAS	
NORTE	Atamisqui	NO TIENE			
		B-104	24.000	No hay clasificación de tierras empetroladas con fondos tanque, ni cuttings.	
		DTC	21	Se almacena cuttings de entre 4 y 5 pozos, no contaminado con hidrocarburo.	
		Rezagos Almacenes		Los materiales acumulados son de diversos orígenes, cañería en mal estado, virolas de tanques, tapa de rosca, de las barras de sondeo, tachos en desuso y chatarra en general.	
		B-12		En construcción. Se dispondrán tierras de todo tipo de origen.	
		B-2	4.000	Se disponen tierras de todo tipo de origen, sin diferenciar procedencia.	
		Sitio Biorremediación	15.000	Existen tierras con bajo porcentaje de hidrocarburos, derivadas de distintos orígenes.	
		B-67	67.000	Se encuentra no operativo. Son tierras empetroladas, con altos contenidos de hidrocarburo sin clasificación previa.	
		B-312	15.000	Las tierras provienen de cutting de perforación con lodos utilizados a base de agua, por lo que las mismas se encontrarían libres de hidrocarburos.	
		PB105	25.000	Se realizaba acopio de tierras empetroladas. Actualmente está no operativo, por encontrarse saturado. Está clausurado por la DPA.	
		Puesto Pozo Cercado		Los residuos son transportados para su incineración en la Planta Cementera Minetti.	
		Río Tunuyan		Las tierras empetroladas y cutting del área se trasladan al repositorio B-104 de Barrancas.	
		Tupungato Refugio	3	Los residuos son tierras empetroladas de incidentes y restos de poda. Los residuos se disponen con clasificación en contenedores dentro del repositorio.	
		Vizcacheras	20.000	Son tierras empetroladas con altos contenidos de hidrocarburo sin clasificación previa.	
		Chañares Herrados			
SUR	Piedras Coloradas	Repositorio	8.000	Los residuos son transportados para su incineración en la Planta Cementera Minetti. Existe un proyecto de macro encapsulado, con ensayos pilotos, que no se han continuado por problemas legales planteados por los superficiales.	
	Atuel Norte	Repositorio	15	Contiene tierra empetrolada, está inhabilitado debido a que está en su máximo nivel.	
	Cerro de los nidos	Repositorio	43.750	Contiene tierra empetrolada mezclada con fondos de tanque y cutting de perforación.	
	Chihuido de la Salina	Cutting no contaminado		2.100	
		Caños y chatarra			Existe clasificación de tierras empetroladas y de fondos de tanque. Próximamente comenzarán con tareas de saneamiento: biopilas y desorción térmica.
		Tierras empetroladas		17.000	
	Chihuido de la Salina Sur	NO TIENE		En caso de generarse residuos son enviados a los repositorios existentes en Chihuido de la Salina.	
	Chihuido de la Sierra Negra	NO TIENE		En caso de generarse residuos son enviados a los repositorios existentes en Chihuido de la Salina.	
	CNQ7	Repositorio con tratamiento de cutting de base agua			Por tratarse de un área de gran actividad se hace el tratamiento en el repositorio.
		Piletones con fondo de Tanque			No tienen tratamiento y su destino final sería disponerlos en pozos de inyección profunda una vez habilitado el proceso.
		Repositorio Jahuel casa de piedra		200	Solo se disponen arenas coproducidas. Las tierras empetroladas se trasladan para su tratamiento al Corcobo Norte (ECN).
	El porton	NO TIENE		En caso de generarse residuos son enviados a los repositorios existentes en Chihuido de la Salina.	
	Valle del río grande	Repositorio Ex Pista Pampa Palauco		13.000	Presenta pilas de material empetrolado en proceso de tratamiento mediante la técnica de Biorremediación en Biopilas.
		Repositorio de cutting LAS.x-4		6.400	Se tratan sólidos y semisólidos (cutting y lodos) generados por las actividades de perforación.
		Repositorio ex riplera Cerro Fortunoso		5.000	Se disponen tierras de diversos orígenes y no hay clasificación.

ANEXO II

NORMATIVA NACIONAL

Ley Nacional N° 24.051/92 - Régimen de Desechos Peligrosos

Capítulo I - Del ámbito de aplicación y disposiciones generales

Artículo 1° — La generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos quedarán sujetos a las disposiciones de la presente ley, cuando se tratare de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional o, aunque ubicados en territorio de una provincia estuvieren destinados al transporte fuera de ella, o cuando, a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieren afectar a las personas o el ambiente más allá de la frontera de la provincia en que se hubiesen generado, o cuando las medidas higiénicas o de seguridad que a su respecto fuere conveniente disponer, tuvieren una repercusión económica sensible tal, que tornare aconsejable uniformarlas en todo el territorio de la Nación, a fin de garantizar la efectiva competencia de las empresas que debieran soportar la carga de dichas medidas.

Artículo 2° — Será considerado peligroso, a los efectos de esta ley, todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general.

En particular serán considerados peligrosos los residuos indicados en el Anexo I o que posean alguna de las características enumeradas en el Anexo II de esta ley.

Capítulo IV - De los Generadores

Artículo 14° — Será considerado generador, a los efectos de la presente, toda persona física o jurídica que, como resultado de sus actos o de cualquier proceso, operación o actividad, produzca residuos calificados como peligrosos en los términos del artículo 2° de la presente.

