

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA



PROYECTO DE GRADO
ESTUDIO TÉCNICO DE APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍAS PARA EL
TRATAMIENTO DE RIPIOS DE PERFORACIÓN, PARA REMEDIACIÓN
AMBIENTAL - CAMPO SÁBALO

AUTOR: MARY CRUZ MOLLERICON TITIRICO
TUTOR: ING. MARCO ANTONIO MONTESINOS MONTESINOS

LA PAZ – BOLIVIA
2020



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis papas, florentino y María a mis hermanos Luis Andrés y Jorge Luis, ellos son el pilar en mi vida ya que sin su apoyo incondicional no hubiera logrado esta meta.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar gracias a Dios, por haberme dado la vida y poder llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional junto a las personas que quiero mucho que son mi familia y amigos.

Agradezco a esta gran institución, la UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA, a mi querida carrera INGENIERIA PETROLERA, donde pude adquirir todos los conocimientos necesarios durante mi etapa en la universidad y poder así desarrollar este proyecto.

También quiero dar un agradecimiento al ingeniero Marco Antonio Montesinos Montesinos por su apoyo por haber puesto su confianza en mí y haber aceptado la tutoría de este proyecto, y a todos los docentes de la carrera por haber compartido todos sus conocimientos con lo cual se pudo realizar este trabajo.

De la misma manera agradecer a mi familia, a mis papas por la paciencia que me tuvieron y por ese apoyo incondicional que me brindaron en todo este tiempo, a mis hermanos por ese gran cariño y apoyo que me brindaron, uno en especial a mi hermano Luis Andrés ya que él es una de las personas que admiro mucho y siempre me impulsó a seguir hacia adelante para lograr mis objetivos.

Y por último un agradecimiento a mis amigos quienes en el transcurso de la etapa universitaria fueron un aporte fundamental en mi vida, por haber compartido alegrías y tristezas, buenas y malas experiencias y que ayudaron también en el desarrollo de este proyecto, un agradecimiento especial a flores caso Eddy, Condori magui melisa y a mi querida amiga Elizabeth Cruz Lucas quien me demostró su entrañable amistad en los buenos y malos momentos.

INDICE

CAPITULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.1.1 Uso de la Biotecnología en la industria petrolera.....	1
1.1.1.1 Biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos	2
1.2 Antecedentes	2
1.2.1 Aplicaciones.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.3.1 Identificación del problema.....	4
1.3.2 Formulación del problema	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Justificación	5
1.5.1 Justificación Técnica	5
1.5.2 Justificación Ambiental.....	5
1.6 Alcance	6
1.6.1 Alcance Temático	6
1.6.2 Alcance Geográfico.....	6
CAPITULO 2	7
MARCO TEORICO	7
2.1 Marco Legal	7
2.1.1 Ley 24689 Reglamentos de Normas Técnicas y de Seguridad para las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos, de 2 de julio de 1997	7
2.1.2 Ley 1333 Reglamento Ambiental para el Sector Hidrocarburos, de 19 de julio de 1996.....	7
2.1.3 Ley 3058 de Hidrocarburos, de 17 de mayo de 2005	8
2.2 Marco Teórico	8
2.2.1 Descripción del campo	8
2.2.1.1 Ubicación del Campo.....	8
2.2.1.2 Descripción Geológica del Campo Sábalo.....	9
2.2.1.3 Exploración	13
2.2.1.3.1 Pozo Sábalo -X1 (SBL-X1)	15

2.2.1.3.2 Pozo Sábalo -X2 (SBL-X2)	16
2.2.1.3.3 Pozo Sábalo - X3 (SBL-X3)	17
2.2.2 Perforación Petrolera	18
2.2.2.1 Equipos de Perforación	19
2.2.2.2 Ecuación para cálculo de volumen de pozo.....	22
2.2.3 Fluidos de Perforación.....	23
2.2.3.1 Sistemas de Fluidos de Perforación	25
2.2.3.2 Equipo de Circulación	25
CAPITULO 3	27
METODOS DE BIORREMIEDIACIÓN PARA RIPIOS DE PERFORACIÓN DE LA ACTIVIDAD PETROLERA.....	27
3.1 Definición	27
3.2 Generación de Ripios de Perforación	29
3.2.1 Efecto de los ripios sobre el fluido de perforación	30
3.2.2 Volumen de Ripios.....	31
3.2.3 Equipos de control de solidos.....	31
3.3 Técnicas para tratamiento de ripios de perforación para su disposición final.....	33
3.3.1 Técnicas de Biotratamiento.....	34
3.3.2 Tratamiento térmico	38
3.3.3 Estabilización/Solidificación	40
3.3.4 Dewatering.....	42
3.3.5 Equipos Usados para Tratamiento	42
3.3.5.1 Fosas.....	42
3.3.5.2 Tanques Australianos	42
3.4 Biotecnologías para remediación de suelos	43
3.4.1 Biorremediación	43
3.4.2 Landfarming	50
3.4.3 Fitorremediación	51
3.4.4 Tratamiento Biológico	53
3.4.4.1 Ventajas.....	53
3.4.4.2 Desventajas	53
3.4.5 Tratamiento Termal.....	54
3.5 Resumen de las capacidades de remoción	54
3.6 Ventajas y desventajas de los principales métodos utilizados.....	55

3.7 Listado de técnicas tradicionales e innovadoras	57
3.8 Técnica utilizada en el tratamiento de recortes de perforación en Bolivia	58
3.8.1 Disposiciones ambientales y seguridad industrial	59
CAPITULO 4	60
INGENIERIA DE PROYECTO	60
4.1 Selección método de biorremediación.....	60
4.2 Determinación de los volúmenes de desechos a ser producidos	60
4.3 Determinación de solidos a tratar mediante el fluido de perforación.....	69
CAPITULO 5	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1 Conclusiones	74
5.2 Recomendaciones	74
Bibliografía.....	76

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1:</i> Ubicación de los bloques de Petrobras	8
<i>Figura 2.2:</i> Columna estratigráfica generalizada.....	10
<i>Figura 2.3:</i> Sección geológica regional.....	11
<i>Figura 2.4:</i> Mapa geológico.....	12
<i>Figura 2.5:</i> Mapa base de sísmica y pozos.....	14
<i>Figura 2.6:</i> Corte del pozo SBL-X1	15
<i>Figura 2.7:</i> Registro eléctrico del tramo de los reservorios.....	16
<i>Figura 2.8:</i> Corte estructural del pozo SBL-X3.....	17
<i>Figura 2.9:</i> Torre de perforación petrolera.....	20
<i>Figura 2.10:</i> Esquema de una forma de colocar las tuberías de revestimiento	21
<i>Figura 2.11:</i> Flujo de fluido de perforación	26
<i>Figura 3.1:</i> Lodos y Cortes de Perforación	28
<i>Figura 3.2:</i> Diagrama de Etapas de los Recortes de Perforación.....	29
<i>Figura 3.3:</i> Volumen vs Área Superficial	30
<i>Figura 3.4:</i> Recortes en movimiento.....	33
<i>Figura 3.5:</i> Proceso de Biodegradación	35
<i>Figura 3.6:</i> Proceso Típico de Biodegradación	36
<i>Figura 3.7:</i> Proceso de Compostaje	37
<i>Figura 3.8:</i> Proceso de Desorción Térmica	38
<i>Figura 3.9:</i> Proceso de incineración.....	40
<i>Figura 3.10:</i> Proceso de Estabilización/Solidificación.....	41
<i>Figura 3.11:</i> Biorremediación.....	43
<i>Figura 3.12:</i> Transformación de un suelo contaminado a suelo limpio.....	44
<i>Figura 3.13:</i> Migración vertical	46
<i>Figura 3.14:</i> Técnicas de biorremediación in-situ y ex-situ	47
<i>Figura 3.15:</i> Principio básico del proceso de biorremediación.....	48
<i>Figura 3.16:</i> Landfarming.....	51
<i>Figura 3.17:</i> Contenedores abiertos	58
<i>Figura 4.1:</i> Representación de los intervalos de perforación (SBL-X1).....	62
<i>Figura 4.2:</i> Representación de los intervalos de perforación SBL-X2	64
<i>Figura 4.3:</i> Representación de los intervalos de perforación SBL-X3	67

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1:</i> Profundidad de pozos	3
<i>Tabla 1.2:</i> Tiempos de perforación	3
<i>Tabla 2.1:</i> Coordenadas UTM	9
<i>Tabla 3.1:</i> Clasificación de sólidos de acuerdo a su tamaño	27
<i>Tabla 3.2:</i> Descripción de métodos fitorremediadores.....	52
<i>Tabla 3.3:</i> Resumen de la capacidad de remoción de las diferentes técnicas de tratamiento de borras de la industria del petróleo.....	54
<i>Tabla 3.4:</i> Ventajas y Desventajas de los principales métodos utilizados	56
<i>Tabla 3.5:</i> Técnicas tradicionales e innovadoras.....	57
<i>Tabla 4.1:</i> fases de perforación y cañería.....	61
<i>Tabla 4.2:</i> Fases de perforación usadas en el pozo SBL-X2	63
<i>Tabla 4.3:</i> Pozo SBL-X3 y SBL-X3D	66
<i>Tabla 4.4:</i> Densidades para componentes de lodo de perforación.....	72
<i>Tabla 4.5:</i> Cantidad de sólidos.....	73

GLOSARIO

Biotecnología .- La biotecnología utiliza organismos vivos para hacer o modificar productos, mejorar plantas o animales o desarrollar microorganismos para usos específicos. (COTO, 2013)

Biodegradación.- La biodegradación ocurre en la naturaleza, y la actuación humana transformo esos procesos en BIOTECNOLOGIAS para acelerar la tendencia natural (COTO, 2013)

Biorremediación. - La biorremediación se refiere a cualquier proceso de recuperación medioambiental producido por el uso de microorganismos, hongos, plantas o enzimas derivadas de ellos, también se refiere al uso de procesos biológicos para la limpieza de la tierra y el agua. En los países en desarrollo hay dos principales tipos de contaminación los desechos orgánicos y metales pesados (mercurio, plomo, cadmio). La biorremediación se emplea en grupos de compuestos organoclorados, compuestos orgánicos no naturales que tienen coloro en su molécula y son capaces de intervenir en los procesos celulares normales. La biorremediación puede realizarse in situ y ex situ, en el caso de in situ involucra un menor desplazamiento de materiales, pero también requieren de tratamientos más largos y menos control en comparación a la ex situ. La biorremediación funciona a nivel sub-celular, unicelular o multicelular y debe distinguirse de la biodegradación ya que en esta ocurren las complejas interacciones que se dan en todos los niveles de un ecosistema, mientras que en la biorremediación se incide en uno de esos niveles (COTO, 2013)

Tecnologías en la Biorremediación

Biolabranza. - Es un proceso que se realiza en la misma superficie del suelo contaminado por medio del arado, el suelo contaminado se lo mezcla con suelo limpio y nutrientes, y se remueve periódicamente para favorecer su aireación. Las condiciones del suelo como el PH, temperatura, aireación se controlan para optimizar la velocidad de degradación. Los contaminantes tratados con éxito por biolabranza, incluyen diésel, gasolina, lodos aceitosos y también pesticidas, es una tecnología de gran escala que se practica en Estados Unidos de América, Holanda, Suiza, Dinamarca y otros países. Las limitaciones que se tienen con la biolabranza es la de manejarlo con cuidado y no contaminar acuíferos, superficies de agua, aire o en la cadena alimenticia, el mayor problema se encuentra en la posibilidad de lixiviados de los contaminantes hacia el suelo y agua.

Bioventilación. - Es un proceso que utiliza una mayor oxigenación en la zona no saturada para acelerar la biodegradación de contaminantes. Se utiliza microorganismos para descomponer sustancias toxicas que han sido absorbidas por el agua. El objetivo es estimular a las bacterias presentes en el área degradada, para así acelerar la biodegradación de hidrocarburos y, si es

necesario añadir nutrientes para facilitar el crecimiento bacteriano. El oxígeno es inducido a través de una inyección directa de aire en el lugar donde se ha producido la contaminación.

Bioburbujeo. - Consiste en inyectar aire a presión en la parte inferior para desplazar el agua de los espacios intersticiales de la matriz del suelo. Esta inyección genera dos efectos: i) el aire inyectado absorbe gran cantidad de los hidrocarburos volátiles presentes en el agua y suelo. ii) el aire eleva los niveles de oxígeno del agua mejorando la biodegradación de los contaminantes. Con inyección de aire se lleva a cabo dos mecanismos de remoción del contaminante, la volatilización de compuesto de la zona insaturada y la fase acuosa y la biodegradación.

Biolixiviación. - Denominada lixiviación bacteriana, consiste en el ataque químico de distintos materiales por bacterias, es posible extraer metales específicos de los minerales en que están encastados, es un método con mucho menos impacto que la lixiviación tradicional, en la que se emplea cianuro. La biolixiviación gana terreno entre las técnicas de minería más prometedoras para el futuro, debido a su menor impacto ecológico y la ausencia de contaminación del suelo.

Bioestimulación. - Modifica el entorno para estimular las bacterias biorremediadoras existentes en el medio aquellas con capacidad para restaurar un entorno con elevada toxicidad. Se emplean distintas técnicas para modificar el entorno a restaurar, entre ellos la inyección de nutrientes que se pierden con la contaminación y que estimulan el crecimiento de los microorganismos responsables de la restauración, y en algunos casos biodesinfectantes para que los microorganismos presentes hagan su trabajo. Esto puede combinarse con el desarrollo de consorcios de microorganismos endógenos que son introducidos en el sitio contaminado para generar las condiciones de normales.

Bioaugmentación. - Se inoculan cepas microbianas genéticamente modificadas y con mayor capacidad para restaurar entornos con alta concentración tóxica.

Composteo: (Biorremediación en fase sólida) es un proceso biológico controlado, por el cual pueden tratarse suelos y sedimentos contaminados con compuestos orgánicos biodegradables, para obtener subproductos inocuos estables. El material contaminado se mezcla con agentes de volumen que son sustancias orgánicas sólidas biodegradables, adicionadas para mejorar el balance de nutrientes, así como para asegurar una mejor reacción y la generación de calor durante el proceso. El composteo se ha utilizado con éxito para remediar suelos contaminados con cloro fenoles, gasolinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos de petróleo. Se ha demostrado también la reducción hasta niveles aceptables en la concentración y toxicidad de explosivos. Las limitaciones de este proceso son: i) necesidad de espacio ii) necesidad de excavar el suelo contaminado iii) incremento volumétrico del material a tratar y iv) no se pueden tratar metales pesados.

Fitorremediación. - Se refiere a tratamiento de problemas ambientales mediante el uso de plantas, un proceso más sencillo y menos costos que modalidades tradicionales, como excavar el material contaminante y depositarlo en un lugar controlado, y como el resto de modalidades de biorremediación se evita el impacto ecológico de la maquinaria y el transporte de las sustancias peligrosas, que además deben ser almacenadas y no desaparecen. Se emplean plantas con la habilidad de absorber y degradar o eliminar pesticidas, solvente, explosivos, hidrocarburos y sus derivados, así como otras sustancias tóxicas tales como restos de metales pesados.

Microrremediación.- Forma de biorremediación en la que se emplean hongos para descontaminar un área, a través del uso de micelios (cuerpo vegetativo del hongo), y debido a su capacidad para descomponer materia orgánica pueden ser empleados para transformar hidrocarburos e incluso gases nocivos en fertilizante orgánico, de un modo económico.

Entre otras tecnologías de biorremediación con OGMs podemos mencionar a volatilización de mercurio, Fitovolatilización de mercurio, Detoxificación de TNT y GNT, Acumulación de cadmio, Arsenio y mercurio, Cianobacterias transgénicas con genes de bacterias *Pseudomonas*, Barrera biorreactiva. (COTO, 2013)

ABREVIATURAS

SBL - X1 = Pozo Sábalo X1

SBL - X2 = Pozo Sábalo X2

SBL - X3 = Pozo Sábalo X3

SBL - X4 = Pozo Sábalo X4

SBL-X4D = Pozo Sábalo X4D

SBL - 5 = Pozo Sábalo 5

SBL - 7 = Pozo Sábalo 7

SBL - 8 = Pozo Sábalo 8

RESUMEN

Como introducción se tiene el capítulo 1 donde se menciona de forma resumida el efecto que tiene los rípidos de perforación en el medio ambiente, los cuales son generados por la perforación de pozos para lo cual se da a conocer el uso de biotecnologías en la industria petrolera donde se menciona las biorremediaciones de recortes de perforación que están contaminados con hidrocarburos, se menciona también antecedentes sobre el campo sábaló, las primeras perforaciones, antecedentes de países que ya aplicaban biorremediaciones de rípidos de perforación, se identifica y formula el problema sobre este tema, cual es el objetivo general y específico, su justificación técnica y ambiental y cuál es el alcance temático y geográfico.

Seguidamente en el capítulo 2 se señala la parte del marco legal y teórico, en el marco legal encontramos las leyes, reglamentos y normas que se tienen en el país como ser: reglamentos de normas técnicas y de seguridad para las actividades de perforación y explotación de hidrocarburos, reglamento ambiental para el sector hidrocarburos y ley de hidrocarburos. Más adelante se encuentra la descripción geográfica y geológica del campo sábaló, su exploración y descripción de los pozos sábaló 1, sábaló 2 y sábaló 3. Se da una introducción a la perforación petrolera, su tiempo de duración las etapas que se realizan, el tamaño del pozo, equipos que se utilizan hasta su terminación. Se señalan las ecuaciones que se usaran para el cálculo necesario, una pequeña introducción al control de las presiones de formación, remoción de los recortes de pozo, enfriamiento y lubricación de la barrena, transmisión de energía al fondo de pozo, mantenimiento de la estabilidad del pozo, sistemas de fluidos de perforación y equipo circulación.

En el capítulo 3 se centra más sobre lo que son rípidos de perforación, su definición, su categoría y tamaños, como se generan los rípidos, cual es el efecto que tienen estos en los fluidos de perforación, cuales son los volúmenes de rípidos que se generan, los equipos de control de sólidos que intervienen en su selección, las técnicas de tratamiento para su disposición final, biotecnologías para la remediación de suelos, técnicas de Biotratamiento donde se menciona la técnica de landfarming, tratamiento térmico y otros y los equipos usados para estos tratamientos. En este capítulo se centra más en lo que es la biorremediación y cuál es la diferencia con respecto a otros métodos tradicionales e innovadoras, las ventajas y desventajas los principales métodos, la capacidad de remoción de las diferentes técnicas utilizadas actualmente en el mundo.Cuál es el método utilizado en Bolivia para el manejo de estos recortes sus disposiciones ambientales y de seguridad industrial.

En el capítulo 4 se tiene los cálculos respectivos como ser los volúmenes generados por cada pozo, que serán una referencia importante para saber cuánto de recortes se producirán en una futura

perforación, la determinación de sólidos a tratar mediante el fluido de perforación, el volumen de bentonita y arcilla.

La finalidad de este proyecto es proponer de una manera no muy compleja, una alternativa al manejo de recortes de perforación que no sea la de locación seca, mostrar la ventaja de poder tener una opción de manejo de un método de biorremediación para el tratamiento de recortes presentes en los desechos de los fluidos de perforación, minimizando así el impacto ambiental, dar una opinión de cuál sería el método utilizado para este tratamiento (landfarming).

Capítulo 5 conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I.

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Cuando la cantidad de hidrocarburo en el ambiente es mayor de la que puede ser reciclada, se convierte en un contaminante de impacto negativo, ya que entre sus componentes existe altas concentraciones de sustancias consideradas como residuos peligrosos, como benceno, tolueno etilbenceno, naftaleno y fenantreno, por su efecto dañino a la salud. (Puente, Ortiz, & Gutiérrez, 2004).

Otro contaminante a tomar en cuenta y que requieren de mayor atención son los ripios o recortes de perforación (tema central en este proyecto), los ripios de perforación son los sólidos que se generan por la perforación en la corteza terrestre, los cuales son arrastrados hacia la superficie por el fluido, el volumen de recortes depende de la profundidad y diámetro de perforación. (Villegas, Rivera, Herrera, & González, 2013).

El presente proyecto trata de dar a conocer las biotecnologías aplicadas tanto para el tratamiento como para la remediación de los recortes de perforación para proponer un método efectivo que evite la contaminación ambiental de estos desechos generados por la actividad de perforación.

1.1.1 Uso de la Biotecnología en la industria petrolera

Por principios la biotecnología del petróleo podría definirse como el estudio y uso racional de la biodiversidad, sus recursos genéticos y/o sus bioproductos para darle un valor añadido a los productos y procesos de la industria petrolera en toda su cadena de valor, así como para contribuir a mitigar el impacto ambiental producto de sus actividades. Es así, como el mejoramiento de sus capacidades productivas, la seguridad integral de sus procesos operativos y el saneamiento de sus pasivos ambientales, surge la biotecnología aplicada a la industria del petróleo. Aunque tienen varios beneficios y aplicaciones se hace referencia a 4 principales. (Briceño, 2015)

- Mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas de crudos no convencionales y sus derivados mediante el uso de biocatalizadores enzimáticos, soporte nanoestructurados y otros procesos acoplados de bioconversión de crudos.
- Mejoramiento del factor de recobro de crudo en yacimientos mediante el uso de microorganismos extremófilos promisorios y polímeros biodegradables (biorecuoeración).
- Biorremediación de suelos y cuerpos de agua contaminados con hidrocarburos, fosas petrolíferas, ripios de perforación y desechos contaminantes industriales (Biorremediación).

- Detección, monitoreo y control de procesos de corrosión influenciada por microorganismos en sistema de transporte de fluidos (biocontrol).

1.1.1.1 Biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos

La excavación de pozos para la extracción de gas natural genera grandes cantidades de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos, dichos materiales pueden tratarse mediante diversos procesos físicos y químicos para su restauración, pero en la mayoría de los casos esos tratamientos son muy costosos y producen contaminación colateral del medioambiente sin que se garantice la eliminación satisfactoria de los hidrocarburos. El uso de métodos de biorremediación puede reducir la concentración de hidrocarburos en estos materiales hasta niveles aceptables. En México Tamaulipas se hicieron tres ensayos de suelo, con recortes contaminados, para conocer la capacidad de inducir la descomposición de hidrocarburos impregnados en los recortes de perforación y lograr la biorremediación, también se evaluó la bioestimulación de los microorganismos del suelo con nitrógeno y fósforo en la descomposición de los hidrocarburos en dichas mezclas. Las mezclas de suelo y recortes de perforación contaminados con hidrocarburos, procedentes de pozos de extracción de gas natural, se vertieron e incubaron por más de un año en celdas de biorremediación de 1.0 x 1.2 x 0.4 m. se estudiaron dos suelos de uso agrícola y uno de vegetación natural con base en contenido de carbono orgánico se adicionaron nitrógeno y fosforo en cantidades suficientes. El contenido de hidrocarburos disminuyó significativamente cuando los recortes mezclados con suelo se incubaron dentro de las celdas con la adición de nitrógeno y fosforo. Se desarrollaron plantas de maíz en los recortes biorremediados, los suelos estudiados indujeron la descomposición de los hidrocarburos impregnados en los recortes de perforación y por lo tanto provocaron la biorremediación de los recortes. La bioestimulación de los microorganismos del suelo con nutrientes de nitrógeno y fosforo, humedad y aireación aumento la descomposición de los hidrocarburos y propicio la biorremediación de los recortes de perforación. (Ortiz, y otros, 2018)

1.2 Antecedentes

El campo sábalo se descubrió cuando se hizo la perforación del pozo SBL – X1 a fines de noviembre de 1998, alcanzando una profundidad de 4443 m y resultando descubridor de las acumulaciones comerciales de gas y condensado en reservorios de las formaciones Huamampampa, Icla, Tarija. A fines de 1999, se tenía la ubicación del pozo exploratorio SBL – X2 que alcanzo una profundidad de 5264 m. adicionalmente se descubrió gas en la formación Santa Rosa, simultáneamente a la perforación del pozo SBL – X2, durante la gestión 2001, se realizó una sísmica 2D y con la información de esta más la información geológica brindada por la perforación de los pozos SBL – X1 y SBL – X2 se dio la ubicación de los pozos SBL – X3 y SBL – X4. El pozo SBL – X3 se encuentra ubicado entre los

pozos SBL – X1 y SBL – X2; el pozo SBL – X4 se encuentra ubicado a orillas del río Pilcomayo a unos 4,4 Km del pozo SBL – X1. (Energia, 2011).