Capítulo VI - De las plantas de tratamiento y disposición final

Artículo 33° — Plantas de tratamiento son aquellas en las que se modifican las características física, la composición química o la actividad biológica de cualquier residuo peligroso, de modo tal que se eliminen sus propiedades nocivas, o se

recupere energía y/o recursos materiales, o se obtenga un residuo menos peligroso, o se lo haga susceptible de recuperación, o más seguro para su transporte o disposición final. Son plantas de disposición final los lugares especialmente acondicionados para el depósito permanente de residuos peligrosos en condiciones exigibles de seguridad ambiental. En particular quedan comprendidas en este artículo todas aquellas instalaciones en las que se realicen las operaciones indicadas en el anexo III.

Artículo 34°. — Es requisito para la inscripción de plantas de tratamiento y/o disposición final en el Registro Nacional de Generadores y Operadores de Residuos Peligrosos la presentación de una declaración jurada en la que se manifiesten, entre otros datos exigibles, los siguientes:

- a) Datos identificatorios: Nombre completo y razón social; nómina, según corresponda, del directorio, socios gerentes, administradores, representantes, gestores; domicilio legal;
- b) Domicilio real y nomenclatura catastral;
- c) Inscripción en el Registro de la Propiedad inmueble, en la que se consigne, específicamente, que dicho predio será destinado a tal fin;
- d) Certificado de radicación industrial;
- e) Características edilicias y de equipamiento de la planta; descripción y proyecto de cada una de las instalaciones o sitios en los cuales un residuo peligroso esté siendo tratado, transportado, almacenado transitoriamente o dispuesto;
- f) Descripción de los procedimientos a utilizar para el tratamiento, el almacenamiento transitorio, las operaciones de carga y descarga y los de disposición final, y la capacidad de diseño de cada uno de ellos;
- g) Especificación del tipo de residuos peligrosos a ser tratados o dispuestos, y estimación de la cantidad anual y análisis previstos para determinar la factibilidad de su tratamiento y/o disposición en la planta, en forma segura y a perpetuidad;
- h) Manual de higiene y seguridad;

- i) Planes de contingencia, así como procedimientos para registro de la misma;
- j) Plan de monitoreo para controlar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales;
- k) Planes de capacitación del personal.

Tratándose de plantas de disposición final, la solicitud de inscripción será acompañada de:

- a) Antecedentes y experiencias en la materia, si los hubiere;
- b) Plan de cierre y restauración del área;
- c) Estudio de impacto ambiental;
- d) Descripción del sitio donde se ubicará la planta, y soluciones técnicas a adoptarse frente a eventuales casos de inundación o sismo que pudieren producirse, a cuyos efectos se adjuntará un dictámen del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) y/o del Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas Hídricas (INCYTH), según correspondiere;
- e) Estudios hidrogeológicos y procedimientos exigibles para evitar o impedir el drenaje y/o el escurrimiento de los residuos peligrosos y la contaminación de las fuentes de agua;
- f) Descripción de los contenedores, recipientes, tanques, lagunas o cualquier otro sistema de almacenaje.

Artículo 35° — los proyectos de instalación de plantas de tratamiento y/o disposición final de residuos peligrosos deberán ser suscriptos por profesionales con incumbencia en la materia.

Artículo 36° — En todos los casos los lugares destinados a la disposición final como relleno de seguridad deberán reunir las siguientes condiciones, no excluyentes de otras que la autoridad de aplicación pudiere exigir en el futuro:

- a) Una permeabilidad del suelo no mayor de 10 cm/s hasta una profundidad no menor de ciento cincuenta (150) centímetros tomando como nivel cero (0) la base del relleno de seguridad; o un sistema análogo, en cuanto a su estanqueidad o velocidad de penetración;
- b) Una profundidad del nivel freático de por lo menos dos (2) metros, a contar desde la base del relleno de seguridad;
- c) Una distancia de la periferia de los centros urbanos no menor que la que determine la autoridad de aplicación;
- d) El proyecto deberá comprender una franja perimetral cuyas dimensiones determinará la autoridad de aplicación.

Artículo 37° — Tratándose de plantas existentes, la inscripción en el Registro y el otorgamiento del certificado ambiental implicará la autorización para funcionar.

En caso de denegarse la misma, caducará de pleno derecho cualquier autorización y/o permiso que pudiera haber obtenido su titular.

Artículo 38° — Si se tratare de un proyecto para la instalación de una nueva planta, la inscripción en el Registro sólo implicará la aprobación del mismo y la autorización para la iniciación de las obras; para su tramitación será de aplicación lo dispuesto por el artículo 6°.

Una vez terminada la construcción de la planta, la autoridad de aplicación otorgará, si correspondiere, el certificado Ambiental, que autoriza su funcionamiento.

Artículo 39° — Las autorizaciones, que podrán ser renovadas, se otorgarán por un plazo máximo de diez (10) años, sin perjuicio de la renovación anual del Certificado Ambiental.

Artículo 40° — Toda planta de tratamiento y/o disposición final de residuos peligrosos deberá llevar un registro de operaciones permanente, en la forma que determine la autoridad de aplicación, el que deberá ser conservado a perpetuidad, aun si hubiere cerrado la planta.

Artículo 41° — Para proceder al cierre de una planta de tratamiento y/o disposición final el titular deberá presentar ante la autoridad de aplicación, con una antelación mínima de noventa (90) días, un plan de cierre de la misma.

La autoridad de aplicación lo aprobará o desestimaré en un plazo de treinta (30) días, previa inspección de la planta.

Artículo 42° — El plan de cierre deberá contemplar como mínimo:

a) Una cubierta con condiciones físicas similares a las exigidas en el inciso a) del artículo 36 y capaz de sustentar vegetación herbácea;

b) Continuación de programa de monitoreo de aguas subterráneas por el término que la autoridad de aplicación estime necesario, no pudiendo ser menor de cinco (5) años;

c) La descontaminación de los equipos e implementos no contenidos dentro de la celda o celdas de disposición, contenedores, tanques, restos, estructuras y equipos que hayan sido utilizados o hayan estado en contacto con residuos peligrosos.

Artículo 43° — La autoridad de aplicación, no podrá autorizar el cierre definitivo de la planta sin previa inspección de la misma.

Artículo 44° — En toda planta de tratamiento y/o disposición final, sus titulares serán responsables, en su calidad de guardianes de residuos peligrosos, de todo daño producido por estos en función de lo prescripto en el Capítulo VII de la presente ley.

Capítulo VII - De las responsabilidades

Artículo 45° — Se presume, salvo prueba en contrario, que todo residuo peligroso es cosa riesgosa en los términos del segundo párrafo del artículo 1113 del Código Civil, modificado por la Ley N° 17.711.

Artículo 46° — En el ámbito de la responsabilidad extracontractual, no es oponible a terceros la transmisión o abandono voluntario del dominio de los residuos peligrosos.

Artículo 47° — El dueño o guardián de un residuo peligroso no se exime de responsabilidad por demostrar la culpa de un tercero de quien no debe responder,

cuya acción pudo ser evitada con el empleo del debido cuidado y atendiendo a las circunstancias del caso.

Artículo 48° — La responsabilidad del generador por los daños ocasionados por los residuos peligrosos no desaparece por la transformación, especificación, desarrollo, evolución o tratamiento de éstos, a excepción de aquellos daños causados por la mayor peligrosidad que un determinado residuo adquiere como consecuencia de un tratamiento defectuoso realizado en la planta de tratamiento o disposición final.

Capítulo XI - Disposiciones complementarias

Artículo 64° — Sin perjuicio de las modificaciones que la autoridad de aplicación pudiere introducir en atención a los avances científicos o tecnológicos, integran la presente ley los anexos que a continuación se detallan:

I — Categorías sometidas a control.

II — Lista de características peligrosas.

III — Operaciones de eliminación.

Anexo I - Categorías sometidas a control

Corrientes de desechos

Y1 Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas para salud humana y animal.

Y2 Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos.

Y3 Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos para la salud humana y animal.

Y4 Desechos resultantes de la producción, la preparación y utilización de biocidas y productos fitosanitarios.

Y5 Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera.

Y6 Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos.

Y7 Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple.

Y8 Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.

Y9 Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.

Y10 Sustancias y artículos de desecho que contengan o estén contaminados por bifenilos policlorados (PCB), trifenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).

Y11 Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico.

Y12 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.

Y13 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.

Y14 Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan.

Y15 Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferente.

Y16 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.

Y17 Desechos resultantes del tratamiento de superficies de metales y plásticos.

Y18 Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.

Desechos que tengan como constituyente

- Y19 Metales carbonilos.
- Y20 Berilio, compuesto de berilio.
- Y21 Compuestos de cromo hexavalente.
- Y22 Compuestos de cobre.
- Y23 Compuestos de zinc.
- Y24 Arsénico, compuestos de arsénico.
- Y25 Selenio, compuestos de selenio.
- Y26 Cadmio, compuestos de cadmio.
- Y27 Antimonio, compuestos de antimonio.
- Y28 Telurio, compuestos de telurio.
- Y29 Mercurio, compuestos de mercurio.
- Y30 Talio, compuestos de talio.
- Y31 Plomo, compuestos de plomo.
- Y32 Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión de fluoruro cálcico.
- Y33 Cianuros inorgánicos.
- Y34 Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida.
- Y35 Soluciones básicas o bases en forma sólida.
- Y36 Asbestos (polvo y fibras).
- Y37 Compuestos orgánicos de fósforo.
- Y38 Cianuros orgánicos.
- Y39 Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles.

Y40 Eteres.

Y41 Solventes orgánicos halogenados.

Y42 Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados.

Y43 Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados.

Y44 Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas.

Y45 Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el presente anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).

Y48 Todos los materiales y/o elementos diversos contaminados con alguno o algunos de los residuos peligrosos identificados en el Anexo I o que presenten alguna o algunas de las características peligrosas enumeradas en el Anexo II de la Ley de Residuos Peligrosos cuyo destino sea o deba ser una Operación de Eliminación según el Anexo III de la citada ley. A los efectos de la presente norma, se considerarán, en forma no excluyente, materiales diversos y/o elementos diversos contaminados, a los envases, contenedores y/o recipientes en general, tanques, silos, trapos, tierras, filtros, artículos y/o prendas de vestir de uso sanitario y/o industrial y/o de hotelería hospitalaria cuyo destino sea o deba ser una Operación de Eliminación de las previstas en el Anexo III de la presente Ley. *(Categoría incorporada por art. 1° de la Resolución N° 897/2002 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable B.O. 2/9/2002, texto según art. 1° de la Resolución N° 830/2008 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable B.O. 30/7/2008).*

Anexo III Operaciones de eliminación

A) Operaciones que no pueden conducir a la recuperación de recursos, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa u otros usos.

La sección A abarca las operaciones de eliminación que se realizan en la práctica.

D1 Depósito dentro o sobre la tierra (por ejemplo, rellenos, etcétera).

D2 Tratamiento de la tierra (por ejemplo, biodegradación de desperdicios líquidos o fangosos en suelos, etcétera).