Tabla 1.1: Profundidad de pozos

POZO	Prof. Final
SBL-X1	4443.0
SBL-X2	5264.0
SBL-X3	4159.0
SBL-X4	4252.0
SBL-5	4866.0
SBL-7	
SBL-8	

Fuente: (Energia, 2011) campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

Tabla 1.2: Tiempos de perforación

TIEMPOS DE PERFORACIÓN			
POZO	INICIO PERFORACIÓN	CONCLUSIÓN PERFORACIÓN	DÍAS PERFORACIÓN
SBL-X1	28/11/1998	30/12/1999	397
SBL-X2	10/09/2000	01/12/2001	447
SBL-X3	10/12/2001	22/04/2002	133
SBL-X3D	13/05/2002	26/08/2002	105
SBL-X4	09/03/2002	12/09/2002	187
SBL-X4D	15/09/2002	23/12/2002	99

Fuente: (Energia, 2011) campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

Petrobras inicio la fase de exploración con la adquisición de 219,3 Km lineales de datos sísmicos 2D y un relevamiento geológico de toda la estructura. La interpretación e integración de estos datos dio como resultado la perforación del pozo SBL-X1.

1.2.1 Aplicaciones

En una empresa de extracción y perforación de petróleo de cuba (EPEP), se ha aplicado desde hace siete años el proceso de biorremediación a los rípios o cortes de perforación provenientes de las operaciones de extracción de petróleo, que durante algún tiempo estuvieron almacenados sin

tratamiento y disposición adecuados, ocasionando un serio impacto ambiental en el ecosistema asociado. (Roberto Romero Silva(1), 2013)

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Identificación del problema

El petróleo es una mezcla compleja de cientos de compuestos químicos, sus características y proporciones de sus constituyentes varían en función de su origen geológico y geográfico (Puente, Ortiz, & Gutiérrez, 2004). Los procesos que se emplean para la extracción del petróleo dependen de gran medida de factores como la ubicación del yacimiento o las características que presenta este yacimiento, una vez que se ha detectado una zona con posible presencia de petróleo se procede a hacer una perforación de cierta profundidad.

La perforación de pozos genera una serie de desechos que son altamente contaminantes como son: los ripios, también conocidos como recortes de perforación, que consisten en fragmentos de roca que son triturados por la mecha de perforación de pozos constituidos principalmente por arenas, arcillas, minerales y aditivos (Villegas, Rivera, Herrera, & González, 2013), lodos, desechos químicos, entre otros; si no reciben el tratamiento adecuado puede causar daños irreparables al ambiente y poblaciones aledañas.

El primer campo perforado en nuestro país fue el campo Bermejo, en esos tiempos no existían técnicas adecuadas para el tratamiento y recuperación de desechos, producto de la perforación de estos pozos, por lo cual se cavaban fosas para sepultar estos recortes.

El campo sábaló cuenta con 10 pozos perforados donde los recortes producidos se los maneja con el método de locación seca, este método no solo es aplicado en este campo, si no en todos los campos existentes en Bolivia, donde todos los recortes producidos por estos reciben el mismo tratamiento.

1.3.2 Formulación del problema

Realizar un estudio técnico en biotecnologías para al tratamiento de ripios de perforación y pueda ser beneficioso para un mejoramiento en el impacto ambiental.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Plantear un estudio técnico de aplicación de biotecnologías para el tratamiento de ripios de perforación, para remediación ambiental en base al campo sábaló.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Cuantificar el volumen de desechos producidos por la perforación de pozos.
- ✓ Aplicar el reglamento ambiental para el sector hidrocarburífero a base de normas legales sobre al manejo de residuos y recuperación de desechos producidos por la perforación.
- ✓ Recopilar información técnica y social de fuentes confiables que permita establecer la problemática ambiental relacionada con los rípios de perforación.
- ✓ Identificar los sistemas tradicionales aplicados actualmente en la industria en el manejo de los rípios de perforación.
- ✓ Identificar tecnologías relativamente nuevas o alternativas de poca difusión en el mercado nacional o internacional en el manejo de los rípios de perforación.
- ✓ Evaluar ventajas y desventajas de biotecnologías con respecto a otros métodos convencionales.
- ✓ Sugerir el mejor sistema en función del análisis técnico realizado.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación Técnica

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un estudio técnico aplicando biotecnologías para el tratamiento de los rípios (recortes) de perforación, para remediación ambiental, aplicando el " reglamento de Normas Técnicas y de Seguridad para las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos " ubicada en Capitulo IV del medio ambiente de la licencia ambiental Artículo 59, Ley N° 3058 Ley de Hidrocarburos Artículo 134 Impacto ambiental.

1.5.2 Justificación Ambiental

Uno de los efectos colaterales desafortunados de la búsqueda de hidrocarburos es la acumulación de escombros que se removieron para llegar a esos recursos. Las operaciones de perforación moderna generan diversas opciones para la eliminación de los residuos de recortes, del pozo. En épocas pasadas la atención era muy poca a la eliminación de recortes de perforación, estos materiales se desechaban por la borda en las operaciones marinas o se sepultaban durante la perforación en las localizaciones terrestres. En las décadas de 1980 y 1990, la concientización ambiental global aumentó y la industria del gas y petróleo, junto con sus reguladores, comenzaron a comprender y apreciar el impacto ambiental de los residuos de perforación. (Geehan, Gilmour, & Guo, 2003)

1.6 Alcance

1.6.1 Alcance Temático

La aplicación de este proyecto está basado al área de perforación en Bolivia, donde el tema exclusivo a tratar son los recortes de perforación, el proyecto se fundamenta en términos técnicos como medio ambientales.

1.6.2 Alcance Geográfico

El alcance geográfico de este proyecto se basa en el campo Sábalo ubicado en el departamento de Tarija provincia Gran Chaco en el bloque san Antonio.



CAPITULO 2.

MARCO TEORICO

2.1 Marco Legal

En Bolivia existen decretos y leyes con respecto a los hidrocarburos y medio ambiente, las cuales se mencionan a continuación.

2.1.1 Ley 24689 Reglamentos de Normas Técnicas y de Seguridad para las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos, de 2 de julio de 1997

Título I: Del contenido y Alcance

Título II: De los organismos competentes

Título III: Definiciones

Título IV: Del reglamento general

Título V: Exploración: Ley del Medio Ambiente Ley No. 1333, reglamento ambiental para el sector hidrocarburos.

Título VI: Perforación: en el capítulo 1 artículo 90 señala que el sistema de reacondicionamiento de lodos debe estar conformado por lo menos por Zaranda, Desgasificador, y un adecuado sistema de control de sólidos.

2.1.2 Ley 1333 Reglamento Ambiental para el Sector Hidrocarburos, de 19 de julio de 1996

Señala:

Que el Artículo 20 de la Ley del Medio Ambiente Ley No. 1333, establece que se consideran actividades y/o factores susceptibles de degradar el medio ambiente aquellos que contaminan el aire, las aguas en todos sus estados, el suelo y el subsuelo, cuando excedan los límites permisibles que sean establecidos en una reglamentación expresa.

Que el reglamento ambiental para el sector hidrocarburos, aprobado mediante decreto supremo 24335 de fecha 19 de julio, no establece límites máximos permisibles para aguas y suelos para el sector hidrocarburiífero.

2.1.3 Ley 3058 de Hidrocarburos, de 17 de mayo de 2005

La ley de hidrocarburos 3058 trata sobre el cumplimiento del referéndum del 18 de julio de 2004 sobre la política de hidrocarburos en Bolivia norman las actividades hidrocarburíferas de acuerdo a la Constitución Política del Estado y establecen los principios, las normas y los procedimientos fundamentales que rigen en todo el territorio nacional para el sector hidrocarburífero.

En Bolivia no existe un reglamento o decreto que hable específicamente sobre los tratamientos que se deberían realizar a los líquidos y sólidos como los lodos de decantación y rípios de perforación durante y concluida esta.

2.2 Marco Teórico

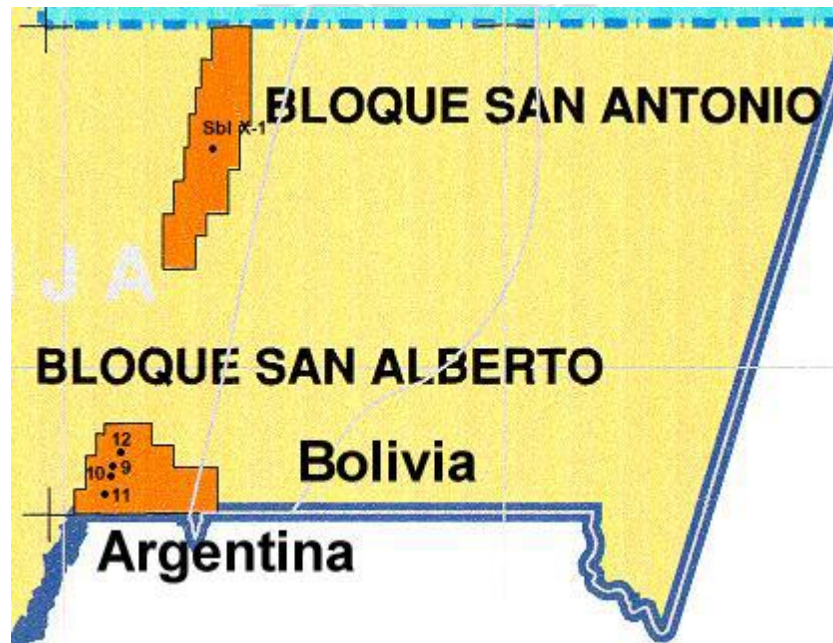
2.2.1 Descripción del campo

2.2.1.1 Ubicación del Campo

El campo Sábalo se encuentra ubicado en el bloque San Antonio, este se ubica en el Subandino Sur, ubicado en la Provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, aproximadamente a 20 Km al oeste de la ciudad de Villa montes. (Energia, 2011)

Está situado en el área tradicional de exploración y explotación de petróleo y gas, tiene una extensión original de 13.78 parcelas, equivalente a 34450 Has. (Energia, 2011)

Figura 2.1: Ubicación de los bloques de Petrobras



Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

Tabla 2.1:Coordenadas UTM

POZO	X	Y	Zt
SBL-X1	433230.5	7648567.8	826.0
SBL-X2	430935.7	7640912.0	901.3
SBL-X3	432642.9	7644492.0	856.6
SBL-X4	434642.9	7652829.2	534.0
SBL-5	435584.7	7657931.2	798.2
SBL-7	430510.4	7637455.0	1082.8
SBL-8	433207.0	7650741.0	743.5

Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

2.2.1.2 Descripción Geológica del Campo Sábalo

Regionalmente, la serranía de San Antonio es parte de la faja plegada y fallada superficial de edad Cenozoica, la cual modela sobre una cuenca Paleozoica, el gran saliente topográfico boliviano. La estructura del Campo Sábalo es nueva, probablemente no más antigua que 3-2 M.a. (Plioceno). Varios eventos geológicos estuvieron presentes en el área, desde el cámbrico, la región Occidental del territorio boliviano tuvo muchas fases de subsidencia y de solevantamiento. La secuencia estratigráfica presente en el subandino Sur de Bolivia, incluye rocas de edad silúrica hasta el sistema terciario superior, y donde participa el bloque San Antonio, como se muestra en la Figura 2.2 (Energia, 2011).

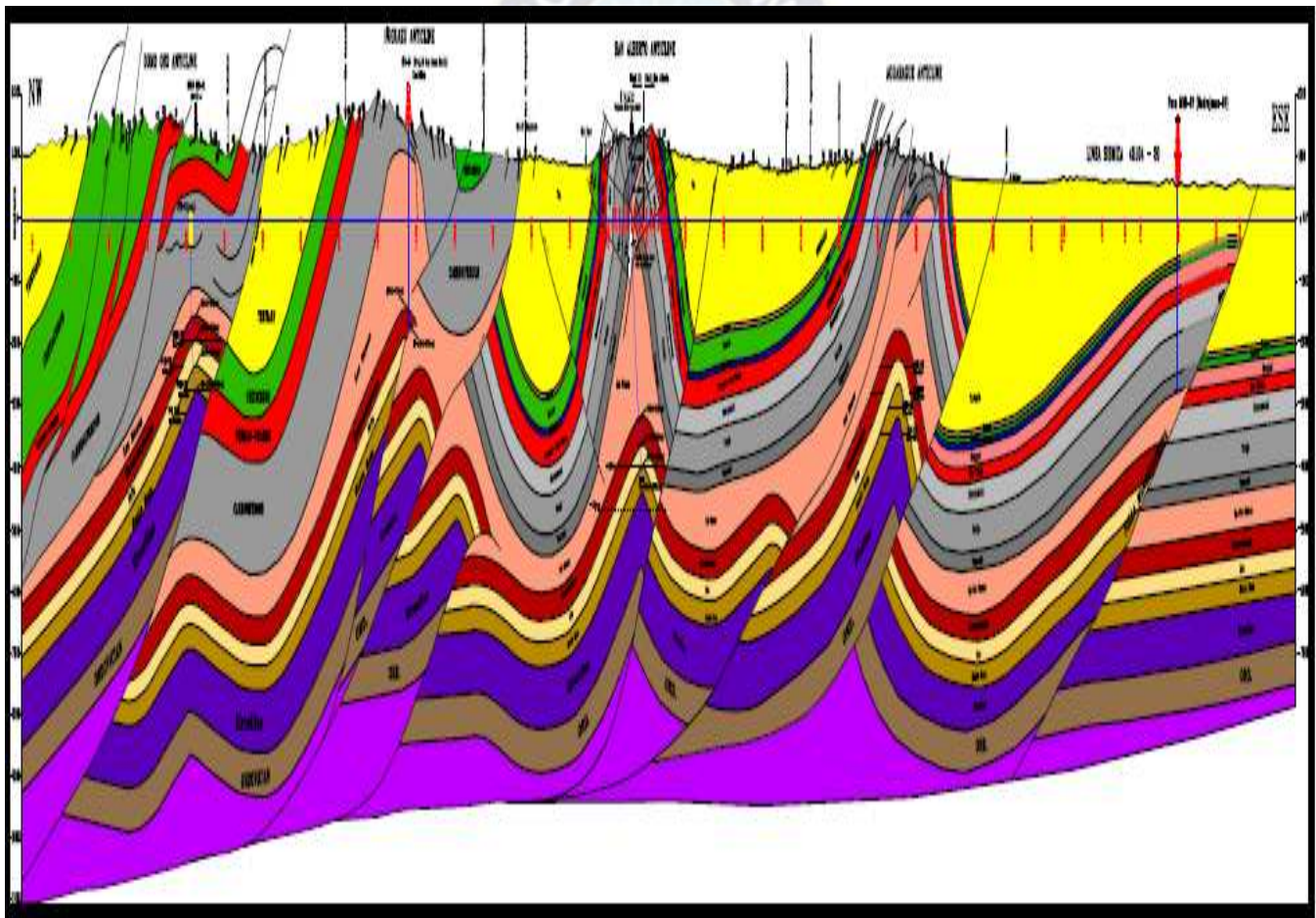
Figura 2.2: Columna estratigráfica generalizada

AGE		GROUP	FORMATION	LITHOLOGY
TERTIARY	PLIO.?	UPPER CHACO	EMBOROZU	
	MIOCENE		GUANDACAY	
		L. CHACO	TARIQUIA	
	LATE OLI.			
CRETACEOUS	EARLY	TACURU	ICHOA	
			CASTELLON	
			TAPECUA	
TRIAS.	EARLY	BASALTO ENTRERERIOS		
	LATE	IPAGUAZU		
PERM.	LATE	VITIACUA		
	EARLY	CANGAPI		
CARBONIFEROUS	LATE	MUNDI-YUTI	SAN TELMO	
			ESCARPMENT	
		MACHARETI	TAIQUATI	
	CHORRO			
	TARIJA			
	ITACUAMI			
	EARLY		TUPAMBI	
		ITACUA(Salpurú)		
DEVONIAN	LATE	IQUIRI		
	M	LOS MONOS		
	EARLY	HUAMAMPAMPA		
		ICLA		
SILURIAN	LATE	GUAYABILLAS(Tarabuco)		
		KIRUSILLAS		
	EARLY	CANCAÑIRI		
ORD.	LATE	SAN BENITO		
	EARLY	SELLA / ANZALDO CIENEGUILLAS ISCAYACHI		
P.C.	LATE	SAMA/TOROHUAYCO/CAMAC		
		SAN CRISTOBAL + BASEMENT		

Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

Cortes estructurales regionales como se ve en la Figura 2.3 muestra un estilo estructural del tipo thin skin donde la superficie de despegue principal está ubicada cerca de la discordancia asociada a la Orogenia Ocoyca. Las principales estructuras anticlinales, entre ellas la del campo Sábalo. Pueden ser interpretadas utilizando un modelo de propagación de fallas. En términos de comportamiento geológico, dos paquetes arcillosos principales, el intervalo Kirusillas/Tarabuco y la formación Los monos, representan los intervalos Dúctiles, mientras que el intervalo huamampampa/lcla y toda la secuencia superior del tope de los monos se comportan como rígidos. Por razones de simplificación se considera que el sistema doble Kirusillas/Tarabuco y los monos representan las principales zonas de detachment.

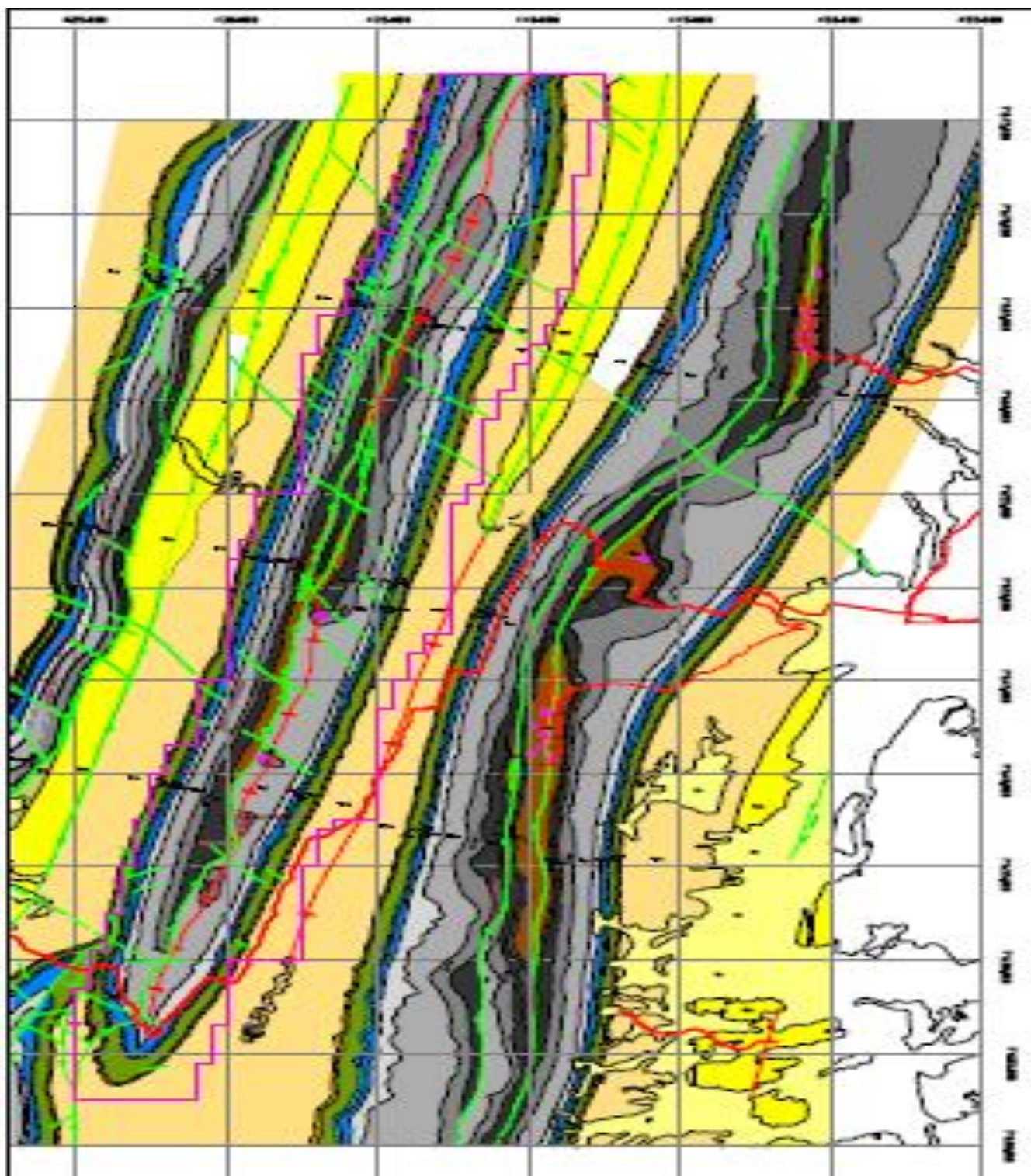
Figura 2.3: Sección geológica regional



Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

En la Figura 2.4 se muestra el mapa geológico de superficie del campo Sábalo y zonas adyacentes y juntamente las líneas sísmicas registradas, fueron las bases para la interpretación de la estructura anticlinal de Sábalo

Figura 2.4: Mapa geológico



Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

2.2.1.3 Exploración

Petrobras Bolivia, inicio la fase de exploración con la adquisición de 219,3 Km de datos sísmicos 2D (Figuras 2.4 y 2.5) y un relevamiento geológico de toda la estructura. La interpretación e integración de estos datos dió como resultado la perforación del pozo SBL-X1 a fines de noviembre de 1998, alcanzando una profundidad final de 4443 m. y resultando descubridor de las acumulaciones comerciales de gas y condensado en reservorios de las Formaciones Huamampampa e Icla, después de atravesar una columna estratigráfica iniciada en rocas carboníferas de la Formación Tarija y concluida en la Formación Icla.

Posteriormente se realizó una nueva campaña sísmica del tipo 2D de 51 Km a fines del año 1999, que con procesamiento e interpretación geológica-geofísica permitió definir la ubicación del pozo exploratorio SBL-X2

El pozo SBL-X2, que alcanzó una profundidad final de 5264 m, confirmó la continuidad de la estructura y los reservorios de las Formaciones Huamampampa e Icla hacia el Sur del pozo SBL-X1. Adicionalmente descubrió gas en la Formación Santa Rosa, incorporando nuevos volúmenes de reservas.

Simultáneamente a la perforación del pozo SBL-X2, durante la gestión 2001 se realizó una campaña de sísmica 2D de 225 km. La interpretación de esta sísmica, más la información geológica brindada por la perforación de los pozos SBL-X1 y SBL-X2, definió la ubicación y el diseño de los pozos SBL-X3 y SBL-X4.

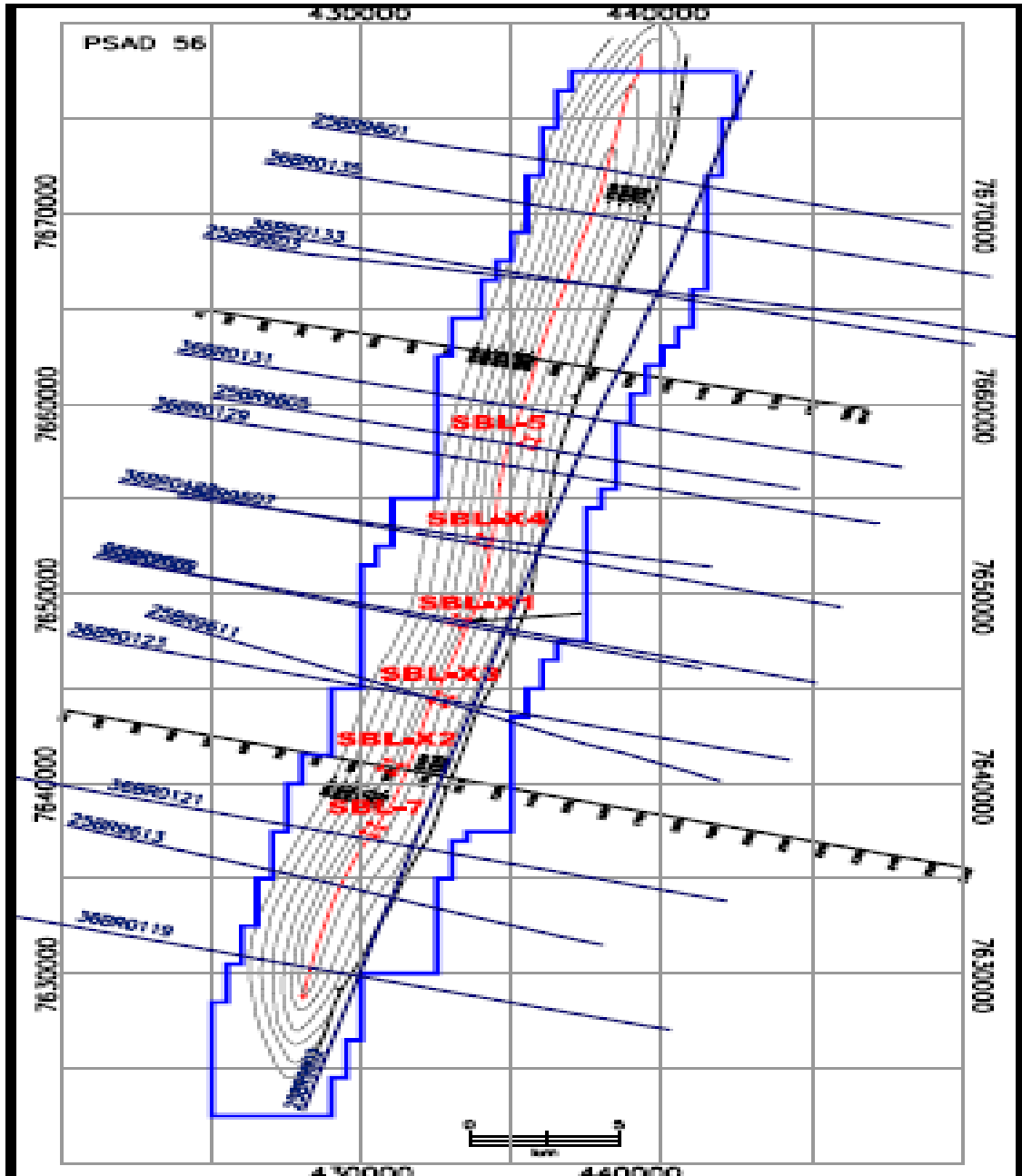
El pozo SBL-X3, ubicado en una posición intermedia entre el SBL-X1 y SBL-X2, fue programado inicialmente con el fin de producir las reservas existentes en las Fms. Huamampampa, Icla y Santa Rosa. Luego de iniciada la perforación se cambió el proyecto con el cual se estableció que mediante un pozo direccional de alto ángulo se investigaría los reservorios H0, H1, H2 y H3 de la Formación Huamampampa, así como la zona inferior H4 (SBL-X3D) mediante navegación con perforación sub horizontal y en dirección paralela al eje de la estructura.

En ese sentido fueron necesarios análisis de estabilidad del pozo y densidad de lodo requerida para la perforación. Los resultados de este análisis mostraron que con un lodo de 14 lpg era posible perforar de manera segura. Se perforaron 555 m dentro del reservorio H4, alcanzando una profundidad final de 4159 m. con un ángulo vertical de 82,4°.

Posteriormente y también con el objetivo de producir las reservas de hidrocarburos gaseosos de las Formaciones Huamampampa, Icla y Santa Rosa se programó la perforación del pozo SBL-X4. Este sondeo está ubicado a orillas del Río Pilcomayo, a unos 4,4 Km en dirección N 12° del pozo SBL-X1. Originalmente se programó un pozo de 4681 m, que debería alcanzar la Formación Santa Rosa, sin embargo, en el transcurso de la perforación el objetivo fue cambiado y solamente se investigaría los

reservorios de la Formación Huamampampa con un pozo direccional de alto ángulo. El pozo SBL-X4D, se perforó a partir del pozo SBL-X4 con un KOP a los 3157 m (Formación Los Monos) con un azimut de 357.4 y finalizó a los 4260 m, habiendo atravesado de manera sub horizontal 610.8 m del reservorio H4.

Figura 2.5: Mapa base de sísmica y pozos



Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

2.2.1.3.1 Pozo Sábalo -X1 (SBL-X1)

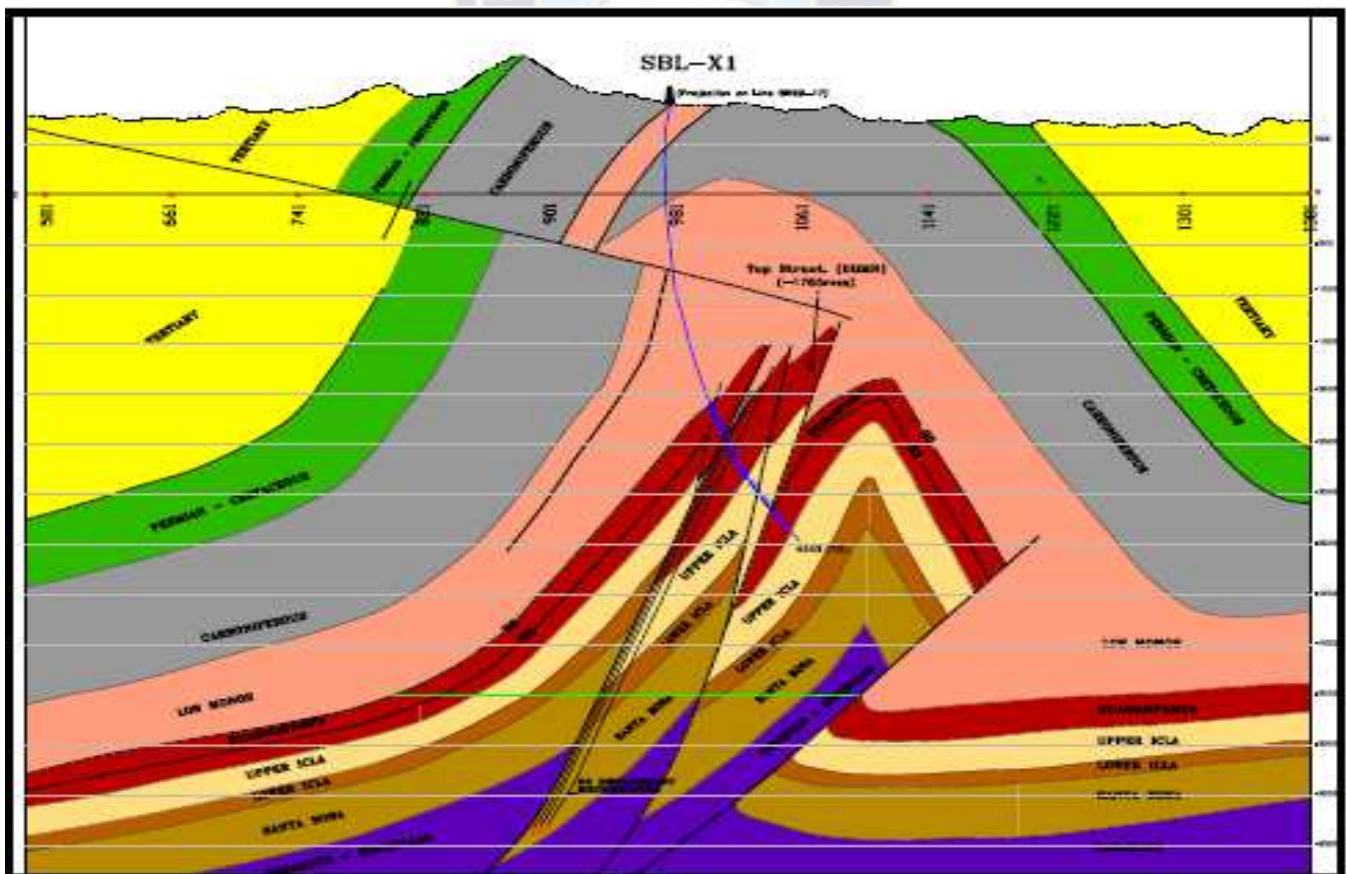
El pozo exploratorio, fue programado para alcanzar la profundidad final de 3850 m, o alternativamente 5050 m, para investigar estratos arenosos de las Formaciones Huamampampa, Icla y Santa Rosa.

La perforación se inició el 28 de noviembre de 1998 y alcanzó su profundidad final en 4443 m. el 11 de diciembre de 1999, siendo clasificado como descubridor de nuevo campo (B3) de gas y condensado en los reservorios de las Formaciones Huamampampa e Icla. Debido a problemas operativos, fueron necesarios dos side tracks durante la perforación.

Estratigráficamente la perforación del pozo SBL-X1, se inicia en sedimentitas del Sistema Carbónico, en la zona basal del Grupo Macharetí (Fm. Tarija) y culmina a la profundidad final de 4443 m, en las pelitas de la Formación Icla.

Fueron atravesadas fallas inversas de alto ángulo dentro del Formación Los Monos. En la secuencia Huamampampa-Icla, también se atravesaron fallas, siendo dos de ellas de un rechazo considerable y que permitieron definir la presencia de tres bloques en este campo.

Figura 2.6: Corte del pozo SBL-X1



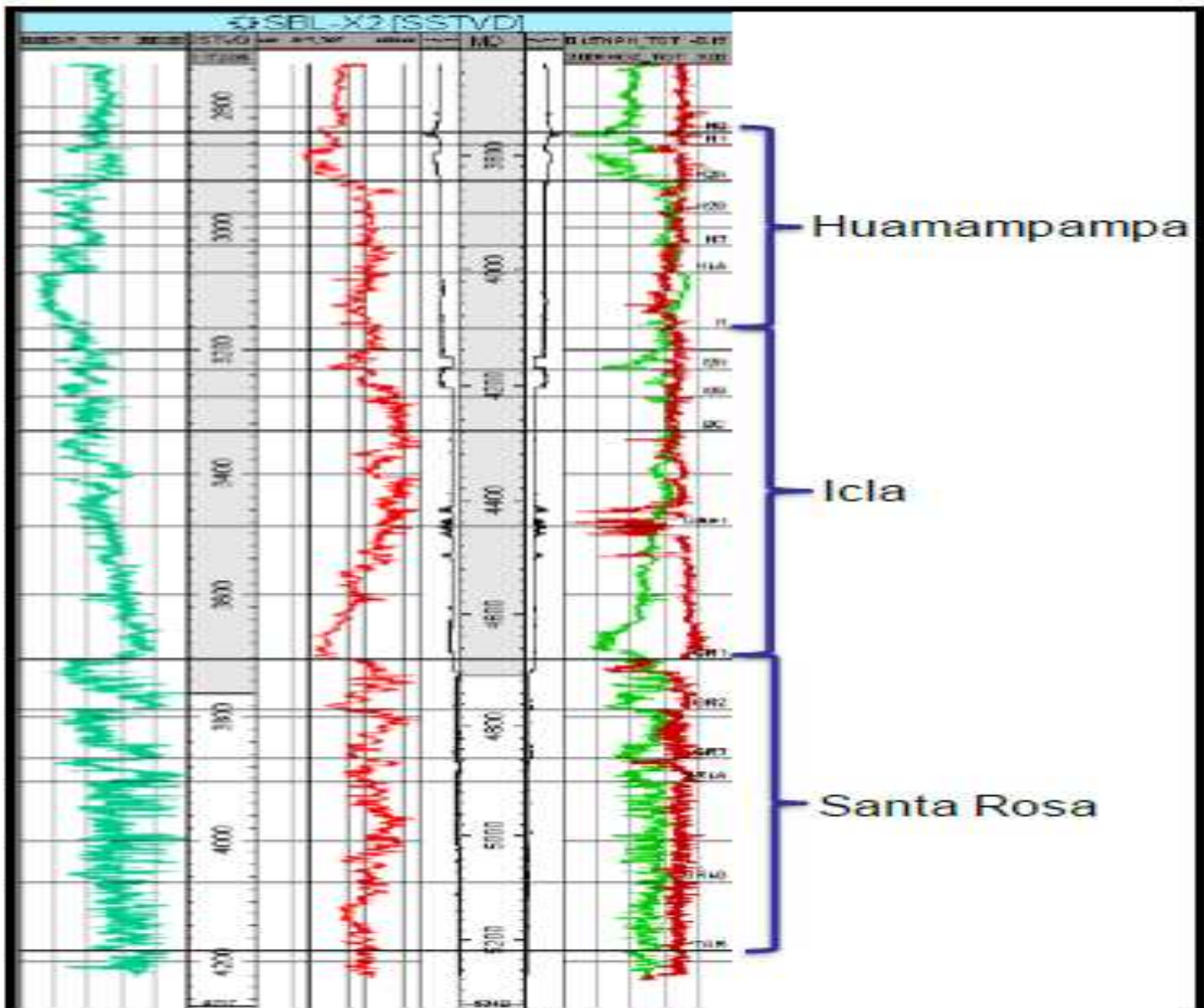
Fuente: (Energía, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

2.2.1.3.2 Pozo Sábalo -X2 (SBL-X2)

La propuesta geológica de perforación ubicó el mismo a 9.3 Km al Sur del SBL-X1 y marcó como objetivos principales los reservorios Devónicos de las Formaciones Huamampampa e Icla descubiertos por el pozo SBL-X1 y como objetivos secundarios, posibles reservorios dentro de la Formación Santa Rosa.

Las operaciones se iniciaron el 10 de septiembre de 2000 y finalizaron el 19 de octubre de 2001 a una profundidad final de 5264 m. habiendo atravesado la secuencia Huamampampa-Icla-Santa Rosa e ingresado en la parte superior de la Formación Tarabuco

Figura 2.7: Registro eléctrico del tramo de los reservorios



Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

2.2.1.3.3 Pozo Sábalo - X3 (SBL-X3)

El pozo fue programado para investigar reservorios del Sistema Devónico, evaluados anteriormente en los pozos SBL-X1 y SBL-X2.

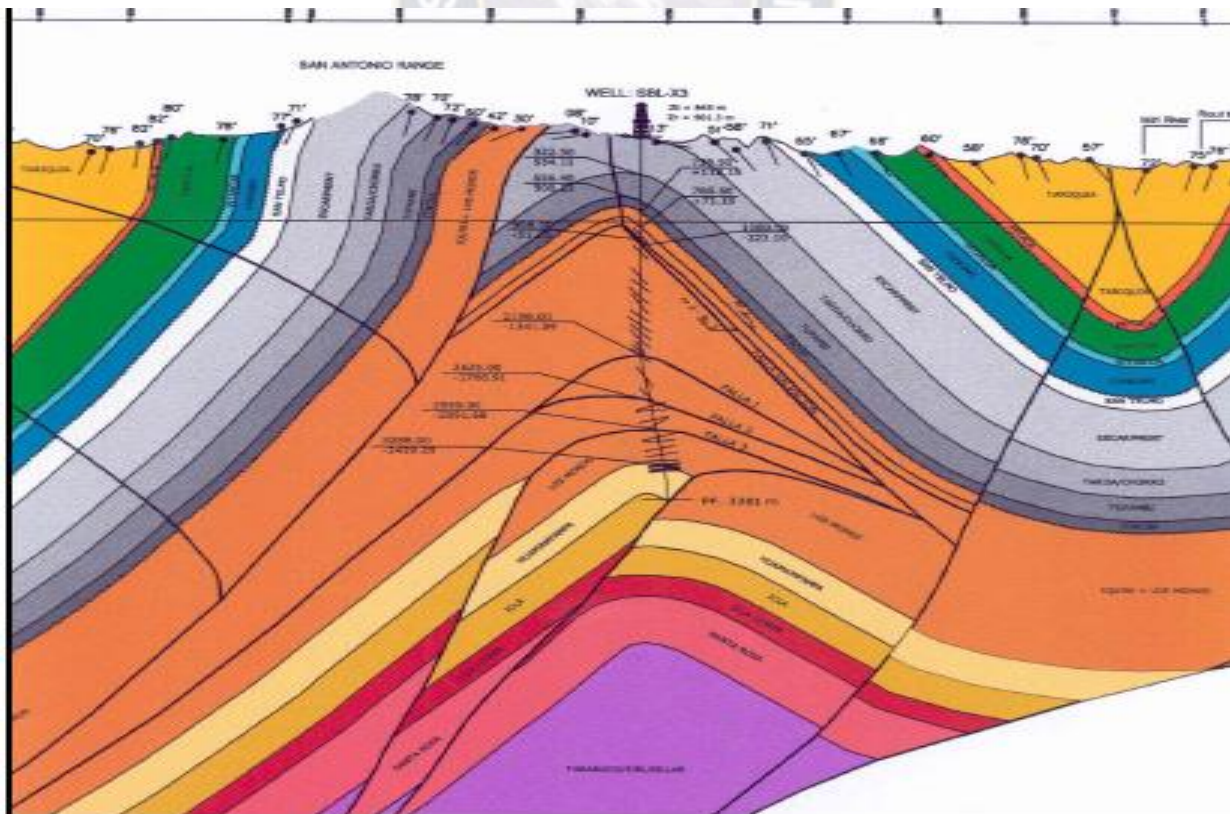
La perforación se inició el 10 de diciembre de 2001 y alcanzó una profundidad final de 4780 m. el 22 de abril de 2002. A partir de este pozo y con un KOP de 3089 m, se perforó un pozo direccional de alto ángulo con el objetivo de atravesar los reservorios H2, H3 y H4 con la mayor longitud posible. Este pozo se denominó SBL-X3D y alcanzó una profundidad final de 4159 m., el 18 de julio de 2002.

En la Figura 2.8, se observa el corte estructural perpendicular al eje de la estructura, a la altura del pozo SBL-X3 y que muestra la configuración estructural de los reservorios atravesados.

Con este pozo se confirmaron las reservas de gas descubiertas en los reservorios naturalmente fracturados de las Formaciones Huamampampa e Icla. Finalmente, el pozo quedó con arreglo simple de producción para producir todos los reservorios del Huamampampa.

Las pruebas de producción realizadas dan como conclusión que se trata de un pozo de alta producción de gas y condensado de los reservorios H2, H3 y H4 de la Formación Huamampampa.

Figura 2.8: Corte estructural del pozo SBL-X3



Fuente: (Energia, 2011) Campos gasíferos y petrolíferos de Bolivia

2.2.2 Perforación Petrolera

La única manera de saber realmente si hay petróleo en el sitio donde la investigación geológica indica, es mediante la perforación de un hueco o pozo. El primer pozo que se perfora en un área inexplorada se denomina pozo exploratorio y en el lenguaje petrolero se lo clasifica como "A-3". (Naranjo, 2006)

El objetivo de la perforación es construir un pozo, un conducto desde el yacimiento hasta la superficie, que permita su explotación racional en forma segura y al menor costo posible. El diseño de un pozo incluye un programa detallado para perforarlo con las siguientes características. (Diseño de perforación de pozos)

- Seguridad durante la operación, personal y equipo
- Costo mínimo
- Pozo útil de acuerdo a los requerimientos de producción y yacimientos (profundidad programada, diámetro establecido)

De acuerdo con la profundidad proyectada, las formaciones que se van a atravesar y las condiciones propias del subsuelo, se selecciona el equipo de perforación más adecuado. (Naranjo, 2006)

Los principales elementos que conforman un taladro de perforación son los siguientes.

- Sistema de soporte estructural y de elevación.
- Sistema rotatorio.
- Sistema de circulación.
- Sistema de generación y transmisión de potencia.
- Sistema de prevención de reventamiento o surgencias.

El tiempo de perforación de un pozo dependerá de la profundidad programada y las condiciones geológicas del subsuelo. La perforación se la realiza por etapas, de tal manera que el tamaño del pozo en la parte superior sea ancho y en las partes inferiores cada vez más angosto, esto da consistencia y evita derrumbes, para lo cual se va utilizando brocas y tuberías de menor tamaño en cada sección de perforación. Durante la perforación es fundamental la circulación permanente de un lodo, el cual da consistencia a las paredes del pozo, enfría la broca y saca a la superficie los recortes de perforación. Durante la perforación se toman registros eléctricos que ayudan a conocer los tipos de formación y las características físicas de las rocas, como ser la densidad, porosidad, contenidos de agua, de petróleo y de gas natural. Para proteger el pozo de derrumbes, filtraciones o cualquier otro problema propio de la perforación se recubre a las paredes con tubos de revestimiento por etapa, usando un cemento especial que se inyecta a través de la misma tubería y se desplaza en ascenso por el espacio anular

donde se solidifica. El último tramo de la tubería de revestimiento se llama liner de producción y se fija con cemento al fondo de pozo. Al finalizar la perforación del pozo queda literalmente revestido desde la superficie hasta el fondo, lo que garantiza su consistencia y facilitara posteriormente la extracción del petróleo.

2.2.2.1 Equipos de Perforación

Son herramientas formadas por un mecanismo apropiado para producir los efectos de percusión o de rotación de la barrena que normalmente va provista de una broca en su extremo. La perforadora se determina de acuerdo a:

- tipo y tamaño de obra
- naturaleza del terreno
- profundidad y alcance de la barrena
- roca o piedra que quiera producirse.

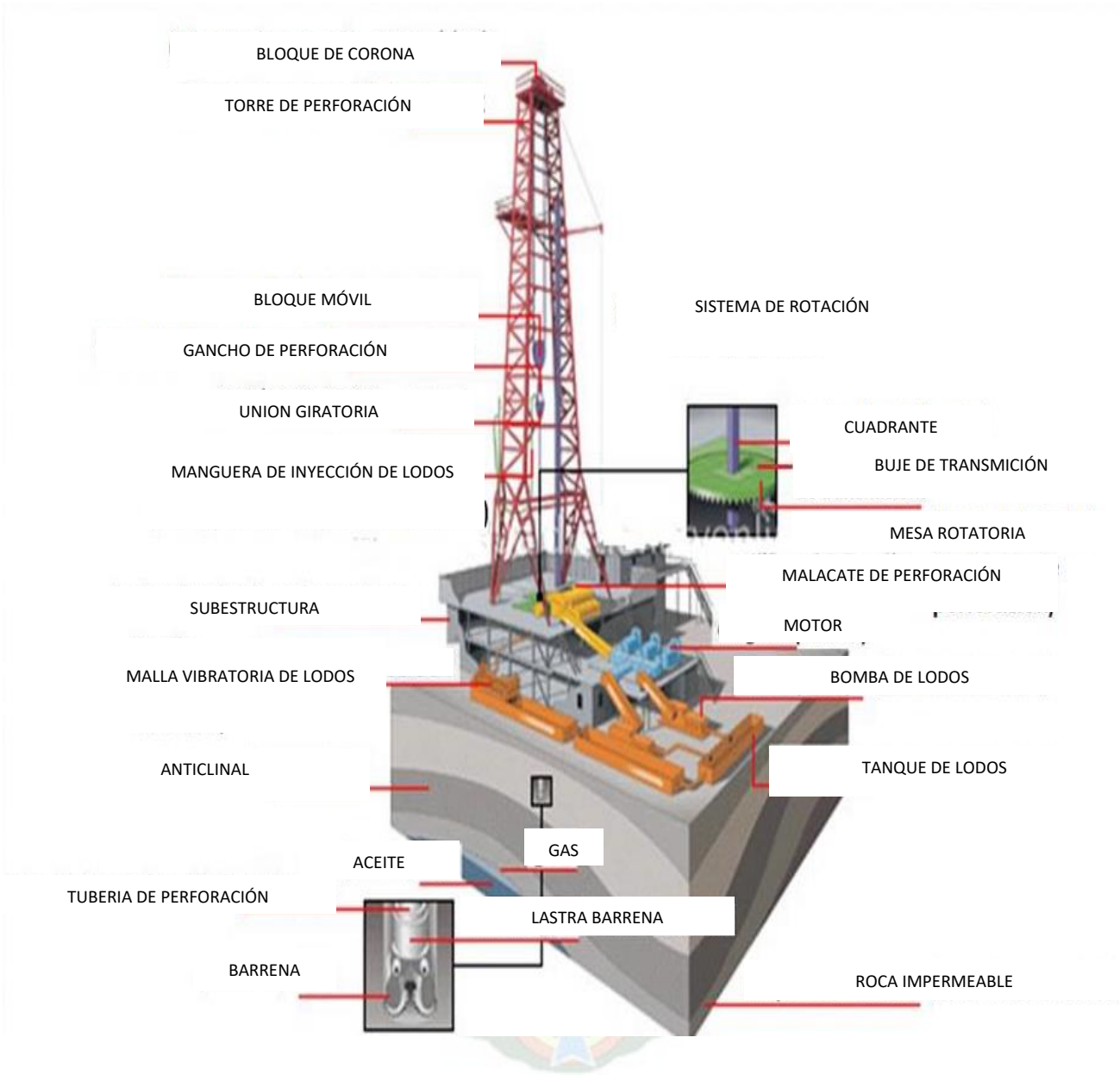
Los equipos de perforación deben ser desplazados sobre el piso de perforación, montarse y conectarse a las fuentes de energía o a los sistemas presurizados de tuberías

El equipo de perforación utilizada en operaciones terrestres incluye virtualmente todo salvo los alojamientos, los componentes principales de perforación son:

- Tanques de lodo
- Bombas de lodo
- Torre de perforación o mástil
- Malacate
- Mesa rotatoria o la unidad de mando superior
- Sarta de perforación
- Equipo de generación de potencia y el equipo auxiliar.