D3 Inyección profunda (por ejemplo, inyección de desperdicios bombeables en pozos, domos de sal, fallas geológicas natural, etcétera).

D4 Embalse superficial (por ejemplo, vertido de desperdicios líquidos o fangosos en pozos, estanques, lagunas, etcétera).

D5 Rellenos especialmente diseñados (por ejemplo, vertido en compartimientos estanco separados, recubiertos y aislados unos de otros y del ambiente, etcétera.)

D6 Vertido en una extensión de agua, con excepción de mares y océanos.

D7 Vertido en mares y océanos, inclusive la inserción en el lecho marino.

D8 Tratamiento biológico no especificado en otra parte de este anexo que dé lugar a compuestos o mezclas finales que se eliminen mediante cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, neutralización, precipitación, etcétera).

D9 Tratamiento fisicoquímico no especificado en otra parte de este anexo que dé lugar a compuestos o mezclas finales que se eliminen mediante cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, neutralización, precipitación, etcétera).

D10 Incineración en la tierra.

D11 Incineración en el mar.

D12 Depósito permanente (por ejemplo, colocación de contenedores en una mina, etcétera).

D13 Combinación o mezcla con anterioridad a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A.

D14 Reempaque con anterioridad a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A.

D15 Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A.

B. Operaciones que pueden conducir a la recuperación de recursos, el reciclado, la regeneración, reutilización directa y otros usos.

La sección B comprende todas las operaciones con respecto a materiales que son considerados o definidos jurídicamente como desechos peligrosos y que de otro modo habrían sido destinados a una de las operaciones indicadas en la sección A.

R1 Utilización como combustible (que no sea en la incineración directa) u otros medios de generar energía.

R2 Recuperación o regeneración de disolventes.

R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes.

R4 Reciclado o recuperación de metales y compuestos metálicos.

R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.

R6 Regeneración de ácidos o bases.

R7 Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación.

R8 Recuperación de componentes provenientes de catalizadores.

R9 Regeneración u otra reutilización de aceites usados.

R10 Tratamiento de suelos en beneficio de la agricultura o el mejoramiento ecológico.

R11 Utilización de materiales residuales resultantes de cualquiera de las operaciones numeradas R1 a R10.

R12 Intercambio de desechos para someterlos a cualquiera de las operaciones numeradas R1 a R11.

R13 Acumulación de materiales destinados a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección B.

Resolución 897/2002:

Por su parte la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, mediante Resolución 897/2002, agregó al Anexo I de la Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos, la categoría sometida a control, corriente Y 48.

Sustentándose en el texto del artículo 64° de la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos, del que surge la facultad de la Autoridad de Aplicación de introducir modificaciones, en atención a los avances científicos o tecnológicos, en los Anexos I, II y III, relativos a, Categorías Sometidas a Control, Lista de Características Peligrosas, y Operaciones de Eliminación, respectivamente.

Artículo 1°: Agregar al Anexo I de la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos, y su Decreto Reglamentario N° 831/93, la Categoría sometida a Control Y 48, referente a todos los materiales y/o elementos diversos contaminados con alguno o algunos de los residuos peligrosos identificados en el Anexo I o que presenten alguna o algunas de las características peligrosas enumeradas en el Anexo II de la Ley de Residuos Peligrosos. A los efectos de la presente Resolución, se considerarán materiales diversos contaminados a los envases, contenedores y/o recipientes en general, tanques, silos, trapos, tierras, filtros, artículos y/o prendas de vestir de uso sanitario y/o industrial y/o de hotelería hospitalaria destinadas a descontaminación para su reutilización, entre otros.

Esta resolución trajo aparejada una gran discusión entre los generadores de residuos peligrosos de diversas actividades en la Provincia de Mendoza, sobre todo en materia de perforación petrolera, puesto que la norma de referencia, no estableció parámetros técnicos o porcentuales de contaminantes (como hidrocarburos en tierra, etc.) que caracterizaran razonablemente la peligrosidad de determinados elementos. Es decir, si estuviéramos ante un determinado volumen de suelo, con 0.1% de hidrocarburos, estaríamos, según la Resolución N° 897/2002, ante un residuo peligroso, y consecuentemente ante una empresa Generadora de los mismos, lo que en los hechos tiñe de irracional e inaplicable la norma en cuestión.

Esto ha generado que desde la Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Mendoza, se esté avanzando en un proyecto de Decreto, que sería complementario

del Decreto N° 2625/99, el que debería definir en forma pormenorizada al Residuo Peligroso Petrolero, cuantificando y evaluando las características de peligrosidad de cada elemento o agentes residuales propios de la actividad petrolera, y creando un registro especial de empresas petroleras generadoras de dichos residuos.-

Resolución 105/92 de la Secretaría de Energía de la Nación:

Esta resolución da normas y procedimientos que regulan la protección ambiental durante las operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos.

3.2.3. Ubicación de equipos, materiales y desechos en la explanación

La profundidad del pozo que determine el objetivo de la exploración, definirá la dimensión del equipo perforador, la cantidad de materiales y los servicios de apoyo requeridos. Para ello, el operador deberá seguir las siguientes prácticas:

- Alterar con la nivelación la menor superficie posible para ubicar el equipo, las piletas de lodo y sus sistemas de purificación y tratamiento y la represa de drenaje de los desechos de la perforación.
- En la construcción por excavación de la represa de drenaje de lodos "cuttings" se deberá: Ubicar la represa en área de desmonte y no de relleno.

En el cálculo de su profundidad y superficie debe dejarse un margen de capacidad que supere con holgura el volumen máximo del lodo contenido en el pozo en su profundidad total.

En la temporada y zona de lluvias intensas, proteger con un adecuado zanjeado de drenaje la parte de la explanación donde fue ubicada la represa evitando los riesgos de su llenado y desborde.

Si las características de los terrenos encontrados, posibilitan el riesgo de filtraciones que puedan contaminar la calidad de las aguas subterráneas de los estratos más superficiales, es conveniente impermeabilizar el fondo y bordes ya sea con una cobertura de arcillas impermeables o láminas plásticas removibles.

Ubicar los terrenos removidos lo más cerca posible de la represa para facilitar su posterior relleno. En zonas ventosas y ante terrenos friables es conveniente proteger su terrapienado con láminas plásticas removibles. La represa de drenaje de lodo, deberá ser impermeabilizada con láminas plásticas, en caso que por debajo, existan acuíferos de agua dulce. Esta determinación deberá ser uno de los resultados obtenidos del estudio ambiental previo, mencionado en 3.1.

- La ubicación de los tanques de combustible y almacenaje de petróleo debe cumplimentarse con las reglas de máxima seguridad, deben poseer un recinto de contención adicional a la capacidad reciperida. Es conveniente la impermeabilización de su piso y bordes para evitar que cualquier posible derrame contamine el suelo. Las cañerías de alimentación y retorno, colocadas en emparrillados a la vista (con pasarelas debidamente protegidas en los lugares de tránsito) facilitarán el control de pérdidas.

- Se deberá tener en cuenta la preparación de una trinchera con terraplén de protección para la terminal de descarga de gases combustibles. Su ubicación estará a la distancia mínima de 50 metros del pozo, en la dirección de los vientos predominantes y en el área no transitable dentro de la explanación.

- La zona recomendada para ubicar la entrada, estacionamiento de vehículos, casillas de laboratorio, servicios auxiliares, alojamiento de emergencia, etc., es el extremo opuesto de la explanación con respecto a la represa y almacenaje de combustibles. En esta misma área puede construirse el foso para la quema de basura combustible, y el depósito de residuos sólidos no combustibles, cable trozado, guardaroscas, etc.

3.2.7. Manejo de los desechos, fluidos de perforación y terminación

Se define como tales a los originados por la trituración de las rocas atravesadas por el trépano. Los residuos de los ciclones controladores del contenido de sólidos en el lodo utilizado. Los excedentes de las lechadas de cemento utilizadas en la fijación de las cañerías y el sellado de sus perforaciones. Los excedentes de los fluidos de perforación y terminación.

Lista de desechos considerados no peligrosos involucrados en 3.2.7.

- 1 - Estearatos de aluminio (Triestearato)
- 2 - Arcilla atapulgita
- 3 - Bagazo
- 4- Sulfato de bario
- 5- Bentonita
- 6 - Carbonato de calcio
- 7 - Lignito sódico
- 8 - Celofán
- 9 - Lignosulfonatos sin cromo
- 10 – Semillas de algodón peletizadas
- 11 - Diaminas y.amidas de ácidos grasos
- 12 - Detergentes
- 13 - Aductos de óxido de etileno de fenol y molilfenol
- 14 - Goma guar
- 15 - Hidroxietilcelulosa
- 16 - Lecitina
- 17 - Lignito
- 18 - Oxido de magnesio
- 19 - Metanol
- 20 - Mica

- 21 - Polioxietanol morfolina
- 22 - Cáscaras de nuez
- 23 - Paraformaldehído
- 24 - Bentonita peptizada
- 25 - Acido fosfórico
- 26 - Resina poliacrilamida
- 27 - Polímero celulósico polianiónico
- 28 - Polisacáridos
- 29 - Cloruro de potasio
- 30 - Hidróxido de potasio - Potasa cáustica
- 31 - Sulfato de potasio
- 32 - Almidón de maíz pregelatinizado
- 33 - Cristobalita o cuarzo
- 34 - Cáscara de arroz
- 35 - Papel picado
- 36 - Aserrín
- 37 - Pirofosfato ácido de sodio
- 38 - Bicarbonato de sodio
- 39 - Carbonato de sodio
- 40 - Carboximetilcelulosa sódica
- 41 - Cloruro de sodio

- 42 - Exametafosfato de sodio
- 43 - Hidróxido de sodio
- 44 - Arcilla montmorillonita sódica
- 45 - Poliacrilato de sodio
- 46 - Tetrafosfato de sodio
- 47 - Almidón
- 48 - Pirofosfato de sodio
- 49 - Fosfato tributílico
- 50 - Tiras, fibras y granulado de vegetales y polímeros
- 51 - Acetatovinílico (Copolímero) (anhidridomaleico)
- 52 - Goma Xanthan (polímero XC).

Antes de abrir una pileta de lodo y residuos de perforación y terminación, el operador deberá demostrar que no existe agua subterránea dulce en el subsuelo. Se considera agua dulce aquella agua subterránea cuyos contenidos en sales totales no supere las 1.500 partes por millón, o que su conductividad específica no sea mayor de 2.000 microhomo por centímetro.

Una vez comprobada la ausencia de acuíferos subterráneos con agua dulce, el operador podrá construir la pileta de lodo sin necesidad de revestir su fondo y laterales con láminas plásticas y podrá usarla como elemento filtrante de los líquidos residuales.

En caso de que se compruebe la presencia de acuíferos dulces en el subsuelo, las piletas de lodo y residuos deberán ser revestidas con láminas plásticas removibles.