Para una perforación en áreas marinas, el equipo de perforación comprende los mismos componentes que en tierra firme, pero no los componentes de la embarcación o la plataforma de perforación. El equipo de perforación a veces se conoce como “paquete de perforación”, particularmente en las áreas marinas (Glossary, 2019)

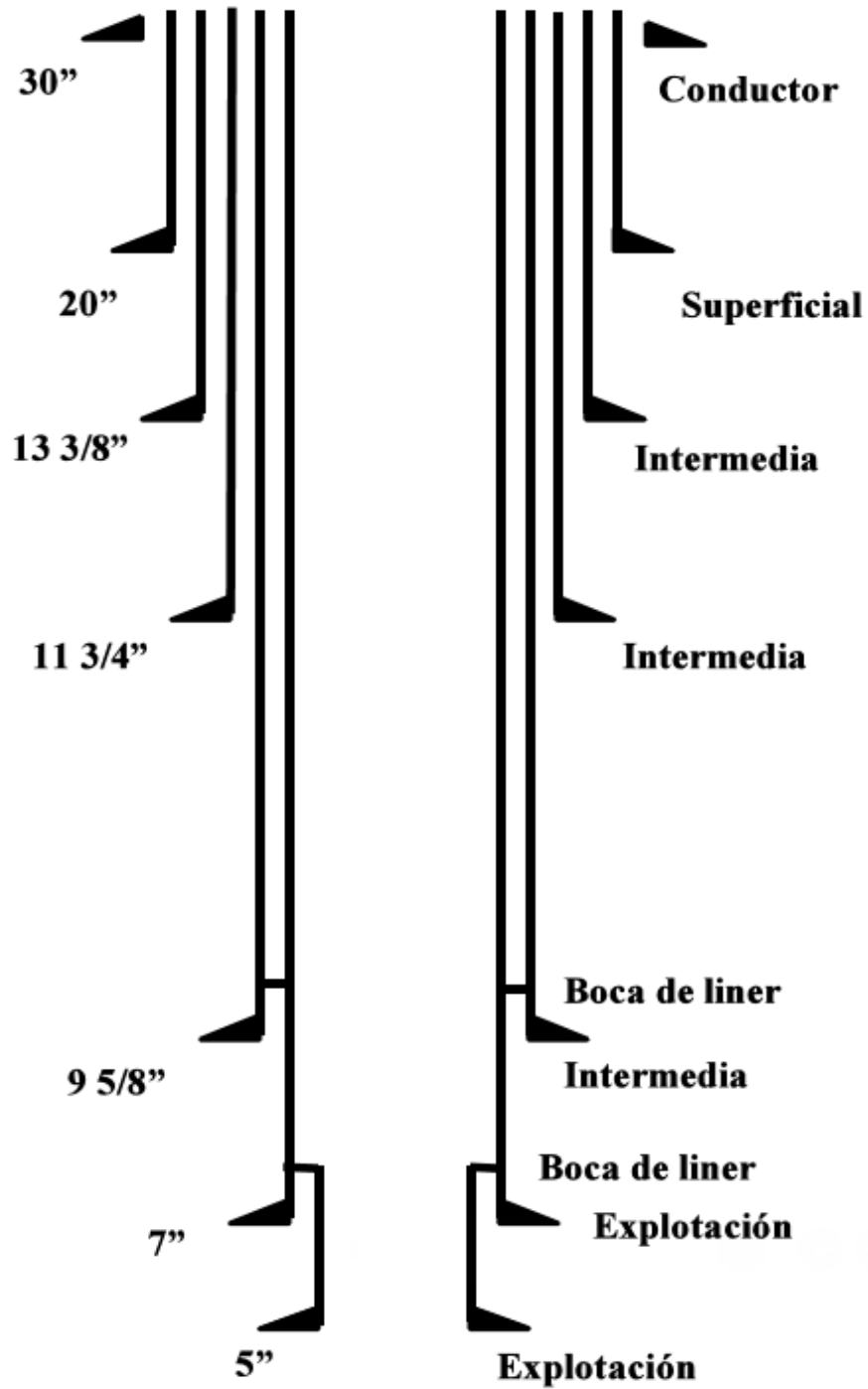
Figura 2.9: Torre de perforación petrolera



Fuente: (Balanzá, 2016) Torre de perforación petrolera

En la Figura 2.10 se muestra de una forma resumida un esquema de la forma de como colocar las tuberías de revestimiento.

Figura 2.10: Esquema de una forma de colocar las tuberías de revestimiento



Fuente: (Kevin, 2017) Tipos y características de tuberías para la elaboración de pozos petroleros

2.2.2.2 Ecuación para cálculo de volumen de pozo

Para calcular el volumen total de un pozo cualquiera se pueden hacer uso de las siguientes ecuaciones.

$$V = \left(\frac{\pi(Rhueco,pulg)^2(0.1781)}{144} \right) (prof, pies) = [bls]$$

Ecuación 1: Cristina Ballesteros 2007

$$V = \left(\frac{\pi(Rhueco,pulg)^2(0.0519)}{42} \right) (prof, pies) = [bls]$$

Ecuación 2: Manual de dowell, Schlumberger, 1994

$$V = \frac{Dplg^2}{314} * H(m) = (bls)$$

Ecuación 3: Calculo del volumen en metros

Se realizará como ejemplo el cálculo de volumen del primer tramo del pozo SBL-X1 como muestra de las tres ecuaciones mencionadas.

Datos del primer tramo del pozo SBL-X1:

$$D= 36 \text{ plg} \quad H= 62 \text{ m} = 203.41 \text{ ft}$$

$$\text{Ecuación 1: } v = \left(\frac{\pi * 18^2 * 0.1781}{144} \right) * 203.41 = 256.08 \text{ bbl}$$

$$\text{Ecuación 2: } v = \left(\frac{\pi * 18^2 * 0.0519}{42} \right) * 203.41 = 255.85 \text{ bbl}$$

$$\text{Ecuación 3: } v = \left(\frac{36^2}{314} \right) * 62 = 255.89 \text{ bbl}$$

Comparando los resultados

Ecuación 1	256.08 bbl
Ecuación 2	255.85 bbl
Ecuación 3	255.89 bbl

El volumen total de ripios de un pozo será igual a la suma de volúmenes de las secciones del pozo, que se calculará con la siguiente ecuación.

$$V_{Tn} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

Ecuación 4: Volumen total

El volumen total de ripios extraídos de todos los pozos será igual a la sumatoria de todos los volúmenes totales

$$V_T = V_{T1} + V_{T2} + V_{T3} + \dots$$

Ecuación para determinar la concentración de sólidos

$$\% V_{cs} = 100 * \left(\frac{\rho_{lodo} - \rho_{agua}}{\rho_{cs} - \rho_{agua}} \right)$$

2.2.3 Fluidos de Perforación

Los fluidos de perforación cumplen muchas funciones como controlar las presiones de formación, remueven los recortes del pozo, sellan las formaciones permeables encontradas durante la perforación, enfrían y lubrican la barrena, transmiten energía hidráulica las herramientas de fondo de pozo y a la barrena, y quizás lo más importante, mantienen la estabilidad y el control del pozo. El fluido de perforación fue introducido por primera vez alrededor del año de 1913 para el control de la presión del sub suelo, en las décadas de 1920 y 1930 fueron testigos del surgimiento de las primeras compañías estado unidenses especializadas en la distribución, desarrollo e ingeniería de los fluidos de perforación y componentes de perforación, en las décadas siguientes las compañías de fluidos de perforación introdujeron desarrollos en materia química, mediciones e ingeniería de procesos, que produjeron mejoras significativas en la eficiencia de la perforación y la productividad de los pozos. (Williamson, 2013)

Ese lodo se inyecta entre la tubería y la broca y asciende por el espacio anular que hay entre la tubería y las paredes del hoyo. El material que sube sirve para tomar muestras y saber qué capa rocosa se está atravesando y si hay indicios de hidrocarburo (Naranjo, 2006)

Control de las presiones de formación. – El fluido de perforación es vital para mantener el control de un pozo. El lodo es bombeado a través de la sarta de perforación, a través de la barrena y de regreso

por el espacio anular. En agujero descubierto, la presión hidrostática ejercida por la columna de lodo se utiliza para compensar los incrementos de la presión de formación en el pozo, causando posiblemente la pérdida de control de pozo. Sin embargo, la presión ejercida por el fluido de perforación no debe exceder la presión de fractura de la roca; de lo contrario, el lodo fluiría hacia la formación situación que se conoce como pérdida de circulación.

Remoción de los recortes de pozo. - La circulación del fluido de perforación permite llevar recortes, fragmentos de roca generados por el taladro hacia la superficie. Su capacidad de transporte es clave para la eficiencia de la perforación y la minimización para el atascamiento de la tubería. A fin de lograr este objetivo los especialistas en fluidos de perforación trabajan con el perforador para balancear cuidadosamente la reología del lodo y la tasa de flujo a los efectos de ajustar la capacidad de transporte y a la vez evitar un valor elevado de densidad de circulación equivalente (ECD); la densidad real del lodo más la caída de presión producida en el espacio anular por encima de un punto dado del pozo. Una ECD alta, no controlada, puede producir incidentes de pérdidas de circulación.

Enfriamiento y lubricación de la barrena. - A medida que el fluido de perforación pasa a través y alrededor del arreglo de perforación rotativo, ayuda a enfriar y lubricar la barrena. La energía térmica es transferida al fluido de perforación, que lleva el calor a la superficie. En ambientes de perforación extremadamente calientes, pueden utilizarse intercambiadores de calor en la superficie para enfriar el lodo.

Transmisión de la energía hidráulica a la barrena y las herramientas de fondo de pozo. - El fluido de perforación es descargado a través de las boquillas de la cara de la barrena. La energía hidráulica liberada contra la formación ablandada eleva los recortes lejos de la formación. Además, esta energía acciona los motores de fondo y otros equipos que direccionan la barrena y obtienen datos de perforación o de formación en tiempo real. Los datos recolectados en fondo de pozo son transmitidos a la superficie mediante el método de transmisión de pulsos a través del lodo, que se basa en los pulsos de presión transmitidos a través de la columna de lodo para enviar los datos a la superficie.

Mantenimiento de la estabilidad del pozo. - Los componentes básicos de la estabilidad del pozo implican la regulación de la densidad, la minimización de la erosión hidráulica y el control de las arcillas. La densidad se mantiene mediante el leve sobre balance del peso ejercido por la columna de lodo contra la presión de poro de la formación. Los ingenieros minimizan la erosión hidráulica mediante el balance de la geometría del pozo en función de los requerimientos de limpieza, la capacidad de transporte de fluidos y la velocidad de flujo anular. El proceso de control de arcillas es complejo, las arcillas presentes en algunas formaciones se expanden en presencia de agua, mientras que otras se

dispersan. En cierta medida estos efectos pueden ser controlados mediante la modificación de las propiedades del fluido de perforación. Sin importar el enfoque utilizado el control del efecto del fluido en la formación ayuda a controlar el pozo y la integridad de los recortes y se traduce en un fluido de perforación más fácil de mantener. (Williamson, 2013)

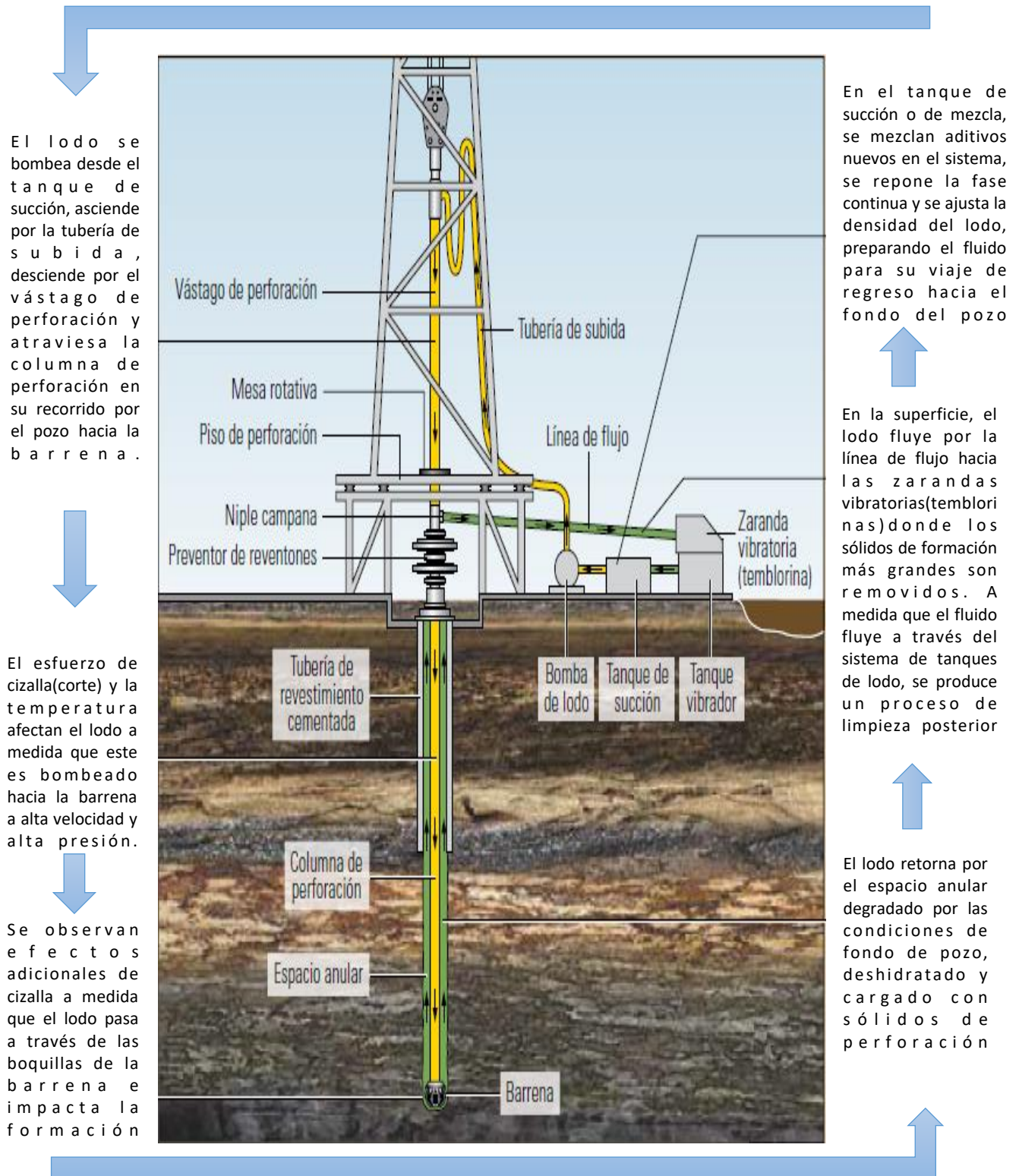
2.2.3.1 Sistemas de Fluidos de Perforación

Los sistemas de fluidos de perforación poseen una fase continua que es líquida y una fase discontinua que está compuesta por sólidos. En ocasiones, también exhiben una fase gaseosa ya sea por diseño o como resultado del arrastre de gas de formación. La fase continua puede ser utilizada para clasificar los tipos de fluidos de perforación en gaseosos, fluidos acuosos o no acuosos. Estos fluidos son una mezcla de componentes líquidos y sólidos, cada uno de los cuales está diseñado para modificar una propiedad específica del fluido de perforación, tal como su viscosidad y su densidad. Los fluidos de perforación acuosos, a los que se alude generalmente como lodos base agua, son los más comunes y los más variados de los tres tipos de fluidos de perforación. En los fluidos de perforación no acuosos, a los que se alude generalmente como lodos a base de sintéticos, la base continua puede consistir en aceites minerales, esteres biodegradables, olefinas u otras variantes. Aunque por lo general más costoso que los fluidos de perforación acuosos, estos sistemas tienden a proporcionar un excelente control de pozos, estabilidad térmica, lubricidad y velocidades de penetración, lo que puede ayudar a reducir el costo total para el operador. En rocas fracturadas o en ambientes en los que el pozo no podría sustentar una columna de agua sin una pérdida significativa de fluido en la formación, los perforadores utilizan sistemas de aire, bruma o espuma para ayudar a remover los recortes de los pozos y mantener la integridad del mismo. (Williamson, 2013)

2.2.3.2 Equipo de Circulación

El equipo de circulación del fluido de perforación consta de tanques con agua fresca que a su vez poseen una línea que lleva el agua hacia los tanques de homogenización donde la mezcla agua-químicos mediante agitadores permiten darle el acabado final para que este fluido contenga las propiedades necesarias del programa de perforación. De los tanques de homogenización que tienen una capacidad de 400 barriles, este lodo pasa a tres bombas con una eficiencia del 97 % las cuales empujan el lodo por la manguera que se une al top drive pasando por el cuello de ganso o unión giratoria y permitiendo que dicho lodo llegue hasta los jets de la broca en el fondo del pozo para realizar sus tareas respectivas. El lodo se devuelve a la superficie por el anulo llevando consigo los cortes o ripios del pozo y luego de pasar por el sistema de remoción de sólidos o Equipo de Control de Sólidos (ECS), parte del fluido regresa al sistema para su reinyección

Figura 2.11: Flujo de fluido de perforación



Fuente: (Williamson, 2013) definición de fluidos de perforación

CAPITULO 3

METODOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA RIPIOS DE PERFORACIÓN DE LA ACTIVIDAD PETROLERA

3.1 Definición

Los recortes de perforación son fragmentos de roca que se obtienen del proceso de perforación, constituidos por minerales de las formaciones perforadas, entre otros, arcillas, cuarzo, feldespatos, carbonatos y otros compuestos calcáreos y de sílice que están impregnados con fluidos de perforación. (Villegas, Rivera, Herrera, & González, 2013)

Los ripios de perforación son los sólidos contenidos en el fluido de perforación que se agregan para controlar las propiedades químicas y físicas del mismo, sumadas las partículas que se desprenden de la formación desde la superficie interior del agujero, dichas partículas son creadas por la acción de la fuerza de compresión y rotatoria del taladro. La siguiente tabla se puede observar la clasificación de los sólidos de acuerdo a su tamaño.

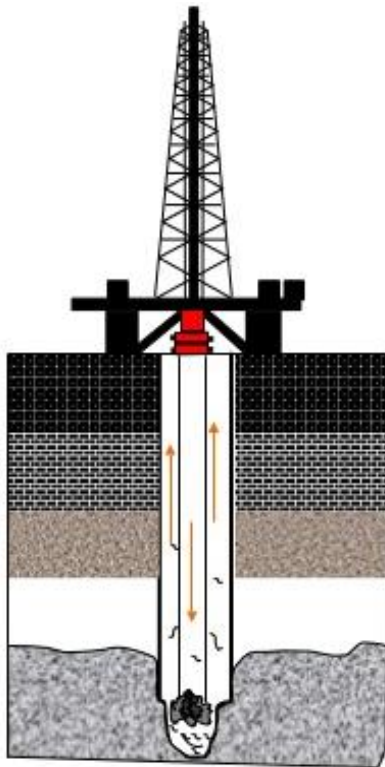
Tabla 3.1: Clasificación de sólidos de acuerdo a su tamaño

Categoría	Tamaño	Ejemplo
Coloidal	2 μ o menos	Bentonita, arcillas y solidos perforados ultra finos.
Limo	2-74 μ (< malla 200)	Barita, limo y solidos perforados finos.
Arena	74 - 2000 μ (malla 200 – 10)	Arena y solidos perforados.
grava	Más de 2000 μ (> malla 10)	Solidos perforados, grava y cantos rodados

Fuente: (Jesús, 2010) remediación del fluido de perforación optimizando la reducción de su impacto ambiental

A estos ripios se los trata y de acuerdo a su disponibilidad final se llamarán de una u otra manera. Los ripios que puedan ser recuperados, reciclados, reutilizados o eliminados se les denomina RESIDUOS DE PERFORACION y a los ripios que no cumplen con las especificaciones y que por ende no podrían ser reciclados o reutilizados se les denomina DESECHOS DE PERFORACIÓN.

Figura 3.1: Lodos y Cortes de Perforación



LODOS Y CORTES DE PERFORACION

Fuente: (MONTALUISA, 2018) Tratamiento y remediación de ripsos

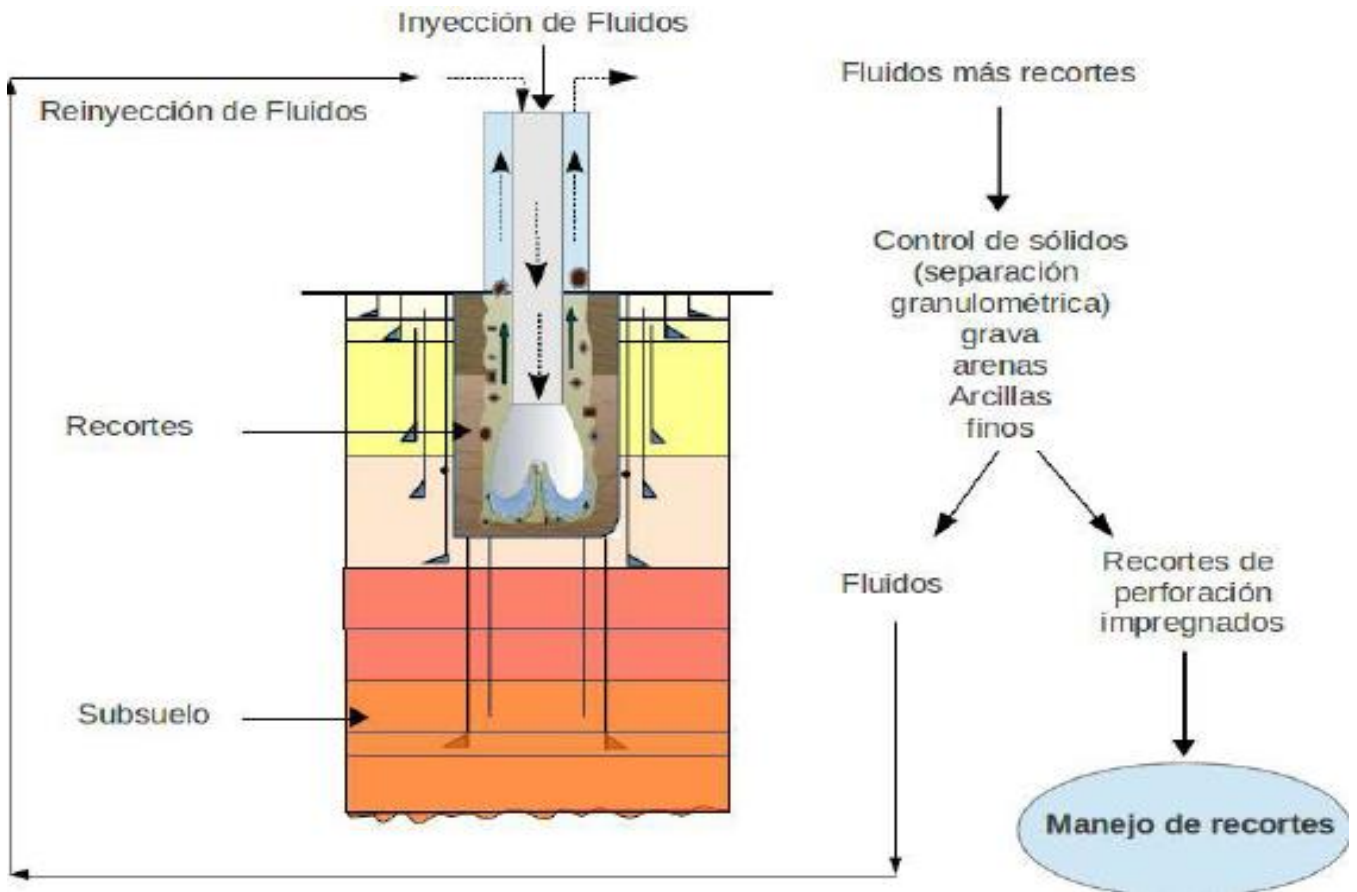
El tratamiento y disposición de los residuos en general en el taladro geográficamente depende de las regulaciones de cada país y puede comprender:

- Cortes de perforación base petróleo
- Cortes de perforación base agua
- Fluidos de perforación
- Fluidos de competición
- Aguas negras y grises (aguas que provienen de los baños; y los que provienen de los procesos de lavandería y cocina respectivamente).
- Agua de lluvia.