Al término de la perforación, y una vez infiltrado o evaporado el líquido residual, se deberán enterrar los cuttings, restos de cemento, bentonita y demás residuos

sólidos con el mismo material extraído de las piletas durante su construcción.

Cuando los desechos se consideran "peligrosos", situación en la que están comprendidos los originados en la perforación con lodo a base de petróleo y lodos con aditivos a base de cromo, fluidos de terminación con sales de bromo o cualquier otro producto que, acorde con las recomendaciones de uso de sus fabricantes, sea considerado como tal, se deberán seguir las siguientes prácticas:

- En áreas donde por razones técnicas sea requerido el lodo a base de petróleo en la totalidad o gran parte de la operación, se hace necesario tener como adicional a la represa de desechos, un tanque metálico a instalar en el recinto de los tanques de combustible y ensayo, para contener los excedentes no contaminados. Además de evitar al máximo las posibilidades de contaminación y derrame, facilitan su reciclo para otras operaciones de perforación o a las plantas de preparado y mezclado de los proveedores de estos lodos.

- En áreas donde el lodo a base de petróleo es de uso circunstancial o para sólo una fracción del intervalo a perforar -capas de sal hasta haber sido atravesadas y protegidas por una entubación, por ejemplo, puede excavarse en tierra una represa adicional debidamente impermeabilizada. En ella se volcará el "cutting" y los excedentes.

- En la operación con represas o piletas impermeabilizadas con lámina plástica se requiere se indique al personal de operación tener la precaución de no romper la lámina con herramientas y protegerla debidamente en los bordos donde se tenga que accionar o transitar

- Los excedentes líquidos no reciclables tanto de los lodos como de los fluidos de terminación que fueron clasificados como "peligrosos" se dispondrán por inyección o confinado ya sea en estratos superficiales permeables secos y aislados por capas impermeables, o inyectados en estratos profundos estériles que se encuentren en el espacio anular de la entubación intermedia y por debajo del zapato de la cañería de seguridad o superficie. Como en el caso de los locos excedentes de alta salinidad, la recomendación es que durante el bombeo, no se sobrepase la presión límite fijada en el 50% de las dadas por operaciones

normales de las cañerías entubadas.

3.2.9. Almacenaje de combustible e hidrocarburos líquidos de ensayo. Manejo de gases de ensayo y agua salada.

Recinto de líquidos combustibles

Ya sea desde el punto de vista de seguridad, así como minimizar los riesgos de contaminación del medio ambiente, se deberá ubicar en la explanación un recinto protegido con bordos de tierra, en zona de desmonte y opuesto al de combustión de gases.

Dicho recinto estará destinado a contener los tanques de reservas de combustible líquido de los motores y por lo menos un tanque de 1200 bbls (16 m³) para acumular, los hidrocarburos líquidos que se pudieran producir durante los ensayos de formación durante la perforación. Si el recinto está excavado en terrenos permeables y/o absorbentes, se impermeabilizará con una capa de arcilla el fondo y bordes. De existir napas de agua dulce en el subsuelo que corran el riesgo de ser contaminadas por filtración de una posible pérdida, se lo impermeabilizará con una lámina plástica.

Las respectivas conexiones de carga, descarga y alimentación de los tanques de combustibles y de almacenaje de hidrocarburos líquidos de ensayo, se harán en superficie de manera de poder visualizar en forma inmediata pérdidas o filtraciones.

Estos tanques serán soldados y no abullonados, y serán provistos de base o patín de perfiles o de caños de hierro para facilitar su movimiento.

Se deberá instalar en este recinto el separador gas-petróleo-agua indispensable en la realización de ensayos, de capas, ya sean a pozo abierto o entubado.

Manejo de gases de ensayo de pozos

Se conectará la salida del separador con una línea de descarga a un punto ubicado corriente abajo de los vientos predominantes y distanciado por lo menos 50 metros del cabezal del pozo. Estará comprendido dentro de la

explanación si se operara en una zona boscosa o de vegetación, pudiendo quedar afuera en el caso de zonas áridas o desérticas.

La línea de descarga tendrá en su terminal una pluma de venteo de 8 a 10 metros de alto y una terminal de quemado con su correspondiente juego de válvulas para disponer opcionalmente una u otra.

Cuando las condiciones climáticas lo permitan se utilizará la pluma de venteo, la que deberá estar firmemente asegurada, por lo menos con cuatro contravientos.

La terminal de quemado tendrá como mínimo las siguientes dimensiones zanja de 1 metro de ancho y 4 m de largo, rodeada por bordos de tierra de protección del fuego, con una altura de 1 m por el extremo final y los dos laterales. En su extremo contra el bordo más alto (1,50 m), estará firmemente anclada, y tendrá una llama de piloto que se conectará con 10 m de caño de 1/2' de diámetro, por una garrafa de GLP con capacidad adecuada a la duración del ensayo. - A la salida de los gases del separador se dispondrá de una toma de muestra, para determinar con un analizador portátil de gases el contenido de CO₂ (dióxido de carbono) CO (monóxido de carbono); H₂S (sulfuro de hidrógeno) y SO₂ (dióxido de azufre).

Si el gas producido es de hidrocarburos, asociados con CO, SO₂ o H₂S, se pasarán y quemarán en la terminal correspondiente.