Los cortes de perforación constan de 3 etapas:

- Generación y acareo de cortes de perforación.
- Pre tratamiento de cortes y control de sólidos.
- Destino final de manejo.

Figura 3.2: Diagrama de Etapas de los Recortes de Perforación



Fuente: (MONTALUISA, 2018) Tratamiento y remediación de rípios

3.2 Generación de Rípios de Perforación

El fluido de perforación el cual es una mezcla de líquidas (agua y/o aceite), sólidos disueltos y sólidos en suspensión que tiene propiedades físicas y químicas tendientes a favorecer la perforación, protegiendo las formaciones que se atraviesan y está compuesto de las siguientes partes.

- La fase líquida puede estar constituida por agua dulce, agua salada, salmuera, aceite diésel (destilado medio obtenido en la destilación atmosférica del petróleo crudo), aceite mineral no tóxico (aceite formado por una base obtenida directamente de la destilación de petróleo más unos aditivos que le confieren unas propiedades que mejoran sus prestaciones), aceites sintéticos (aceite que contienen bases tratadas físico-químicamente obteniendo una base de mayor calidad y prestaciones que el aceite mineral).
- La fase sólida se compone de materiales viscosificantes naturales o artificiales (polímeros), densificantes (Barita, Carbonato de Calcio, Galena, Hematita y Siderita), sales (Cloruro de

Sodio, Cloruro de Potasio, Cloruro de Calcio, Sales de Amonio y Nitrato), aire y espuma que pueden ser usados para algunas operaciones en los pozos.

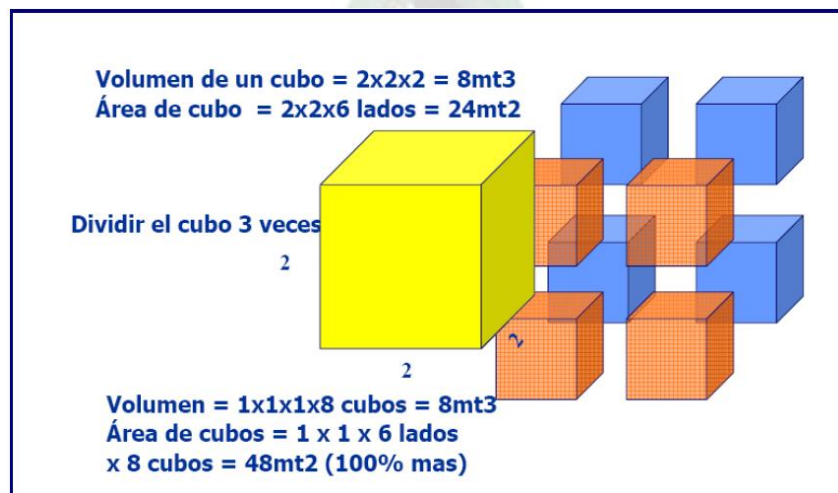
Una vez que este fluido es inyectado al pozo y llega al fondo del pozo arrastra consigo los sólidos desprendidos de la tierra hasta superficie (sólidos perforados) producidos durante la operación, los cuales se van incorporando al fluido por lo que debe ser acondicionado por el equipo de control de sólidos (ECS) que se encuentra en superficie. La evaluación de estos sólidos se hace por evaporación de la fracción líquida y se mide en porcentaje donde para tal propósito se utiliza la retorta para su medición y el máximo porcentaje de sólidos perforados no debe superar el 8% del volumen total del fluido, siendo 4% un valor óptimo.

3.2.1 Efecto de los ripios sobre el fluido de perforación

Desde el momento en que los ripios son desprendidos de las paredes del hueco hasta que llegan a la superficie, sufren una continua reducción de tamaño debido a la abrasión con otras partículas y la acción de triturar que ejerce la tubería de perforación, es por eso que el área superficial se incrementa en forma exponencial debido a la degradación de los ripios. Esta área específica absorbe líquido, por lo que, a mayor área específica, mayor volumen de líquido es absorbido.

A medida que el tamaño de las partículas de ripios de perforación se reduce por la recirculación hasta alcanzar un tamaño coloidal será más difícil expulsarlas del sistema es así que, el efecto relativo de la impregnación del líquido aumenta, por ende, el área específica tiene un gran efecto sobre la viscosidad del lodo, por lo que, a mayor área, mayor es la viscosidad.

Figura 3.3: Volumen vs Área Superficial



Fuente: (MONTALUISA, 2018) Tratamiento y remediación de ripios

3.2.2 Volumen de Ripios

Hay que recalcar que el volumen de los ripios nunca es el volumen del hoyo, el típico volumen de los ripios es aproximadamente de 1.5 a 3 veces el volumen del hoyo y el volumen del líquido es 3 a 30 veces el volumen del hoyo.

El volumen extra viene de:

- Degradación de la partícula
- Operaciones de cementación y completación.
- Washouts del hueco.
- Formaciones Hinchables.
- Aditivos de Lodo.
- Deficiente equipo de control de sólidos.

3.2.3 Equipos de control de solidos

Ninguno de los equipos de control de solidos usados en la perforación podrá eliminar el 100% de los sólidos generados. Para comparar la eficiencia de los equipos de control de sólidos, se usa una clasificación de los tamaños de partículas basada en el punto de corte. El punto de corte se refiere a la combinación de un tamaño micrométrico con el porcentaje del tamaño de partículas que se elimina. (Jesús, 2010)

Zaranda. - Son dispositivos de control de solidos más importantes que consiste en mallas vibratorias separadoras usadas para eliminar los recortes del lodo, las zarandas se diferencian de los otros equipos de eliminación de sólidos por que producen un corte de prácticamente 100 % (D100) al tamaño de abertura de la malla.

Las zarandas pueden eliminar hasta el 90 % de los sólidos generados. Las zarandas no pueden eliminar los sólidos que tienen tamaños de limo y coloide, por lo tanto, resulta necesario usar la dilución y otros equipos para controlar los sólidos perforados ultra finos.

Ocasionalmente los recortes pueden ser del mismo tamaño que las aberturas de la malla y pueden bloquearse dentro de estas, esto es conocido como el taponamiento de malla, resultara en la reducción de la capacidad de la malla.

Hidrociclones. - También conocidos como desarenadores, son básicamente conos con diámetros entre 1 a 12 plg. son equipos simples donde interviene la fuerza centrífuga, causando que los sólidos suspendidos en el lodo sean separados del fluido. La separación consiste en un asentamiento acelerado de las partículas, gobernado por una fuerza gravitacional causada por la acción centrífuga

dentro del cono. La acción dentro de los hidrociclones puede multiplicar la fuerza gravitacional por 200 veces. En las operaciones de perforación, los hidrociclones usan estas fuerzas centrífugas para separar sólidos de 15 a 80 micrones del fluido. El fluido cargado con sólidos es descargado en el vértice inferior del cono, mientras que el fluido limpio es descargado por efecto del rebose o sobre flujo. (Robalino, 2017)

Desarenadores. - Las unidades de desarenamiento están diseñadas para separar los sólidos de perforación en un rango de 50 a 80 micrones, y la barita en un rango de 30 a 50 micrones. Los desarenadores deben ser usados con lodos alivianados cuando en las zarandas no están instaladas las mallas de 100 micrones o de menor granulometría; ya que estas son usadas primariamente para remover altos volúmenes de sólidos de agujeros superficiales de gran diámetro.

Deslimadores. - Se encargan de la separación de sólidos en un rango de 12 a 40 micrones. También se encargan de separar las partículas de barita en un rango de 8 a 25 micrones. Los deslimadores están instalados después de las zarandas, la trampa de arena, el desgasificador y el desarenador. Los conos de los deslimadores se diferencian del desarenador únicamente en las dimensiones de los conos, mientras que el principio de funcionamiento es el mismo. (Robalino, 2017)

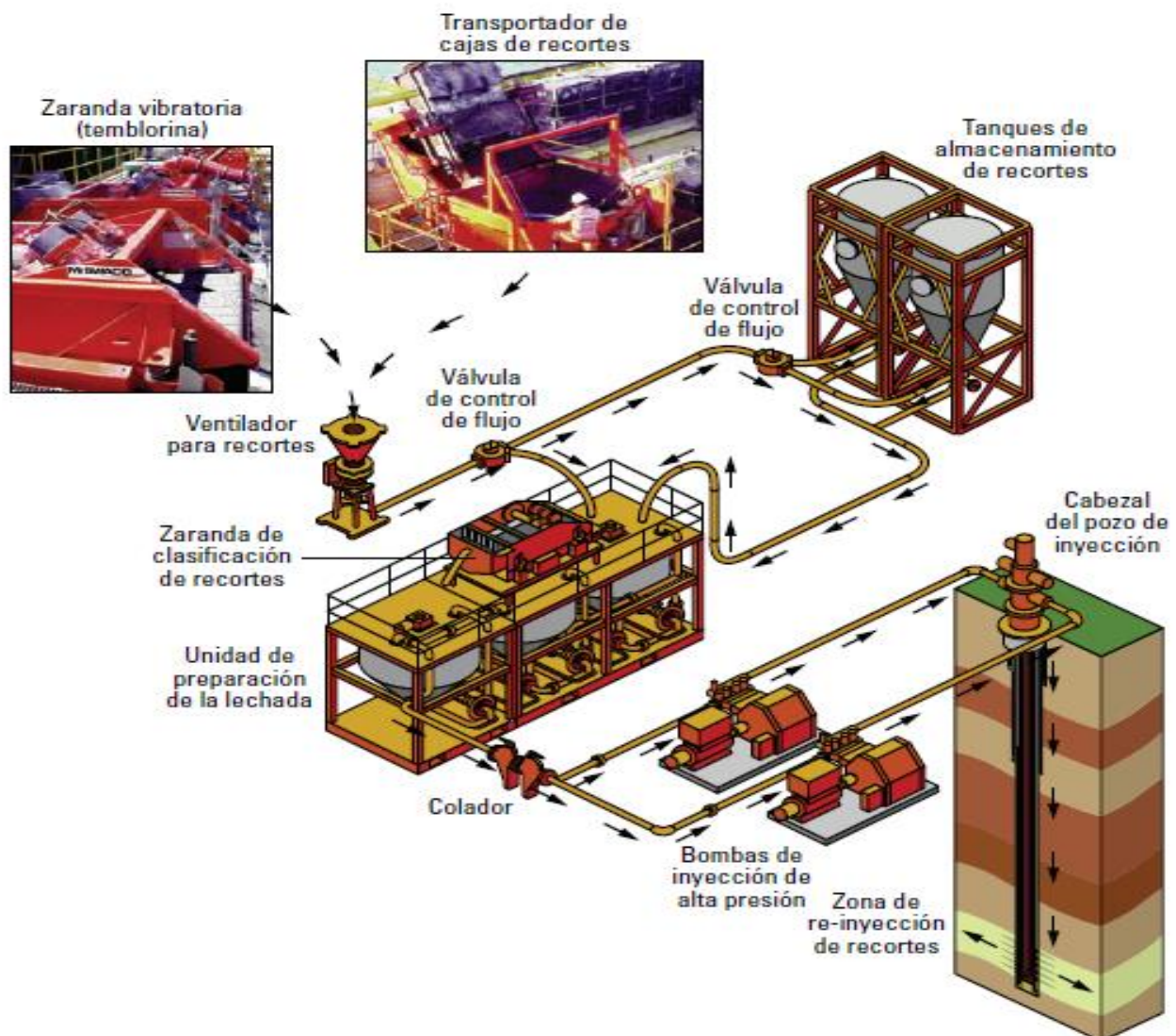
Limpiadores de Lodo (Mud cleaners). - Consiste en una serie de hidrociclones colocados sobre una malla vibratoria de alta energía. Los mudcleaners son los más adecuados para lodos de densidad moderada. Los sólidos finos que pasan a través de la malla pueden ser manejados por dilución y defloculación. En lodos con densidades mayores, los mudcleaners son menos eficientes. Muchos de los sólidos gruesos del lodo se quedan en la corriente líquida saliendo por la parte superior de la unidad y, en consecuencia, sobrepasando la malla. Adicionalmente, la dilución requiere descargar un gran volumen de barita API con una porción del lodo viejo, conllevando a que el costo de la dilución sea bastante alto. (Robalino, 2017)

Centrifuga. - Como con los hidrociclones, las centrifugas de tipo decantador aumentan las fuerzas que causan la separación de los sólidos al aumentar la fuerza centrífuga. Son capaces de separar sólidos del orden de los 10 micrones de tamaño.

La centrifuga suele usarse para la recuperación de Barita y en fluidos de perforación no densificados la centrifuga es normalmente usada para la recuperación del líquido.

En la figura 3.4 se observa una circulación de recortes.

Figura 3.4: Recortes en movimiento



Fuente: (Geehan, Gilmour, & Guo, 2003) Tecnología de avanzada en el manejo de residuos de perforación

3.3 Técnicas para tratamiento de ripios de perforación para su disposición final

El tratamiento primario de los recortes de perforación está involucrado con la separación mecánica de las fases sólidas y líquidas del fluido de perforación proveniente del pozo, mientras se realiza la perforación. Los sólidos de perforación que se separan del lodo están clasificados en dos categorías: Sólidos de baja gravedad o LGS (Low Gravity Solids), con un rango de gravedad específica de 2.3 a 2.8, y los sólidos de alta gravedad o HGS (High Gravity Solids), con una gravedad específica igual o

superior a 4.2. Las sustancias densificantes como la barita o hematita están dentro de los sólidos HGS, mientras que las arcillas y otros aditivos del lodo entran en la categoría de los LGS (Robalino, 2017)

Las esquilas generadas durante la perforación del pozo son removidas con la ayuda de la circulación de los fluidos de control inyectados en la línea de perforación. Los recortes junto con los fluidos son recuperados en superficie y sometidos a un proceso de control de sólidos, en esta etapa de pretratamiento se lleva a cabo la separación por tamaño de partículas con el fin de recuperar la mayor cantidad de fluido posible. Una condición fundamental en la elección de la tecnología de disposición de los recortes deberá incluir tres aspectos importantes: económicos, operacionales y ambientales. (MONTALUISA, 2018) estos recortes son sometidos a los siguientes tratamientos para su disposición.

3.3.1 Técnicas de Biotratamiento

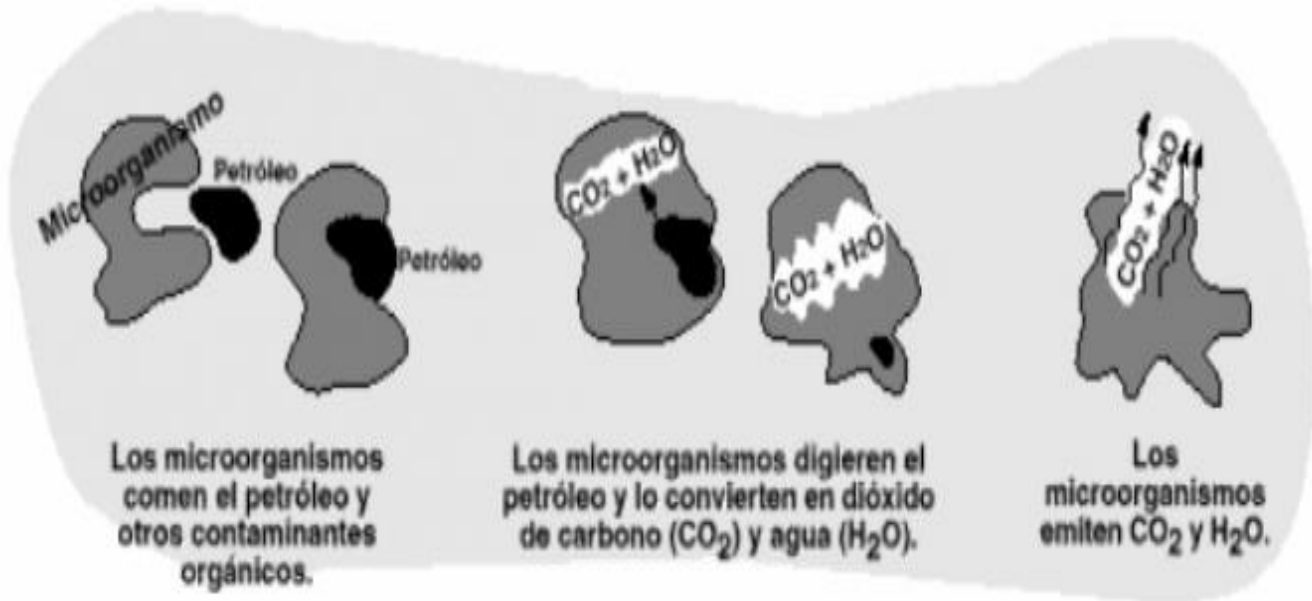
El Biotratamiento es la descomposición de una sustancia orgánica como el petróleo, por acción de organismos vivos, generalmente microorganismos bacterias. Algunas sustancias se biodegradan más rápidamente a comparación con otras. (ver Figura 3.5)

La biodegradación final resulta en un compuesto que consiste en agua y dióxido de carbono, algunas sustancias pueden degradarse en moléculas más pequeñas llamándose esta degradación primaria y en algunos casos estos pueden ser más tóxicas que la original.

El proceso de biodegradación puede suceder tanto en condiciones aeróbicas (con oxígeno) como anaeróbicas (sin oxígeno). La biodegradación aeróbica ocurre cuando el contaminante se encuentra disperso en el agua del fluido de perforación de la misma base debido a que hay más oxígeno. La condición anaeróbica tiene lugar en los fluidos de perforación base aceite debido a que los cortes no se dispersan y se establece una alta concentración de materia orgánica que consume el oxígeno disponible en área. (Alfaro, Evaluación de la técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca, Estado Anzoátegui, 2006)

(MAROTO ARROYO, 2001) señalan que la técnica de Biotratamiento o biorremediación consisten principalmente en el uso de los microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias de carácter menos tóxico o bien inocuas para el medio ambiente y la salud humana.

Figura 3.5: Proceso de Biodegradación



Fuente: Veracierta Alfaro, Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca

A continuación, se describen las técnicas más utilizadas para Biotratamiento de desechos de perforación.

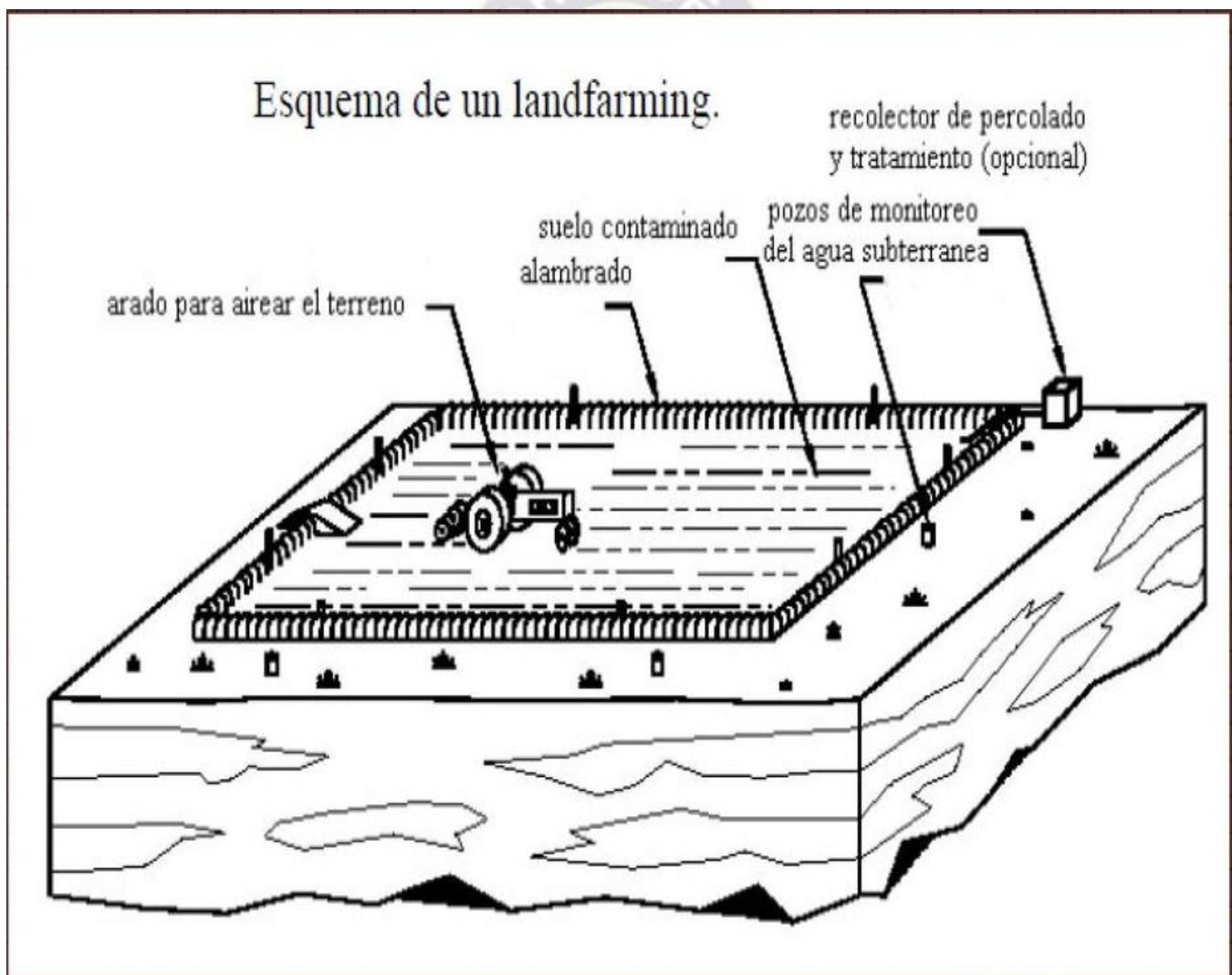
a.- Landfarming.- El proceso de landfarming es una tecnología de biorremediación de los suelos contaminados, lodos, o materiales con características de suelo mediante el cual los microorganismos generan material inocuo para el ambiente o subproductos estabilizados que no presenten peligro. (Mafoda, 2000)

El fundamento técnico de landfarming se basa en la biodegradación de fracciones livianas de hidrocarburos por comunidades bacterianas. Durante la operación de landfarming los materiales contaminados son esparcidos en el suelo de una superficie o bien son extraídos del lugar y apilados sobre una superficie impermeable para evitar la contaminación de las capas del suelo o aguas que se encuentren por debajo del suelo (ver Figura 3.6). Los microorganismos naturales del suelo (bacterias, hongos, protozoarios) crecen en el material utilizando como fuente de alimento el contaminante, transformándolo en productos inocuos. La marcha del proceso se estimula y controla mediante los siguientes aspectos. (Alfaro, 2006)

- Mezclado

- Sistema de colección de lixiviados.
- Cubierta impermeable del suelo.
- Contenido de humedad.
- Nivel de oxigenación.
- Nutrientes.
- pH
- Capacidad de carga de aire del suelo.
- Temperatura.

Figura 3.6: Proceso Típico de Biodegradación



Fuente: Veracierta Alfaro, Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca

b.- Compostaje. - Proceso aeróbico de descomposición biológica de la materia orgánica contenida en los residuos que tiene como objeto su transformación en un producto orgánico utilizable para la mejora de suelos en agricultura.