- Si el gas producido es incombustible (CO₂) se lo venteará por la pluma de venteo. - Si el gas no combustible tuviera vestigios de CO (monóxido de carbono), no se permitirá la presencia de personas y animales en un área de seguridad, que se fijará y controlará midiendo el contenido de CO en el aire, con el medidor portátil.

Manejo de agua salada

Normalmente en los ensayos de formación a pozo abierto, los volúmenes producidos son reducidos y se descargan a la represa de desechos de lodo para confinarlos junto con estos a la terminación del pozo.

- Si se tomó la decisión de entubar el pozo en la cañería de producción y definir el

potencial de capas productoras de agua y petróleo con ensayos prolongados, no se rellenará la represa de lodo quedando la misma debidamente cercada.

3.2.10. Manejo de los fluidos especiales de terminación, soluciones salinas o hidrocarburos

Soluciones salinas

Cuando éstas son de bajo costo o no resulte conveniente su recuperación por reciclado, se deberá proceder como en el caso 3.2.9. para el agua salada cuando sea necesario vaciar las piletas metálicas por haberse completado los trabajos o se desee cambiar de fluido.

Fluidos con base de petróleo o destilados

Generalmente no resulta conveniente su confinación en formaciones que admitan fluidos, salvo en el caso de locaciones en la selva o en zonas de montañas aisladas, en cuyo caso se procederá a su reciclado o mezclado con el petróleo de producción para ser procesados en las plantas de tratamiento. Su vertido en la superficie o confinamiento en pozos o piletas de tierra puede afectar la vida animal.

Fluidos base de agua o polímeros biodegradables

Pueden ser esparcidos en la explanación, caminos o terrenos sin vegetación.

3.2.1. Manejo de hidrocarburos de ensayo

Cuando la expectativa es de encontrar capas productivas de petróleo, o de gas y condensados (gasolinas), se debe aprovechar el recinto indicado en 3.2.9. (primer párrafo) reemplazando los tanques de reserva de combustibles de equipos de perforación con tanques de almacenaje de mayor capacidad ampliando el recinto si así se lo requiriera.

4.3.1.2. Para las líneas de conducción

Las líneas de conducción son tuberías sometidas frecuentemente a presiones elevadas, especialmente cuando se produce petróleo viscoso, cuando se desplaza petróleo caliente en trabajos de desparafinación o cuando están obstruidas por

incrustaciones.

Por lo tanto se debe proceder a desplazamientos periódicos preventivos de la cañería para evitar su taponamiento.

- Cuando se realiza una operación de desparafinación el material desplazado, que no se disuelve totalmente con el líquido bombeado, debe ser recuperado en una pileta. La parafina sólida recuperada podrá ser almacenada para su aprovechamiento en tambores o recipientes cerrados.
- Las líneas de conducción deben ser convenientemente protegidas contra la corrosión para evitar roturas que provocarán derrames de petróleo y agua, Para el caso de hidrocarburos contaminados con fluidos corrosivos, la protección debe ser tanto interna como externa.

Cuando se produzcan derrames de petróleo de poco volumen, se debe: a) mezclar lo derramado con suelos agrícolas para provocar su biodegradación; b) directamente laboreo agrícola con agregado de nitratos; c) mezclarlos con gravilla para el asfaltado de caminos internos del yacimiento. Para todos estos procedimientos se deberá levantar el petróleo residual y concentrarlo en un solo lugar para proceder a cualesquiera de los métodos mencionados.

4.3.1.6. Manejo de sedimentos de fondos de tanques, emulsiones y petróleo pesado

Los sedimentos de fondos de tanques son mezclas de hidrocarburos pesados, sólidos, arena, parafina y emulsiones que se precipitan en los recipientes de recepción, de tratamiento y almacenaje de petróleo y agua tales como separadores de gas, de agua libre, tratadores, tanques y piletas.

La primera consideración en el manejo de fondos de tanques, debería ser maximizar la recuperación de hidrocarburos. Se deberá investigar la adición de calor para disolver los hidrocarburos pesados e incorporarlos al petróleo de entrada a planta para su proceso.

Para aquellos hidrocarburos pesados que no pueden ser reciclados en el lugar, queda la alternativa de eliminarlos utilizándose para la consolidación de

caminos, esparcirlos en el campo bajo ciertas condiciones o comercializarlo como petróleo pesado.

Las emulsiones que no pueden ser separadas por reproceso en el sistema de tratamiento pueden ser re-inyectadas cuando las características de reservorio lo permitan.

NORMATIVA PROVINCIAL

Ley Nº 5917 de Adhesión a la Ley Nacional Nº 24.051 de Generación, Manipulación, Transporte y Tratamiento de Residuos Peligrosos - Registro Provincial”.

Artículo 1º: Adhiérase la Provincia de Mendoza a la Ley Nacional Nº 24.051, que establece normas generales para la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos.

Mediante Dto. Nº 2625/99, la Provincia de Mendoza procedió a reglamentar la Ley Nº 5917, contemplando entre otras las siguientes consideraciones:

Que la Ley Nº 5.961 declara en su Artículo 2º “de interés provincial, las acciones y actividades destinadas a la preservación, conservación y mejoramiento de los ambientes urbanos, agropecuarios y naturales y todos sus elementos constitutivos”, y expresa en su Artículo 5º la necesidad de garantizar a “los habitantes de la Provincia de Mendoza el derecho a gozar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado” criterio coincidente con lo establecido por el Artículo 41º de la Constitución Nacional.

Que el Estado Provincial mediante la reglamentación de la Ley de Residuos Peligrosos, atiende a una función que le es indelegable para armonizar las necesidades del desarrollo económico y social de la Provincia con las del sostenimiento del ambiente y mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Ley Nº 5961: Es la ley de preservación del medio ambiente de la provincia de Mendoza

Artículo 1º - La presente ley tiene por objeto la preservación del ambiente en todo el territorio de la provincia de Mendoza, a los fines de resguardar el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable, siendo sus normas de orden público.

Esta ley es complementada por los decretos 170/08 y 437/93

Decreto Nº 170/08: Reglamenta la actividad petrolera en la Provincia de Mendoza, contempla expresamente la necesidad de remediar los pasivos ambientales existentes, y la obligación de las empresas petroleras de inscribirse en el Registro Provincial de Generadores y Operadores de Residuos Peligrosos, expresando:

Artículo 3º: Las empresas petroleras deberán inscribirse en el Registro Provincial de Generadores de Residuos Peligrosos. Asimismo, si son ellas las que realizan el tratamiento de sus residuos peligrosos deberán inscribirse como operadoras.

Artículo 4º: Los pasivos ambientales existentes en cada área concesionada deberán ser sometidos a un proyecto de saneamiento integral incluyendo Identificación, Cuantificación, Caracterización, Análisis de Riesgo y Saneamiento de los mismos sujeto a aprobación de la Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Mendoza.

Artículo 5º: Los fluidos de perforaciones deben ser tratados con métodos que no incrementen los pasivos ambientales existentes.

Artículo 6º: Dentro de la Manifestación General Impacto Ambiental, se deberá contemplar un Plan de Gestión de los Residuos Sólidos, Semisólidos y Efluentes tanto peligrosos como no peligrosos.

Resolución 667/08 de la Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Mendoza

Finalmente, es válido mencionar lo contemplado por Resolución 667/08, mediante la cual se define y reglamenta la actividad que llevan a cabo los operadores “in situ” y los operadores móviles de residuos peligrosos:

Artículo 1º: Se considerará Operador In Situ a aquél cuya tecnología y equipamiento le permita instalarse en el predio del Generador, por un tiempo determinado, a los fines del tratamiento "in situ" de los Residuos Peligrosos.

Artículo 2º: Los Generadores y/o Operadores sólo podrán realizar el tratamiento de residuos peligrosos in situ una vez obtenido el Certificado Ambiental Anual Específico, el que será otorgado a los operadores inscriptos en el Registro de Generadores, Transportistas y Operadores de Residuos Peligrosos y previo cumplimiento del procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

Artículo 3º: Para tramitar la inscripción o reinscripción en el Registro de Generadores, Transportistas y Operadores de Residuos Peligrosos, deberá acompañarse:

a) Declaración Jurada con formulario común para Operadores 01.

b) Memoria Técnica Complementaria que justifique Idoneidad acreditada en la aplicación de la Tecnología propuesta. En caso de no poder acreditar la idoneidad requerida, el interesado deberá acompañar un Proyecto de Prueba Piloto para comprobar la efectividad de la tecnología propuesta, con su pertinente plan de acción. La ejecución de la Prueba Piloto deberá ser supervisada por personal de la Dirección de Saneamiento y Control Ambiental.

Artículo 4º: Presentada la Declaración Jurada y/o Memoria Técnica Complementaria y, en su caso, superada satisfactoriamente la prueba piloto, se ordenará la inscripción en el Registro de Generadores, Transportistas y Operadores de Residuos Peligrosos en la Sección de Operadores In Situ que se crea por la presente.

Artículo 5º: Resuelta la inscripción, el Operador In Situ juntamente con el Generador de los residuos peligrosos a tratar, para cada uno de los trabajos a efectuar en las corrientes de desecho denunciadas y previo a efectuar el tratamiento de esos tipos de residuos con la tecnología declarada, en todo el territorio de la Provincia de Mendoza, deberá dar cumplimiento al Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental previsto en la Ley N° 5961 y su Decreto Reglamentario N° 2109/1994. Con el Aviso de Proyecto o Manifestación General de Impacto Ambiental deberá acompañarse copia del documento que acredite la relación contractual entre

Generador y Operador, Formulario 02, habilitación municipal y certificado ambiental del generador o constancia de su tramitación.

Artículo 6º: Obtenida la DIA o aprobado el Aviso de Proyecto se otorgará el Certificado Ambiental Anual Específico.

Dicho Certificado habilitará a tratar únicamente los residuos que fueron identificados en el Aviso de Proyecto o Manifestación General de Impacto Ambiental y en las condiciones autorizadas en la DIA o Aviso de Proyecto.

Artículo 7º - Se considerará Operador Móvil a aquel cuya tecnología y equipamiento le permita tratar los residuos peligrosos durante su transporte. Los Operadores Móviles deberán inscribirse en el Registro Provincial de Generadores, Transportistas y Operadores de Residuos Peligrosos en la Sección Operadores Móviles, que se crea por la presente, para la obtención del Certificado Ambiental Anual con la presentación del Formulario 01.

Artículo 8º: - La Dirección de Saneamiento y Control Ambiental podrá requerir información técnica complementaria cuando a su juicio resulte necesaria y realizar los monitoreos que considere convenientes.

Artículo 9º: Las infracciones a la presente Ley serán sancionadas conforme las disposiciones de la Ley 5961, 5917 y sus decretos reglamentarios.

Artículo 10º: En lo demás se aplicará la normativa vigente.

Artículo 11º: La presente entrará en vigencia el día siguiente a su publicación en el Boletín Oficial.

Artículo 12º: Comuníquese a quienes corresponda y archívese.