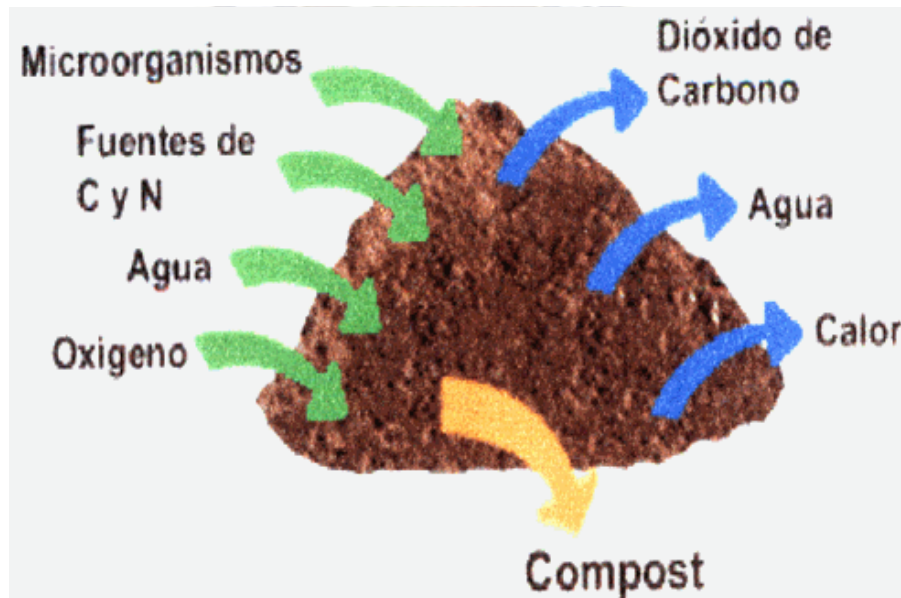
El compostaje es un proceso controlado y acelerado de descomposición de las partes orgánicas de los residuos y que pueden ser tanto aerobio como anaerobio, dando lugar un producto estable llamado "compost" este se compone de restos orgánicos, microorganismos, oxígeno y agua. (ver figura 3.7).

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciado por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son: (Alfaro, 2006)

- Temperatura
- Humana
- pH
- Oxígeno
- Relación carbono/ Nitrógeno equilibrada
- Población microbiana.



Figura 3.7: Proceso de Compostaje



Fuente: <http://aprovechamiento de residuos industriales. wordpress>

c.- Esparcimiento. - (landspreading) Consiste en el esparcimiento e incorporación del lodo base agua en la capa arable. El esparcimiento se realiza mediante un sistema aspersor y luego se le da un tratamiento igual al landfarming. (Alfaro, 2006)

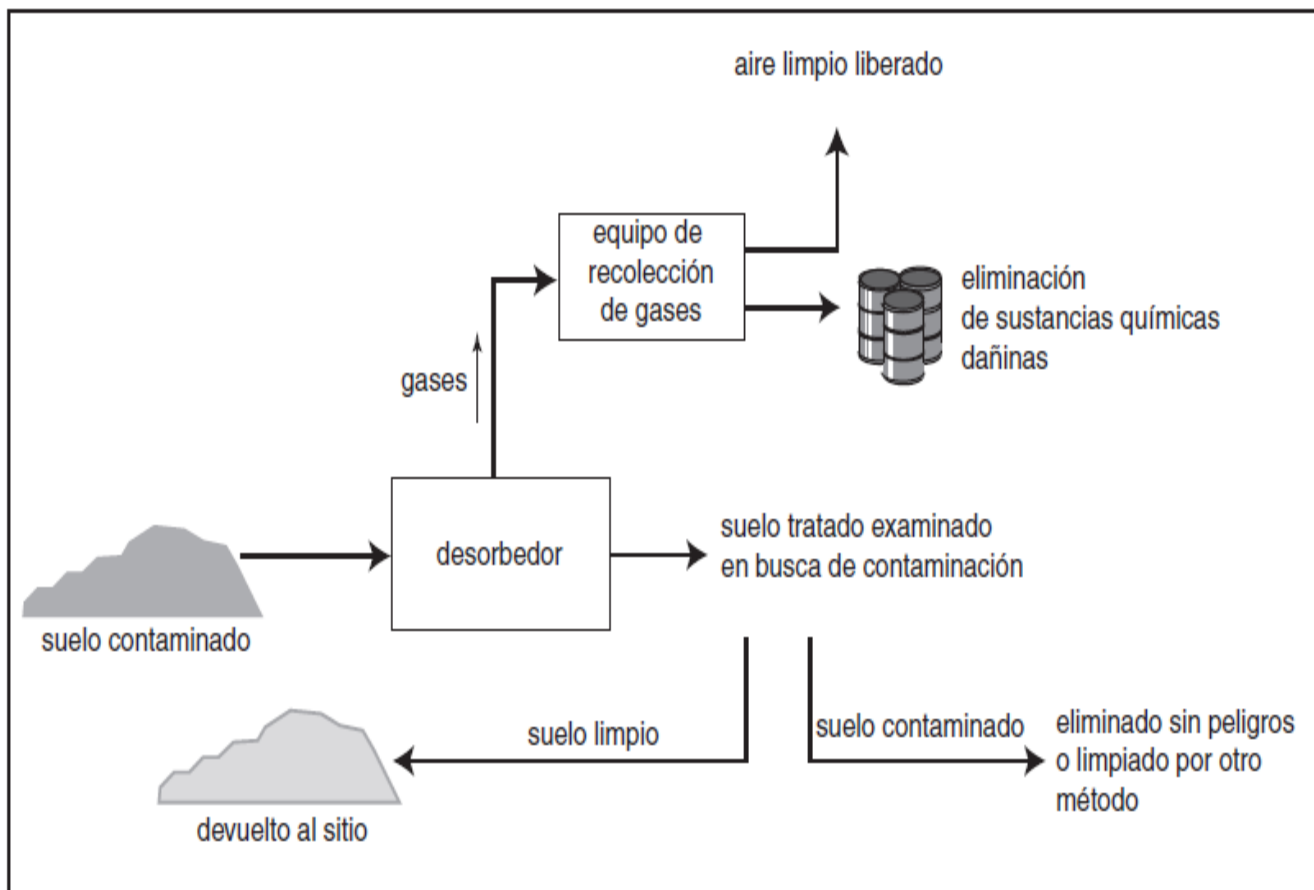
3.3.2 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico se puede dar mediante la Desorción térmica y la Incineración.

a.- Desorción Térmica. – la desorción térmica elimina las sustancias químicas dañinas para el suelo y otros materiales como el lodo y sedimentos, básicamente funciona utilizando calor (90°C a 540°C) para transformar dichas sustancias químicas en gases y se separen de la tierra. Esos gases se recolectan empleando un equipo especial, el polvo y las sustancias dañinas se separan de los gases y se eliminan con seguridad y el suelo limpio se regresa al sitio.

La desorción térmica emplea un equipo denominado desorbedor para limpiar suelos contaminados. Los suelos se extraen mediante excavación y se ponen en el desorbedor, ese equipo funciona como un horno grande, cuando los suelos se calientan lo suficiente las sustancias químicas se evaporan. (ver figura 3.8) (EPA, 2001)

Figura 3.8: Proceso de Desorción Térmica



Fuente: Guía del ciudadano para Desorción Térmica, United States Environmental Protection Agency

Durante cada paso del proceso se emplean equipamiento especial para controlar el polvo del suelo y recolectar los gases dañinos que se liberan al aire. Los gases contaminados se separan del aire limpio

utilizando un equipo de recolección de gases. Los gases se convierten nuevamente en líquidos y/o materiales sólidos. Antes de devolver el suelo limpio al sitio se le rocía con agua para refrescarlo y controlar el polvo, si el suelo contiene todavía sustancias químicas dañinas se lo vuelve a mandar al desorbedor. (EPA, 2001)

La desorción térmica no es buena opción para tratar contaminantes pesados tales como metales pesados, que no se separan fácilmente de la tierra contaminada y ácidos fuertes que pueden corroer el equipo utilizado para el tratamiento. (Alfaro, 2006)

Los sistemas de desorción térmica pueden descontaminar más de 20 toneladas de suelo contaminado por hora. El tiempo que demora eliminar la contaminación de un sitio depende de los siguientes factores: (EPA, 2001)

- Cantidad de suelo contaminado.
- Condiciones del suelo, si esta húmedo o seco o contiene muchos detritos.
- Tipo y cantidad de sustancias químicas dañinas presentes.

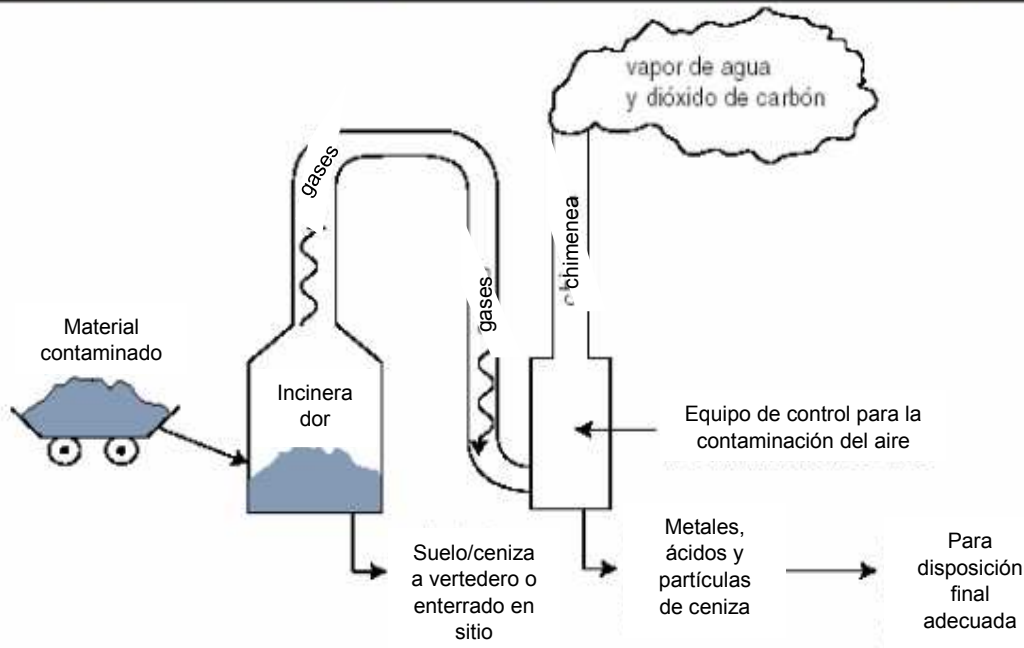
b.- Incineración. - La incineración es por el cual se queman materiales peligrosos a fin de destruir contaminaste nocivos. La incineración también reduce la cantidad de material que se necesita eliminar en un vertedero controlado. Si bien la incineración destruye una variedad de contaminantes tales como bifenilos policlorados, solvente y plaguicidas, no destruye metales.

Un incinerador es un tipo horno que quema materiales, como suelos contaminados, a una temperatura controlada lo suficientemente elevada como para destruir contaminantes, se puede transportar un incinerador al sitio contaminado, o se puede transportar el material contaminado desde el sitio hasta el incinerador en camiones. Se introduce el material contaminado al incinerador y a fin de aumentar la cantidad de químicos nocivos destruidos, los técnicos controlan la cantidad de calor y de aire en su interior. A medida que los contaminantes se calientan, se transforman en gases que pasan a través de una llama, y gracias a esa llama los gases alcanzan una temperatura lo suficientemente alta que provoca su descomposición en componentes de menor tamaño. Estos se combinan con oxígeno para formar gases menos nocivos y vapor de agua (combustión).

Los gases producidos en el incinerador pasan a través de un equipo de control de contaminación de aire donde se elimina cualquier metal, ácido y 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 a través de una chimenea (ver figura 3.9). El remanente del proceso de incineración se lo puede eliminar en un vertedero o enterrándola en

el sitio. Este método resulta más eficaz debido a que destruyen agentes contaminantes que otros métodos no pueden y se requiere un menor tiempo. (Alfaro, 2006)

Figura 3.9: Proceso de incineración



Fuente: Veracierta Alfaro, Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca.

3.3.3 Estabilización/Solidificación

Es un proceso en el que el suelo contaminado se mezcla con aditivos para inmovilizar los contaminantes, disminuyendo o eliminando la lixiviación. (ver figura 3.10) (Sepulveda & Trejo, 2002)

La expresión Solidificación/Estabilización se refiere a un grupo de métodos de limpieza que evitan o reducen la liberación de químicos nocivos del suelo o lodo contaminado, en general estos métodos no destruyen los químicos, si no que protegen la salud humana y el medio ambiente al impedir que los químicos se desprendan hacia el medio ambiente. (United Estatic, 2001)

Estas técnicas abarcan los sistemas de tratamiento de absorción con cal/cenizas volantes, cristalización/vitrificación, y encapsulación.

- **solidificación** consiste en cambiar el estado líquido del residuo transformándolo en un sólido mediante encapsulación en una matriz sólida, con el objetivo de aumentar la resistencia y aumentar la permeabilidad.

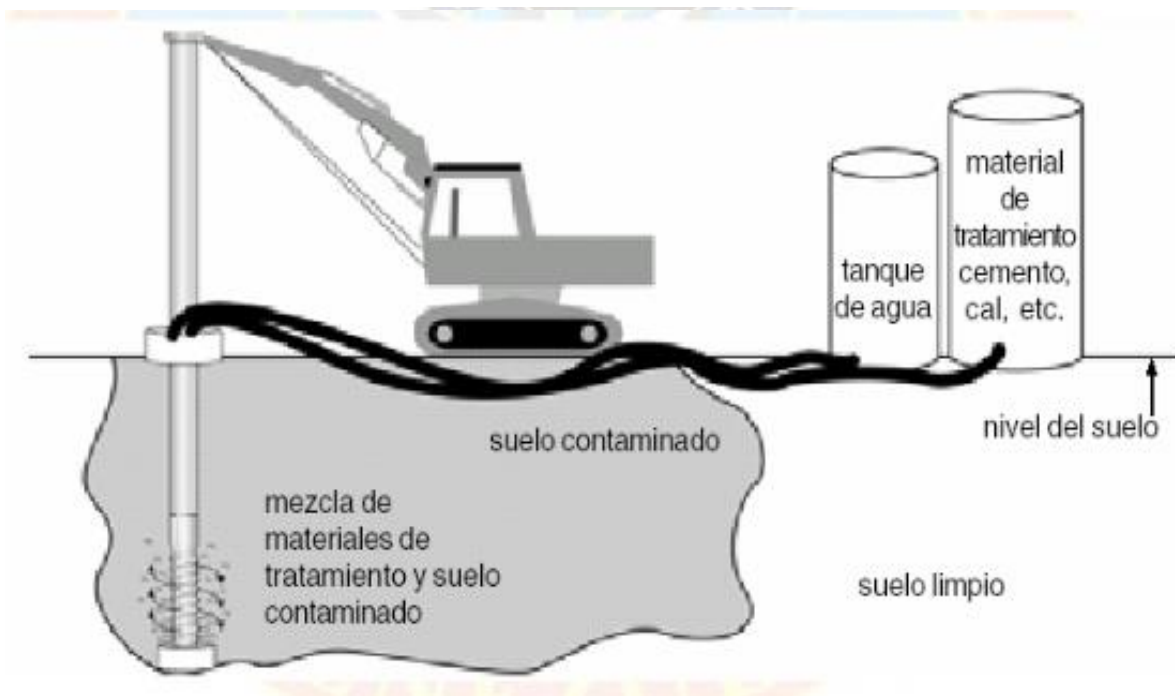
- **estabilización** involucra la adición de materiales que limitan la solubilidad o movilidad de los componentes de los residuos. Sin embargo, las características de los residuos no pueden ser mejoradas. Las aplicaciones de la estabilización de residuos abarcan desde residuos con sulfatos/sulfuros, hasta metales y solventes dependiendo de la metodología. (Robalino, 2017)

A menudo se utiliza estos dos métodos en forma conjunta a fin de prevenir el contacto de químicos nocivos con personas o el medio ambiente. (United Estaticed, 2001)

La Solidificación/Estabilización puede realizarse tanto in situ como ex situ. Para ex situ, debe excavar para tratar el material, de manera que el material resultante sea dispuesto. En in situ puede utilizarse sistemas para cubrir suelos contaminados sin necesidad de excavar, de manera que el material se deje en el mismo sitio. Los procesos de Solidificación/Estabilización son utilizados para tratar contaminantes inorgánicos, como suelos y lodos contaminados con metales.

A fin de garantizar la seguridad de la limpieza se realiza un análisis de la mezcla final para confirmar el sellado correcto de los químicos nocivos y verificar la resistencia y durabilidad de los materiales solidificados o estabilizados. En ciertas ocasiones se establece limitaciones sobre el uso de áreas que han sido solidificadas o estabilizadas, estas restricciones al uso de la tierra pueden prevenir futuros daños al área tratada.

Figura 3.10: Proceso de Estabilización/Solidificación



*Fuente:*United Estaticed, Enviromental Protection Agency; Guía para el ciudadano Sobre Solidificación/Estabilización

El tiempo de demora de la solidificación/estabilización puede tomar entre semanas y meses, según distintos factores que varían de sitio en sitio, y estos pueden ser:

- El tipo y cantidad de contaminantes presentes
- El tamaño y profundidad del área contaminada
- Los tipos de suelo y condiciones geológicas.
- Si la mezcla se realizó en el lugar o en los tanques de mezclado.

La estabilización/solidificación es una manera rápida y de bajo costo de proteger la salud humana y el medio ambiente de la amenaza que acarrearán los químicos nocivos, en especial los metales. (United States, 2001)

3.3.4 Dewatering

Esta técnica consiste en separar la fase líquida de la sólida de los fluidos de perforación en base agua mediante procedimientos físico-químicos. Los procedimientos químicos consisten en la aplicación de polímeros coagulantes y floculantes para desestabilizar las cargas eléctricas y aglutinar las partículas (floculación). El procedimiento físico consiste en centrifugar el fluido floculado para separar las dos fases. (Alfaro, 2006)

3.3.5 Equipos Usados para Tratamiento

La disposición de estos juega un papel importante en la industria petrolera debido a que el mal manejo de los volúmenes de cortes de perforación, generaría un grave problema de contaminación de suelos y afluentes líquidos.

3.3.5.1 Fosas

La fosa utilizada para la disposición final de los residuos sólidos de perforación se ubica en la misma locación donde se realiza la perforación, cuyo diseño considera la impermeabilidad del suelo (terreno en cuya composición existen granos finos con poros demasiados pequeños para permitir el paso del agua), techado y sistemas de drenaje para la recolección del agua fluvial. Su capacidad de diseño está de acuerdo al número de pozos y la profundidad a perforar. Todo líquido remanente a la fosa será transmitido al sistema de aguas residuales industriales de la locación, la fosa será cubierta con el suelo natural y será restaurada mediante técnicas de vegetación.

3.3.5.2 Tanques Australianos

Los tanques australianos son equipos metálicos cilíndricos confeccionados con láminas de acero galvanizado mediante inmersión en caliente y selladas con grandes pernos. Las cintas son selladas con cinta asfáltica flexible expuesta a la temperatura ambiente, certificando así las condiciones necesarias para su uso. (MONTALUISA, 2018)

3.4 Biotecnologías para remediación de suelos

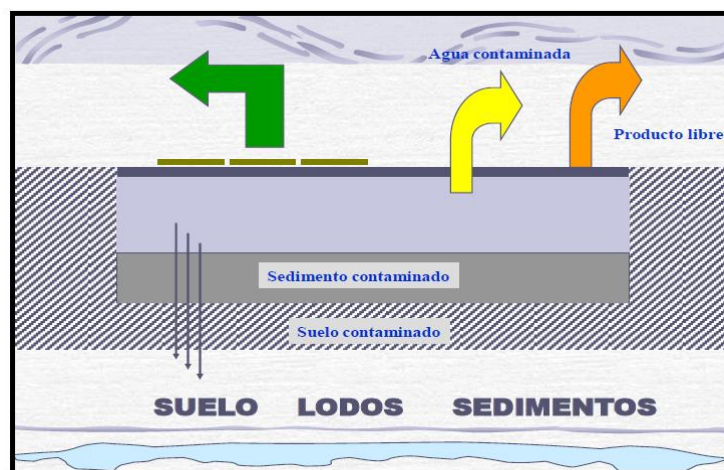
Cuando los residuos de perforación salen del área de control de sólidos, estos pasan a formar parte de la actividad de gestión ambiental, ya sea por cuenta de la operadora del campo o compañías dedicadas a este tipo de servicios. La mayor parte de los residuos generados durante la perforación son los recortes de perforación y los químicos usados para preparar los lodos. Por medio de una aplicación eficiente, es posible disminuir los impactos ambientales. (Robalino, 2017)

La biotecnología es la aplicación de organismos vivos como bacterias, protozorios, plantas, hongos y algas para el tratamiento y biorremediación de problemas medioambientales.

3.4.1 Biorremediación

La biorremediación es considerada como la más deseable aproximación a la remediación de suelos contaminados en contraste a alternativas más costosas y de menor aceptación pública como la incineración. Los tratamientos biológicos de degradación en suelos pueden ser eficientes y económicos si las condiciones de biodegradación al proceso de alteración de la tasa de degradación natural de hidrocarburos por adición de fertilizantes para provisión de nitrógeno y fósforo. El tratamiento biológico de suelos contaminados involucra el uso de microorganismos y/o vegetales para la degradación de los contaminantes orgánicos. La actividad geológica altera la estructura molecular del contaminante y el grado de alteración determina si se ha producido biotransformación o mineralización. (Adrian, 2009)

Figura 3.11: Biorremediación

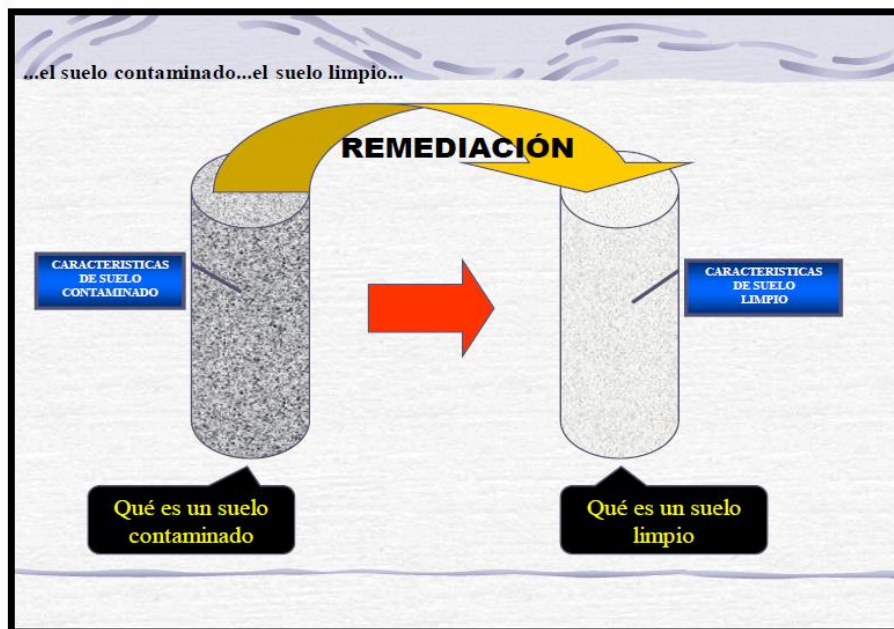


Fuente: Canasa Calvo Adrian, 2009; Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana.

La biotransformación es la descomposición de un compuesto orgánico en otro similar no contaminante o menos tóxico, mientras que la mineralización es la descomposición de un compuesto orgánico en dióxido de carbono, agua, y compuestos celulares. Los procesos biológicos se aplican frecuentemente al tratamiento de suelos

contaminados con hidrocarburo. Se pueden aplicar estas técnicas in-situ (el lugar donde se encuentra el suelo contaminado) o ex - situ (cuando el suelo contaminado se traslada a una instalación para su tratamiento). El tratamiento ex – situ de suelos sedimentos y otros solidos contaminados con hidrocarburos se pueden realizar en un variado número de procesos en fase sólida y en fase lodo.

Figura 3.12: Transformación de un suelo contaminado a suelo limpio



Fuente: Canasa Calvo Adrian, 2009; Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana.

Los procesos en fase solida son aquellos en donde el suelo se trata con un contenido de agua mínima, en los casos de procesos en fase lodo se suspende el suelo en agua.

Para la Biorremediación de los suelos contaminados con hidrocarburo han sido utilizadas diversas estrategias de compost aprovechando la versatilidad de algunos microorganismos para catabolizar moléculas recalcitrantes. Las matrices de compost son ricas en microorganismos xenobióticos, incluyendo bacterias, actinomicetos y hongos lignolíticos que pueden lograr la degradación de contaminantes hasta compuestos inocuos como dióxido de carbono y agua, o transformarlos en sustancias menos toxicas. Las tecnologías conocidas como landfarming, Land Treatment o Land Application, son métodos de remediación de hidrocarburos de petróleo a través de la biodegradación. Una de las técnicas de Biorremediación más difundida es el Landfarming que consiste en un vertido controlado de hidrocarburos sobre una superficie de terreno, el cual se somete a un proceso de remoción mediante arado y riego superficial con agregado de fertilizante, con o sin incorporación de microorganismos. (Adrian, 2009)

Estas tecnologías consisten en el uso de microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias menos tóxicas o que no sean tóxicas. Los microorganismos, igual que los seres humanos, comen y digieren sustancias orgánicas, de las cuales obtienen nutrientes y energía. Ciertos microorganismos pueden digerir sustancias orgánicas peligrosas para los seres humanos, como combustibles o solventes. Los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos en productos inocuos, principalmente dióxido de carbono y agua, una vez degradados, los microorganismos se reducen por que han agotado su fuente de alimento. Las poblaciones pequeñas de microorganismos sin alimentos o los microorganismos muertos no presentan riesgo o contaminación. Algunos microorganismos pueden utilizar hidrocarburos para su crecimiento como única fuente de carbono, entre ellos se incluyen bacterias, actinomicetes, levaduras y mohos. Los gérmenes producen una serie de catalizadores biológicos denominados enzimas, que se liberan al exterior de la célula y atacan las moléculas de hidrocarburo transformándolas en formas más fácilmente asimilables. Solo unas pocas especies son capaces de degradar hidrocarburos gaseosos, mientras que los hidrocarburos parafínicos líquidos son atacados por un mayor número de especies. La degradación de hidrocarburos alifáticos saturados es un proceso básicamente aeróbico, el oxígeno es necesario para iniciar el ataque microbiano a la molécula, mientras que la degradación de hidrocarburos alifáticos insaturados puede efectuarse en forma aeróbica y anaeróbica, al igual que los aromáticos.

Las técnicas de biorremediación generalmente son aplicadas en suelos con concentraciones de hidrocarburos totales del orden de 5 a 8%, extendiéndose estos valores a rangos mayores para suelos fácilmente aireables; debe destacarse que la determinación cuantitativa de hidrocarburos en suelo es compleja ya que la mayoría de las técnicas se basan en la extracción de las diversas fracciones por solventes, según sea el método utilizado para determinación de hidrocarburos se obtendrá valores diferentes, que para determinados tipos de suelos e hidrocarburos pueden ser muy marcados. De esto surge la importancia de especificar el método analítico utilizar. (Adrian, 2009). Las efectividades de esta metodología dependen de innumerables factores entre ellos se encuentran.

- Tipo y concentración de contaminantes.
- Concentración de microorganismos.
- Concentración de nutrientes.
- Aireación.
- Condiciones macroambientales.
- Presencia de inhibidores.
- Biodisponibilidad del contaminante.
- Características agronómicas.

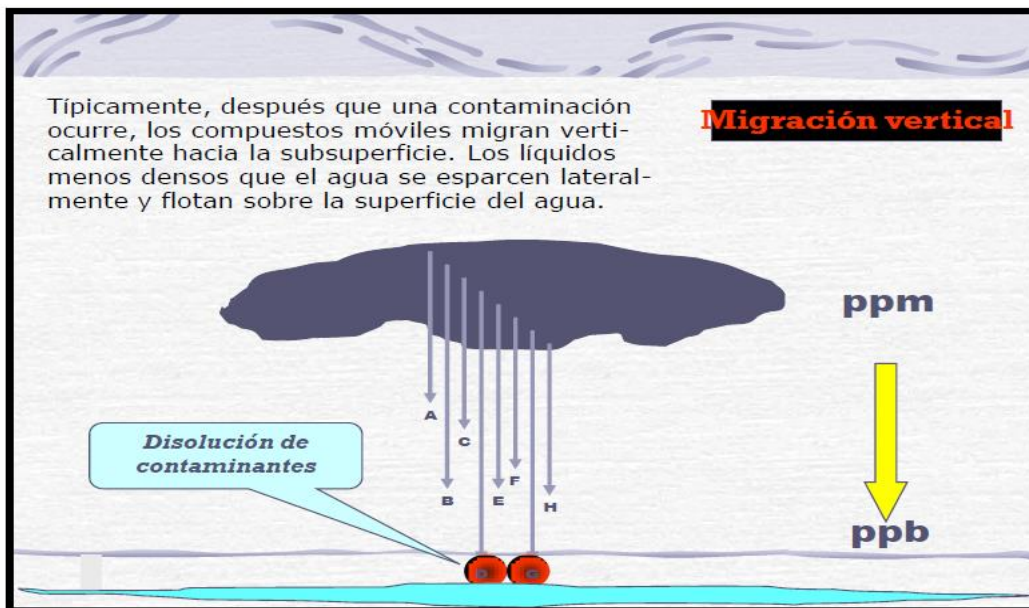
- Topografía y microbianas del suelo receptor.

Se puede resumir que, en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, la Biorremediación es una de las mejores alternativas por sus diversas ventajas.

La biorremediación de suelos contaminados con petróleo también se realiza para limpiar y disminuir el contenido de hidrocarburos de diferentes niveles de toxicidad presentes en los suelos después de ocurrido un derrame; son numerosas las metodologías biológicas que se utilizan con este propósito, pero todas se basan en la capacidad de los microorganismos de biotransformar compuestos orgánicos, por lo general hacia productos menos tóxicos o de más fácil degradación. La biorremediación permite reducir notablemente las concentraciones de petróleo residual. Este tratamiento se aplica básicamente por bioestimulación y bioaumentación.

Las prácticas de biorremediación consisten en el uso de microorganismos como plantas, hongos, bacterias naturales o modificadas genéticamente para neutralizar sustancias tóxicas, transformándolas en sustancias menos tóxicas o convirtiéndolas en inocuas para el medio ambiente y salud humana. La biorremediación puede clasificarse de acuerdo al organismo que efectuó la degradación del compuesto xenobiotico. (Adrian, 2009)

Figura 3.13: Migración vertical

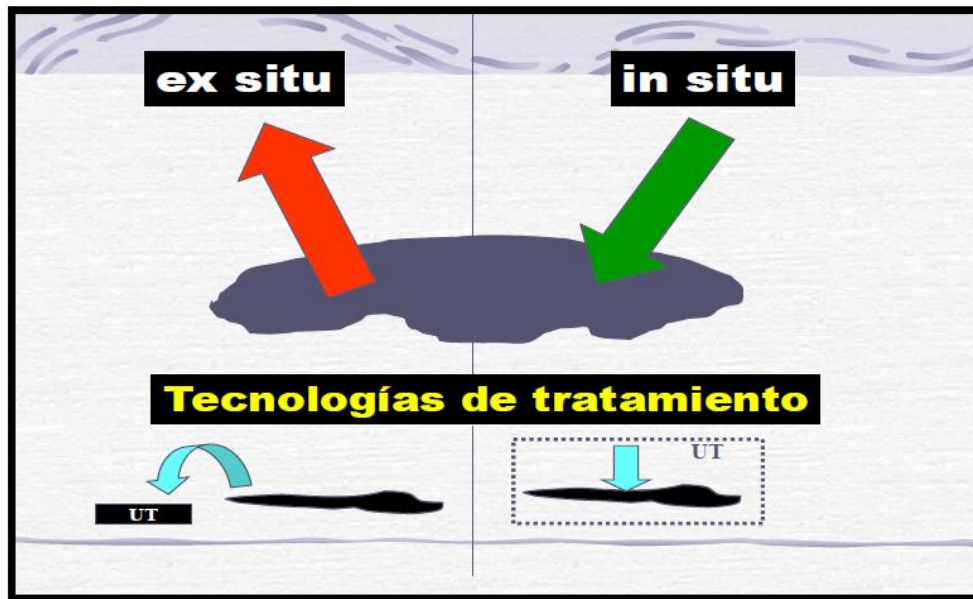


Fuente: Canasa Calvo Adrian, 2009; Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana.

La biorremediación del suelo, puede ser dividida en in situ y ex situ. In situ corresponde a la biorremediación referente a tratamientos que no requieren excavación del suelo contaminado. Ex situ es donde se excava el suelo o el material a tratar y se lo maneja en un sistema controlado como una

celda de landfarming o algún tipo de biorreactor. Las técnicas de biorremediación in situ presentan una mayor ventaja sobre las ex situ por el menor costo y la disminución de la generación de residuos a eliminar en la superficie.

Figura 3.14: Técnicas de biorremediación in-situ y ex-situ



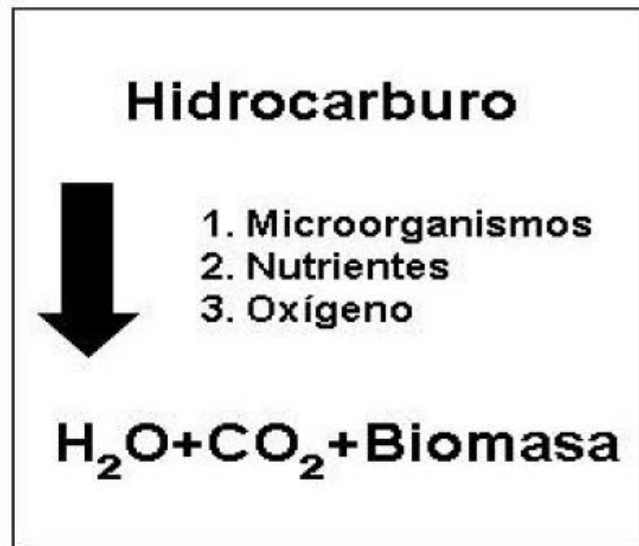
Fuente: Canasa Calvo Adrian, 2009; Remedación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana.

La biorremediación in situ es la más aplicada y utiliza microorganismos autóctonos, estos en el suelo pueden degradar un gran número de constituyentes de lodo, pero su eficacia y su población son afectadas cuando algunos contaminantes tóxicos están presentes en altas concentraciones. La reintroducción de microorganismos aislados de un sitio contaminado ayuda a resolver este problema ya que los microorganismos pueden degradar los constituyentes y tiene una gran tolerancia a la toxicidad.

El principio básico del proceso de biorremediación consiste en la destrucción de la estructura de los hidrocarburos para convertirlos en los componentes no tóxicos de bióxido de carbono, agua y biomasa (Fig. 3.15). Esto se logra mediante el cultivo de bacteria endémicas con capacidad de adaptación a las condiciones ambientales y a las características del suelo en el sitio del tratamiento. El proceso en cuestión consiste en la inoculación del material contaminado por petróleo con microorganismos combando con aminoácidos, enzimas, vitaminas, minerales y nutrientes que mejoran la bioreceptividad y la capacidad metabólica de las bacterias aumentando su capacidad de oxigenación y mineralización de los hidrocarburos. Tal como cualquier otro organismo, los pequeños comedores de petróleo

necesitan alimentos para vivir y multiplicarse, incluso carbono, fosforo, nitrógeno y oligoelementos; en otras palabras, en su enorme apetito por los hidrocarburos, las bacterias literalmente se los comen y van limpiando el suelo. (Adrian, 2009)

Figura 3.15: Principio básico del proceso de biorremediación



Fuente: Canasa Calvo Adrian, 2009; Remediación de suelos contaminados

Según (Adrian, 2009) los microorganismos pueden ser divididos en tres grupos principales

- a) Algas: Contiene clorofila. Necesitan luz solar para crecer y pueden ser un problema en los estanques superficiales, canteras a cielo abierto o agua de mar.
- b) Hongos. No contiene clorofila.
- c) Las bacterias: tienen propiedades en común con los hongos y algas

Las bacterias son muy pequeñas (alrededor de 0,5 micras de diámetro). Las verdaderas bacterias tienen forma de esferas, curvas rectas. Las formas se denominan de la siguiente manera.

- 1) Cocco (una sola bacteria esférica, si hay varias bacterias esféricas se denominan cocsos, una cuerda o cadena de cocsos se llama estreptococo y una hoja o plano de cocsos se llama un estafilococo).
- 2) Bacilo (varilla recta)
- 3) Vibrio (curva en forma de "C"), Sigmoide (curva en forma de "S"), Spirillum (dos o más curvas en forma de un tornillo o espiral) (MONTALUISA, 2018)

Las funciones de las bacterias es consumir o transformar los materiales orgánicos en determinadas condiciones ambientales.

Los procesos de biorremediación son catalizadas, proceso de reacción química en la cual los microorganismos provee enzimas (proteínas), el catalizador, para transformar un contaminante orgánico en una reacción oxido – reducción.

Para mantener la biorremediación son necesarias la siguientes: una especie de bacterias capaces de producir las enzimas (catalizadores que reducen la energía de activación, proteínas orgánicas generadas por los microbios) y degradar el contaminante es el objetivo específico. Un receptor de electrones para el redox, oxígeno para las reacciones aeróbicas. Una fuente de energía. Las bacterias pueden multiplicarse a una velocidad muy alta. Algunas pueden multiplicar su población en 20 minutos en condiciones ideales, lo que significa que una sola bacteria puede llegar a ser una colonia prospera de millones de bacterias en pocas horas. Un volumen del agua puede contener muchas bacterias. Las bacterias son sumamente adaptables y resistentes, que pueden soportar una gama muy amplia de: temperaturas por lo menos de 14 °F a 210°F, Valores de pH (alrededor de 0 a 10,5), concentraciones de oxígeno (0 a 100 5 de oxígeno)

Condiciones ideales: En sistemas de agua, que crecen mejor en el rango de pH de 6-8, temperaturas de 20 y 35°C, prefieren el agua dulce, pero puede hacer muy bien en salmueras.

Según (Adrian, 2009), las bacterias se clasifican de la siguiente forma:

- a) Por el oxígeno. - El control de oxígeno es fundamental para la eliminación de nutrientes. El oxígeno puede ser disuelto molecular o químicamente ligado a otras sustancias como los nitratos, sulfatos o fosfatos. Las bacterias por oxígeno se clasifican en aeróbica (los microorganismos + oxígeno → CO₂ + H₂O + NO₃ + H⁺ + *calor*. Los productos de la reacción de estabilización crea calor y la producción de H⁺ destruye la alcalinidad. Lo más importante es el proceso de estabilización se reduce la masa de contaminantes. El proceso puede ser inhibido por metales pesados) y Anaeróbica (Tanto el ácido fermentador y los formadores de ácido existen juntos y pueden ocurrir reacciones al mismo tiempo. El segundo paso es el más crítico debido a que los fermentadores de metano son más sensibles a los cambios de pH y más lento para reproducirse y reaccionan a los cambios de las condiciones que no sean los formadores de ácido. Si el pH cae por debajo de 6, los formadores de ácido predominan y la fuerza de digestión en condiciones malas. La caída de pH indica que toda la alcalinidad ha sido consumida, mientras hay alcalinidad en el sistema, el pH se mantiene estable. Una vez que toda la alcalinidad es consumida el pH desciende.
- b) Por fuente de carbono. - Heterótrofos (se alimentan de materia orgánica como fuente de carbono) y Autótrofos (se alimentan de dióxido de carbono, bicarbonato y carbonato como fuente de Carbono.
- c) Por la temperatura. - Termófilicas (> 40°C), Mesófilas (alrededor de 30°C) y Criófilicas (< 10°C).

- d) Fuente de Energía. - Fototrofos (la luz, fotosíntesis) y Quimiotrofos (oxidación química y la reducción de macronutrientes inorgánicos como al carbono, nitrógeno y el fosforo).

Según (Saval, 1998) se han observado casos en los que el suelo contaminado se mezcla con suelo limpio como una forma de “dilución” para reducir la concentración de contaminantes, y con ello facilitar la biorremediación.

3.4.2 Landfarming

Tecnología para la remediación de suelos, que reduce las concentraciones de hidrocarburos de petróleo por biodegradación. Esta tecnología implica el arar los suelos contaminados o removerlos y depositarlos en la superficie del sitio o sus inmediaciones en una capa delgada y el estimular la actividad microbiana aeróbica dentro de los suelos a través de la aireación por arado con la adición de nutrientes y de la humedad necesaria.

Por la contaminación de suelos con hidrocarburos, en el mundo se han implementado distintos métodos de descontaminación. El más empleado es en el que se emplean técnicas fisicoquímicas pero la desventaja de este es su costo y el tiempo que puede llevar ver los resultados. En cambio, el Landfarming es una técnica de bajo costo, pero con la diferencia de otras esta demora en el tiempo en la degradación de los contaminantes, la contaminación de lodos es alta y se tiene que evacuar de forma eficaz y eficiente.

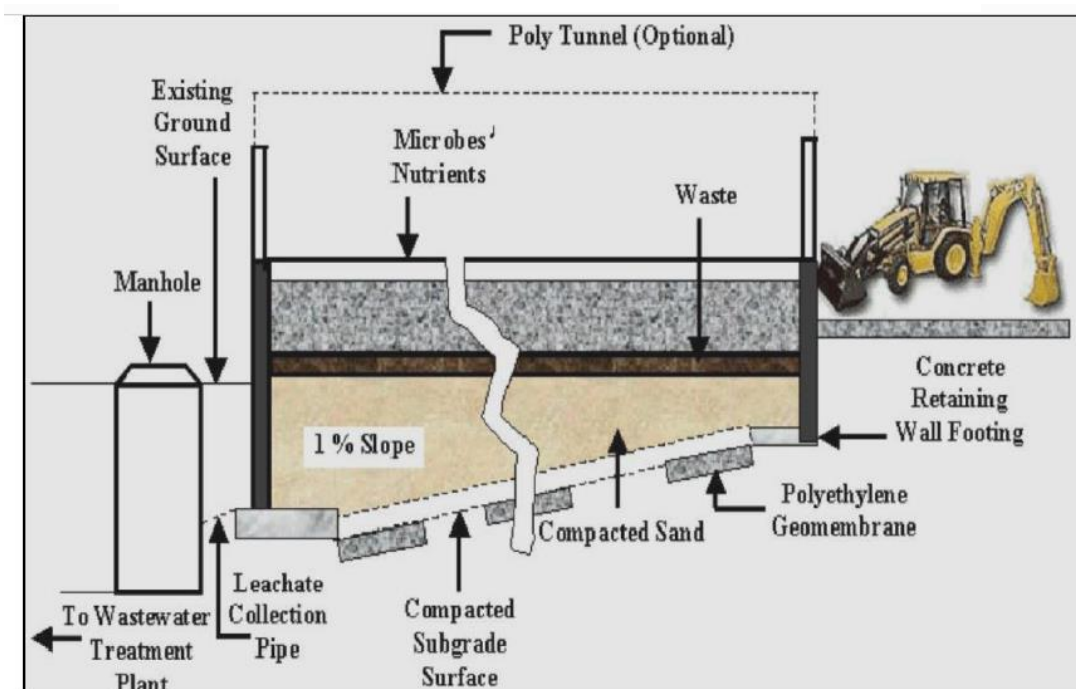
Los procesos de biorremediación son vistos como una alternativa ambiental para mejorar las condiciones de los suelos contaminados, se utilizan hongos, bacterias y levaduras que se encuentran de forma natural en el suelo; estos se encargan de la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo.

Según (Ariza & Carrillo, 2017) Estudios técnicos han puesto que la técnica de landfarming resulta eficaz para la degradación de hidrocarburos, particularmente los de tipo alifático, este hecho ya ha sido observado por otros autores en ambientes semiáridos. Como es lógico, la velocidad de degradación de los hidrocarburos está condicionada por el carácter más o menos aromático de los mismos. Las prácticas de biorremediación consiste en el uso de microorganismos como plantas, hongos y bacterias naturales o modificadas genéticamente para neutralizar sustancias tóxicas, transformándolas en sustancias menos tóxicas o convirtiéndolas en inocuas para el ambiente. Landfarming es una técnica de biorremediación que puede ser utilizada para descontaminación tanto en “in situ” como “Ex situ”, y consiste en provocar la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, por medio de la estimulación de la microflora natural que se encuentra en el suelo (levaduras, hongos o bacterias) mediante el agregado de fertilizantes, arado o riego superficial. En el fondeo se trata de una bioestimulación de las poblaciones necesarias que interesa activar.

Como se mencionó anteriormente el landfarming es la técnica más difundida, es una tecnología de biorremediación ex – situ que requiere la excavación de 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 consta con un sistema de drenaje para la recolección de lixiviados, que deberán recibir algún tratamiento posterior. (Carranza, 2014)

La figura 3.16, muestra el proceso de Landfarming a un suelo contaminado con hidrocarburos

Figura 3.16: Landfarming



Fuente: Edison P. Pilatásig M. 2018 Universidad estatal Península de Santa Elena

La descontaminación se basa en la acción de los microorganismos presentes en el suelo, por lo que la unidad de tratamientos ex – situ reside en poder controlar fácilmente las condiciones óptimas de biodegradación de los compuestos orgánicos.

3.4.3 Fitorremediación

La fitorremediación como una técnica biológica llevar a cabo la descontaminación de suelos o la depuración de aguas residuales, debido a la capacidad restauradora de algunas plantas, esta técnica engloba un conjunto de métodos encargados de degradar, asimilar o metabolizar contaminantes, mediante tratamientos in situ. La fitorremediación se basa en los procesos que ocurren naturalmente

por lo que las plantas y microorganismos rizosféricos degradan contaminantes orgánicos e inorgánicos. En la tabla 3.2 se muestran diversos métodos fitorremediadores que se aplican para recuperar áreas acuáticas o terrestres contaminadas. (Arias, 2017)

Tabla 3.2: Descripción de métodos fitorremediadores

Método	Descripción
Fitoextracción	Las plantas se cosechan para su posterior incineración, debido a que su uso puede ser peligroso. Este mecanismo incluye tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos que no cuenten con la capacidad de transformarse en sustancias no tóxicas .
Fitovolatilización	Se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con diversos tipos de contaminantes, algunos de estos pueden llegar a la hojas y evaporarse o volatizarse en la atmósfera.
Fitodegradación	Se encarga de transformar un contaminante en uno menos “perjudicial” para el medio ambiente, lo cual solo se puede presentar con contaminantes orgánicos.
Fitoimmobilización	Provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de contaminante mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz – suelo – raíz los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de adsorción o precipitación.
Fitoestabilización	Se inmovilizan los contaminantes del suelo o el agua por medio de adsorción, precipitación y acumulación de sustancias en las raíces de las plantas. De igual forma este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire.

Fuente: Johana Andrea Vélez Arias “Contamination of solid and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery”

Balderas-Leon & Sánchez – Yañes. 2015 integran la bioestimulación, biorremediación y la fitorremediación, por medio de las bacterias *Bacillus cereus* promotoras del crecimiento vegetal y la planta *Sorghum vulgare*. En esta situación las integraciones de ambas técnicas promueven el crecimiento, desarrollo y efectividad de las plantas durante la absorción de contaminantes. Las especies más usadas en los estudios se caracterizan por ser gramíneas. Algunas de las especies de las plantas probadas con éxito en la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos son *Zea mays*, *Panicum maximum* jacq, *Paspalum xirgatum*, *Echinochloa polystachya* H B K, *Sorghum vulgare*

L, *Phaseolus vulgaris* L, *Phaseolus coccineus* L, *Chamaecrista nictitens*, *Hordeum vulgare*. Sugieren inculación de microorganismos en plantas para incrementar la eficiencia de la degradación. (Arias, 2017)

3.4.4 Tratamiento Biológico

El material se somete a una serie de operaciones mecánicas y biológicas cuyo objetivo es reducir el volumen de los desechos, así como estabilizarlo para reducir las emisiones provenientes de la eliminación final. Las operaciones varían según la aplicación, normalmente las operaciones mecánicas separan el material de desechos en fracciones que serán sometidas a tratamientos adicionales (preparación de abono orgánico, digestión anaeróbica, combustión, reciclado). (Pipatti & Joao Wagner Silva Alves, 2006)

Los procesos comunes de tratamiento biológico son el compostaje, la descomposición anaeróbica (también llamada digestión anaeróbica), y la fermentación. (Robalino, 2017)

El tratamiento anaeróbico suele vincularse con la recuperación de metano (CH₄) y la combustión energética y, por lo tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del proceso deben declararse en el sector energía. La digestión anaeróbica de los desechos orgánicos acelera la descomposición natural del material orgánico en ausencia de oxígeno, el contenido de humedad y el PH se mantienen cercano a los valores óptimos.

En general el tratamiento biológico afecta la cantidad y la composición de los desechos que se depositan. (Pipatti & Joao Wagner Silva Alves, 2006)

3.4.4.1 Ventajas

- Son efectivos en cuanto a costos.
- Son tecnologías más benéficas para el ambiente.
- Los contaminantes son generalmente destruidos.
- Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior.

3.4.4.2 Desventajas

- Requiere mayor tiempo de tratamiento.
- Es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos.
- No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano.

3.4.5 Tratamiento Termal

Los tratamientos térmicos ofrecen tiempos muy rápidos de limpieza, pero son generalmente los más caros. Los altos costos se deben a la energía y los equipos empleados en este proceso. Los procesos térmicos incluyen la destrucción, separación e inmovilización de contaminantes. En esta técnica se utiliza la temperatura para incrementar la volatilidad (separación), quemado; descomposición (destrucción) o fundición de los contaminantes del suelo. (Robalino, 2017)

3.5 Resumen de las capacidades de remoción

En la tabla 3.3 se muestra la capacidad de remoción de las diferentes técnicas utilizadas actualmente en cada una de las fases en que se compone la misma.

Tabla 3.3: Resumen de la capacidad de remoción de las diferentes técnicas de tratamiento de borras de la industria del petróleo.

Técnica usada	Tipo	Fase a la que se aplica	Capacidad de remoción	Ubicación Geográfica donde se aplico
Biorremediación	Biológico	Lodos	-	Argentina
Biorremediación – Aspectos tecnológicos y aplicación al vertido del petróleo.	Biológico	Lodos	-	España
Biorremediación de hidrocarburos de petróleo en los suelos.	Biológico	Lodos	Alta	USA
Biorremediación de lodos que contiene hidrocarburos – bioaumentación.	Biologicos	Lodos	84 % de HC	Nigeria
Bacterias Hidrocarburolicas en suelo sometido a Biorremediación	Biológico	Lodos	-	Argentina
Estabilización/Solidificación	Químico - Físico	Lodos	Media	España
Estabilización/Solidificación a base de cemento en los lodos de refinería de petróleo.	Químico - Físico	Lodos	Media	-

Biodegradación	Biológico	Lodos	-	Jordania
Landfarming de lodos aceitosos en regiones áridas y riesgo que tiene para la salud humana.	Biológico	lodos	-	Arabia Saudita Golfo Pérsico
Biorremediación de lodos aceitosos en parcelas preparadas.	Biológico	Lodos	27 – 46 % de HC	China
La biorremediación por el aumento de biopreparado vs compostaje convencional.	Biológicos	lodos	30-53% de HC	China
Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo empleando bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula.	Biológico	lodos	30% de HC	México
Bases moleculares de la Fitorremediación de hidrocarburos de hidrocarburos totales del petróleo.	Biológico	lodos	-	México
Fitorremediación de un suelo contaminado usando Phaseolus Coccineus y fertilización orgánica e inorgánica.	biológico	lodos	-	México
Co-incineración	Térmico	Lodos	Alta	China

Fuente: (Leidy Johanna Gómez Ocampo) Métodos para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento.

3.6 Ventajas y desventajas de los principales métodos utilizados

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas de los principales de los principales métodos utilizados desde el punto de vista operativo, económico y ambiental en el tratamiento.

Tabla 3.4: Ventajas y Desventajas de los principales métodos utilizados

Principales métodos utilizados	Puntos de vista	Ventajas	Desventajas
Incineración (Método térmico)	Operativo	Reducción hasta de un 90% del volumen del residuo	Mayor magnitud en las operaciones de almacenamiento, transporte y disposición final. Los procesos de incineración requieren procesos operativos para el control de emisiones de gases.
	Económico		El 100% de la borra producida se almacena, transporta y se hace disposición final a través de la incineración, generando costos proporcionales a la cantidad de borra producida, siendo más altos que el proceso de recuperación de crudo. La disposición final de este residuo por este método genera costos adicionales por control de emisión de gases.
	Ambiental	Se reduce la carga de contaminantes a los suelos	
Biorremediación (Método biológico)	Económico	Si se dispone de suficiente terreno o área en el sitio donde se genera las borras, puede resultar muy económico, ya que se producen grandes ahorros al no incurrir en costos de transporte y requerimientos adicionales de terrenos para el desarrollo del proceso.	Puede resultar relativamente costoso si no se dispone del área requerida para el proceso de biorremediación.

	Operativo	Requiere baja cantidad de personal operativo para la realización de los trabajos.	Mayor magnitud en la operación de almacenamiento, transporte y disposición final. Los procesos de biorremediación necesitan de gran control operativo para mantener condiciones biológicas. Implica largos periodos de tiempo para realizar el tratamiento.
	Ambiental	Es natural y no requiere el uso de agentes químicos como solventes o detergentes. Transforma los contaminantes a productos no peligrosos o los destruye completamente.	Realiza la utilización de tierra limpia para mezclar con lodo contaminado. Aporte de carga contaminantes al ambiente tanto en suelo como en aire.

Fuente: (Leidy Johanna Gómez Ocampo) Métodos para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento.

3.7 Listado de técnicas tradicionales e innovadoras

Tabla 3.5: Técnicas tradicionales e innovadoras

Técnicas tradicionales	Técnicas Innovadoras
Incineración	Biorremediación
Mezclar, enterrar y cubrir	Desorción térmica
Dispersión sobre el terreno	Extracción de vapores del suelo
Solidificación	Aspersión de aire
Re-uso y reciclado	Deshalogenación química
	Enjuague del suelo in- situ
	Extracción con solvente
	Lavado de suelo
	Medidas Fitocorrectivas

Fuente: (Beltran, 2013); Guía de métodos de biorremediación

3.8 Técnica utilizada en el tratamiento de recortes de perforación en Bolivia

En Bolivia para el manejo de los recortes de perforación se utiliza el método de locación seca. (YPFB", 2016). En la locación seca se utiliza los equipos denominados "de control de sólidos" como ser la zaranda, hidrociclones y centrifugas o también llamado decanters, el funcionamiento de estos equipos se los describe en el punto 3.2.3 equipos de control de sólidos. Los recortes retenidos por los hidrociclones y por las telas de las zarandas secadoras caen en un contenedor adecuado y luego son mezclados con suelo vegetal como se describe a continuación. (GAS, 2009)

- ✓ La capa superficial del terreno, comprendida por 20 a 30 cm de espesor, retirada del sitio donde se encuentra la locación, se distribuye en montículos en la zona más apropiada teniendo en cuenta las razones de seguridad de las personas, el tránsito y los equipos.
- ✓ Luego se preparan coronas de suelo con una depresión en su centro donde se colocará durante la perforación el "cutting" y se procederá al mezclado con el "top-soil"

En el equipo se optimizan las descargas de sólidos para que se pierda la mínima porción de líquidos y se colocan en contenedores de frente abierto como se muestra en la figura 28 para facilitar el manipuleo con una pequeña retroexcavadora que los transportará hacia las coronas del suelo para su mezclado.

Figura 3.17: Contenedores abiertos



Fuente: (GAS, 2009) Consideraciones ambientales para la construcción de locaciones y la gestión de lodo y recortes

La retroexcavadora mezcla el suelo y recortes de manera de lograr una homogenización de la misma que permita su distribución en lugares definidos. (GAS, 2009)

3.8.1 Disposiciones ambientales y seguridad industrial

Según (YPFB", 2016)

Para la disposición final de los residuos sólidos se deberá tener un contrato con una empresa especializada en el manejo de residuos y disposición final y que tenga una licencia ambiental vigente otorgada por la autoridad ambiental competente.

La empresa encargada de la locación seca deberá dar cumplimiento a los compromisos ambientales, sociales y de seguridad industrial y salud ocupacional, aprobados a través del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, como también las disposiciones emitidas por la autoridad Ambiental Competente al momento de otorgar la Licencia Ambiental.

Las distintas unidades auxiliares, logística y toda actividad realizada en el control de sólidos y locación seca, deberán cumplir las especificaciones técnicas establecidas en la legislación ambiental vigente, Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) y requerimientos de YPFB.

En la generación, Recolección, Almacenamiento, clasificación y disposición final de residuos el contratista deberá desarrollar la gestión de residuos sólidos de acuerdo a procedimientos metodológicos que contengan estas etapas, de acuerdo a lo establecido en el EEIA y legislación aplicable.

Todo el personal que participe en la gestión de residuos sólidos, deberá contar con el respectivo equipo de protección personal.

El contratista proveerá suficientes contenedores señalizados en locaciones para asegurar la capacidad adecuada de almacenamiento y prevenir que los residuos se acumulen, se debe coleccionar y eliminar los residuos sobre una base regular.

Se debe contar con registros diarios de la cantidad de recortes recuperados en superficie, tener control de los parámetros de entierro de recortes (pH, TPH; absorción sodios), se debe llevar el control de la cantidad de residuos (recortes de perforación, hasta su disposición final). El tratamiento de residuos, se realiza en función a los resultados de los análisis de laboratorio, llevando acabo el registro y control documentado. En la ejecución del trabajo el contratista deberá en todo momento minimizar la cantidad de residuos y maximizar el reciclaje.

De presentarse cualquier contingencia, eventualidad o suceso no deseado que provoque impactos ambientales, perdidas, daños o perjuicios el contratista deberá activar su plan de contingencia e inmediatamente deberá iniciar las actividades de remediación.

CAPITULO 4

INGENIERIA DE PROYECTO

4.1 Selección método de biorremediación

Este trabajo expone el uso de una metodología de estudio evaluativo en un área de perforación, de esta manera podemos determinar los volúmenes de desechos de pozos vecinos perforados en el mismo tipo de suelo para la ubicación del sistema de tratamiento y recuperación de desechos, y tomando como mejor alternativa el método de landfarming, por los motivos que se menciona en la sección 3.4.2.

Los cálculos efectuados en esta sección se las realiza con datos obtenidos de los pozos tomados como muestra, con la finalidad de calcular un promedio de la cantidad de desechos que se generaron y que se podrían generar de pozos vecinos.

Se procede con el estudio técnico para tratamiento de desechos (landfarming) producto de la perforación de estos pozos.

Los cálculos que se realizarán a continuación contribuirán a considerar el área para la biorremediación de desechos.

4.2 Determinación de los volúmenes de desechos a ser producidos

Para determinación de los volúmenes se utilizará la ecuación (3)

$$V_1 = \frac{\phi^2}{314} * H \quad \text{bbbls}$$

POZO SBL-X1

El pozo SBL-X1 tiene una profundidad de 4,444 m TMD y 4,245 m TVD, consta de 6 secciones perforadas, los datos de diámetros y alturas de cada sección se lo puede apreciar en la tabla 4.1 Y más abajo se podrá observar una representación gráfica de las secciones de perforación (Figura 4.1)

Tabla 4.1: fases de perforación y cañería

Programado			Realizado			
Intervalo (m)	Diámetro Agujero (trepano)	Diámetro cañería	Perforado		Cañería	
			Intervalo (m)	Diámetro Agujero (trepano)	Longitud (m)	Diámetro cañería
0 - 60	36"	30"	0 - 62	36"	0 -51	30"
60 - 765	24"	20"	62 - 786	24"	0-781	20"
765 - 1815	17 1/2"	16" (1)	786 - 2100	17 1/2"	0-2086	13 3/8"
1815 - 2700	14 3/4"	13 3/8"				
2700 -3850	12 1/4"	9 5/8"	2100 -3130	12 1/4"	0-3057	9 5/8"
					boca liner 7" 2943.5	
400 -4800	8 1/2"	5"optativo	3130 - 3369.5	8 1/2"	2943.5 - 3967.5	7"
4800 - 5050	6 1/8"		3369.5 a 4443 (2)	6 1/8"	Agujero abierto	

Fuente: (PETROBRAS, 2008) plan de desarrollo campo sábalo

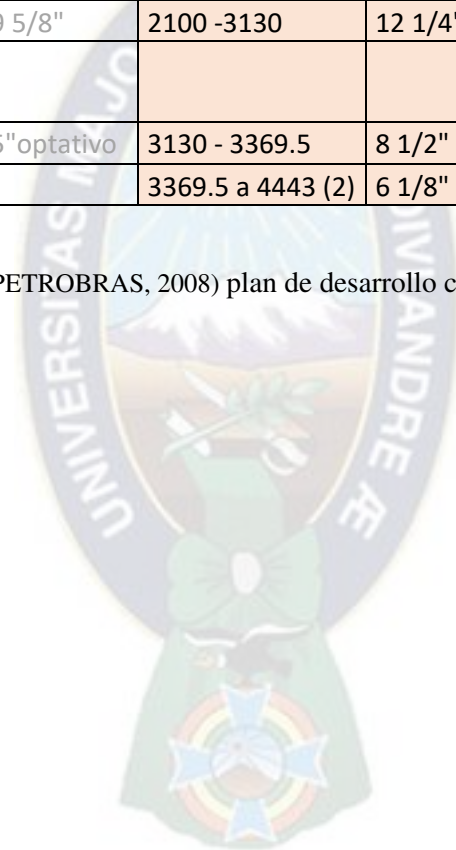
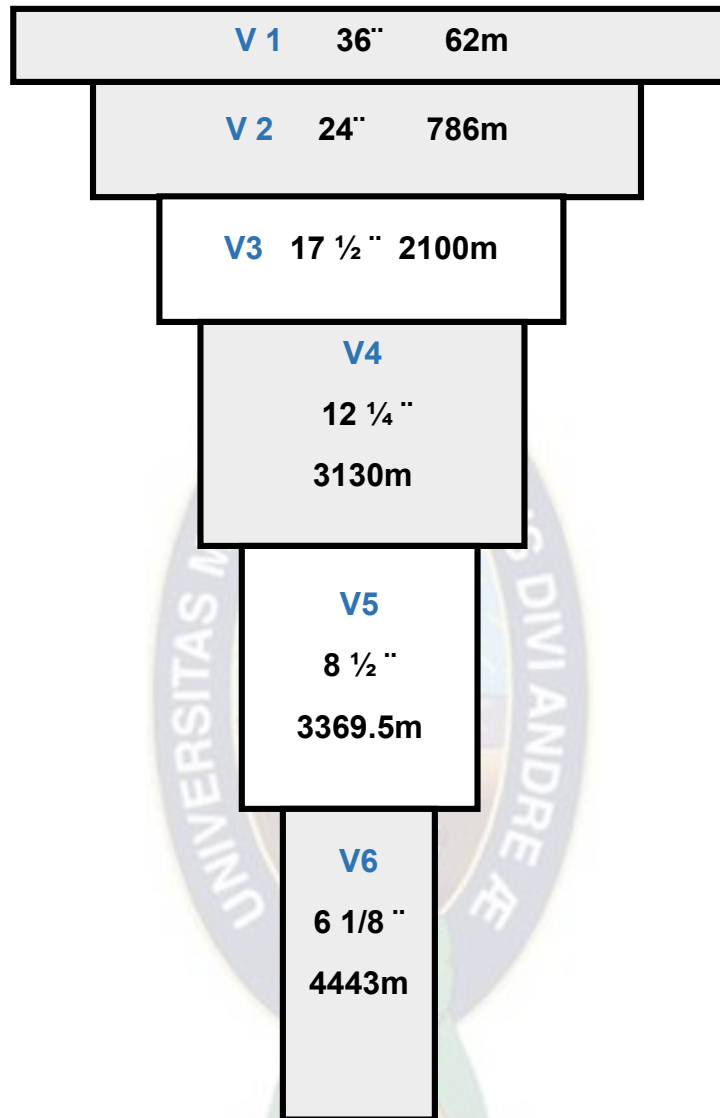


Figura 4.1: Representación de los intervalos de perforación (SBL-X1)



Fuente: Grafico propio, Datos Petrobras 2008 plan de desarrollo campo sábalo

$$V_{1-SBL-X1} = \frac{(36)^2}{314} * (62) = 255,90 \text{ bbl}$$

$$V_{2-SBL-X1} = \frac{(24)^2}{314} * (786) = 1441,83 \text{ bbl}$$

$$V_{3-SBL-X1} = \frac{\left(17\frac{1}{2}\right)^2}{314} * (2100) = 2048,17 \text{ bbl}$$

$$V_{4-SBL-X1} = \frac{\left(12\frac{1}{4}\right)^2}{314} * (3130) = 1495,84 \text{ bbl}$$

$$V_{5-SBL-X1} = \frac{\left(8\frac{1}{2}\right)^2}{314} * (3369,5) = 775,31 \text{ bbl}$$

$$V_{6-SBL-X1} = \frac{\left(6\frac{1}{8}\right)^2}{314} * (4443) = 530,83 \text{ bbl}$$

$$V_{T-SBL-X1} = V_{1-SBL-X1} + V_{2-SBL-X1} + V_{3-SBL-X1} + V_{4-SBL-X1} + V_{5-SBL-X1} + V_{6-SBL-X1}$$

$$V_{T-SBL-X1} = 255,90 \text{ bbl} + 1441,83 \text{ bbl} + 2048,17 \text{ bbl} + 1495,84 \text{ bbl} + 775,31 \text{ bbl} + 530,83 \text{ bbl} = 6547,88 \text{ bbl}$$

$$V_{T-SBL-X1} = 6547,88 \text{ bbl}$$

POZO SBL-X2

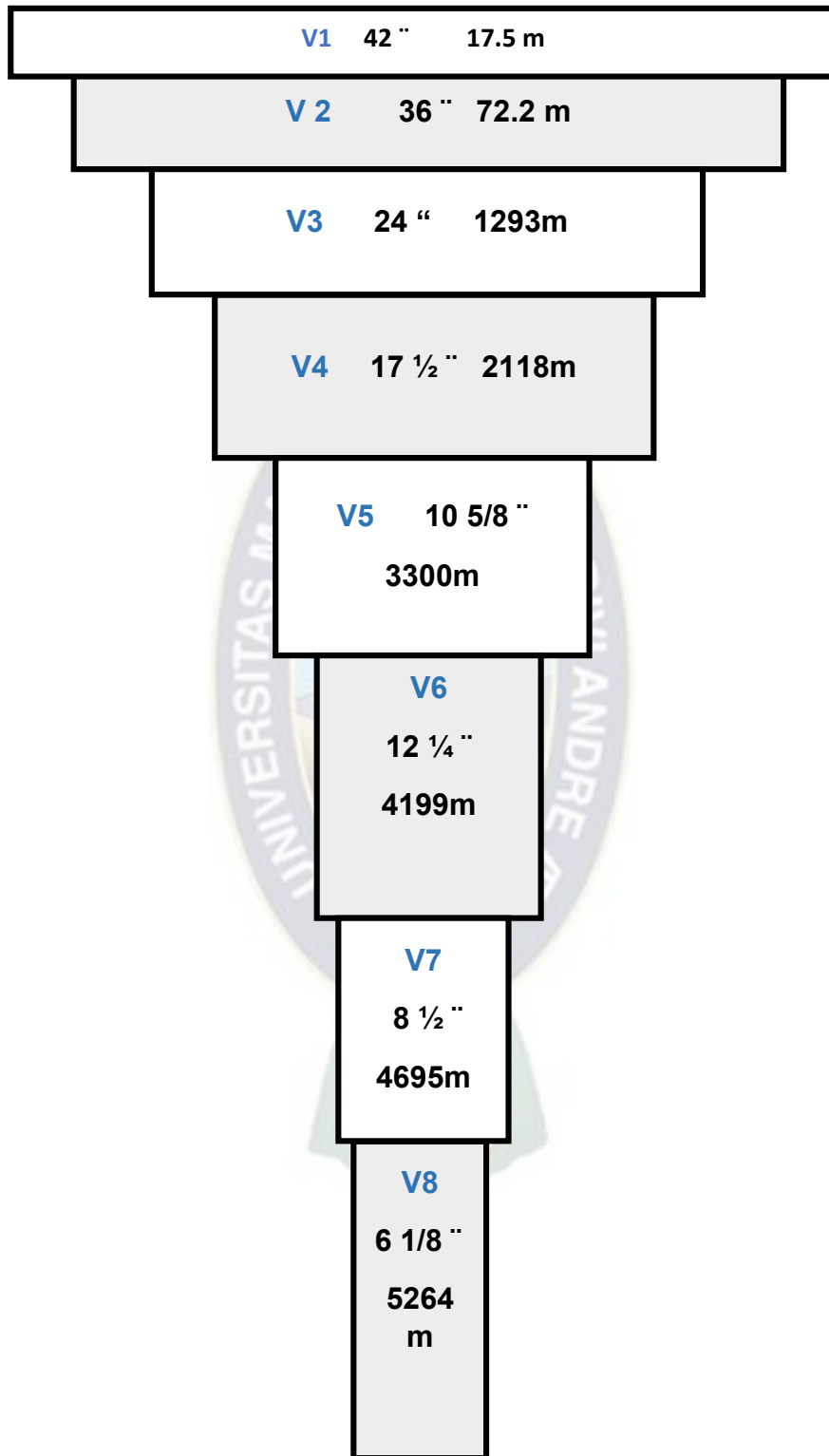
El pozo SBL-X2 tiene una profundidad de 5,264 m TMD y 5,145 m TVD, consta de 8 secciones perforadas. Los datos de diámetros y alturas de cada sección se lo pueden apreciar en la tabla 4.2 y más abajo se podrá observar una representación gráfica de las secciones de perforación (Figura 4.2).

Tabla 4.2: Fases de perforación usadas en el pozo SBL-X2

Programado			Realizado			
Intervalo (m)	Diámetro Agujero (trepano)	Diámetro cañería (plg)	Perforado		Cañería	
			Intervalo (m)	Diámetro Agujero (trepano)(plg)	Longitud (m)	Diámetro cañería(plg)
0 - 5		40	0-17.5	42	17.5	40
5 a 60	36"	30	17.5-72.2	36	72.2	30
60 - 1185	24"	20	72.2-1293	24	1289.5	20
1185 - 3220	17 1/2"	13 3/8	1293-2118	17 1/2	2111.8	16
3220 - 4330	12 1/4"	9 5/8"	2118-2705	10 5/8		
			2604-3300	10 5/8	3283.8	13 3/8
			3300-4199	12 1/4	4165.4	9 5/8
4330 - 4820	8 1/2"	7	4199-4695	8 1/2	4694	7
4820 - 5450	6 1/8"		4695-5264	6 1/8	4849	5

Fuente: (PETROBRAS, 2008) plan de desarrollo campo sábalo

Figura 4.2: Representación de los intervalos de perforación SBL-X2



Fuente: Grafico propio, Datos Petrobras 2008 plan de desarrollo campo sábalo

$$V_{1-SBL-X2} = \frac{(42)^2}{314} * (17.5) = 98.31 \text{ bbl}$$

$$V_{2-SBL-X2} = \frac{(36)^2}{314} * (72.2) = 297.10 \text{ bbl}$$

$$V_{3-SBL-X2} = \frac{(24)^2}{314} * (1293) = 2371.87 \text{ bbl}$$

$$V_{4-SBL-X2} = \frac{\left(17\frac{1}{2}\right)^2}{314} * (2118) = 2065.72 \text{ bbl}$$

$$V_{5-SBL-X2} = \frac{\left(10\frac{5}{8}\right)^2}{314} * (3300) = 1186.43 \text{ bbl}$$

$$V_{6-SBL-X2} = \frac{\left(12\frac{1}{4}\right)^2}{314} * (4199) = 2006.73 \text{ bbl}$$

$$V_{7-SBL-X2} = \frac{\left(8\frac{1}{2}\right)^2}{314} * (4695) = 1080.30 \text{ bbl}$$

$$V_{8-SBL-X2} = \frac{\left(6\frac{1}{8}\right)^2}{314} * (5264) = 628.92 \text{ bbl}$$

$$V_{T-SBL-X2} = V_{1-SBL-X2} + V_{2-SBL-X2} + V_{3-SBL-X2} + V_{4-SBL-X2} + V_{5-SBL-X2} + V_{6-SBL-X2} + V_{7-SBL-X2} + V_{8-SBL-X2}$$

$$V_{T-SBL-X2} = 98.31 \text{ bbl} + 297.10 \text{ bbl} + 2371.87 \text{ bbl} + 2065.72 \text{ bbl} + 1186.43 \text{ bbl} + 2006.73 \text{ bbl} + 1080.30 \text{ bbl} + 628.92 \text{ bbl}$$

$$V_{T-SBL-X2} = 9735.38 \text{ bbl}$$

POZO SBL-X3 y SBL-X3D

El pozo SBL-X3 tiene una profundidad de 5,264 m TMD y 5,145 m TVD, consta de 8 secciones perforadas, los datos de diámetros y alturas de cada sección se lo puede apreciar en la tabla 4.3, y más abajo se puede observar una representación gráfica de las secciones perforadas en este pozo (Figura 4.3).

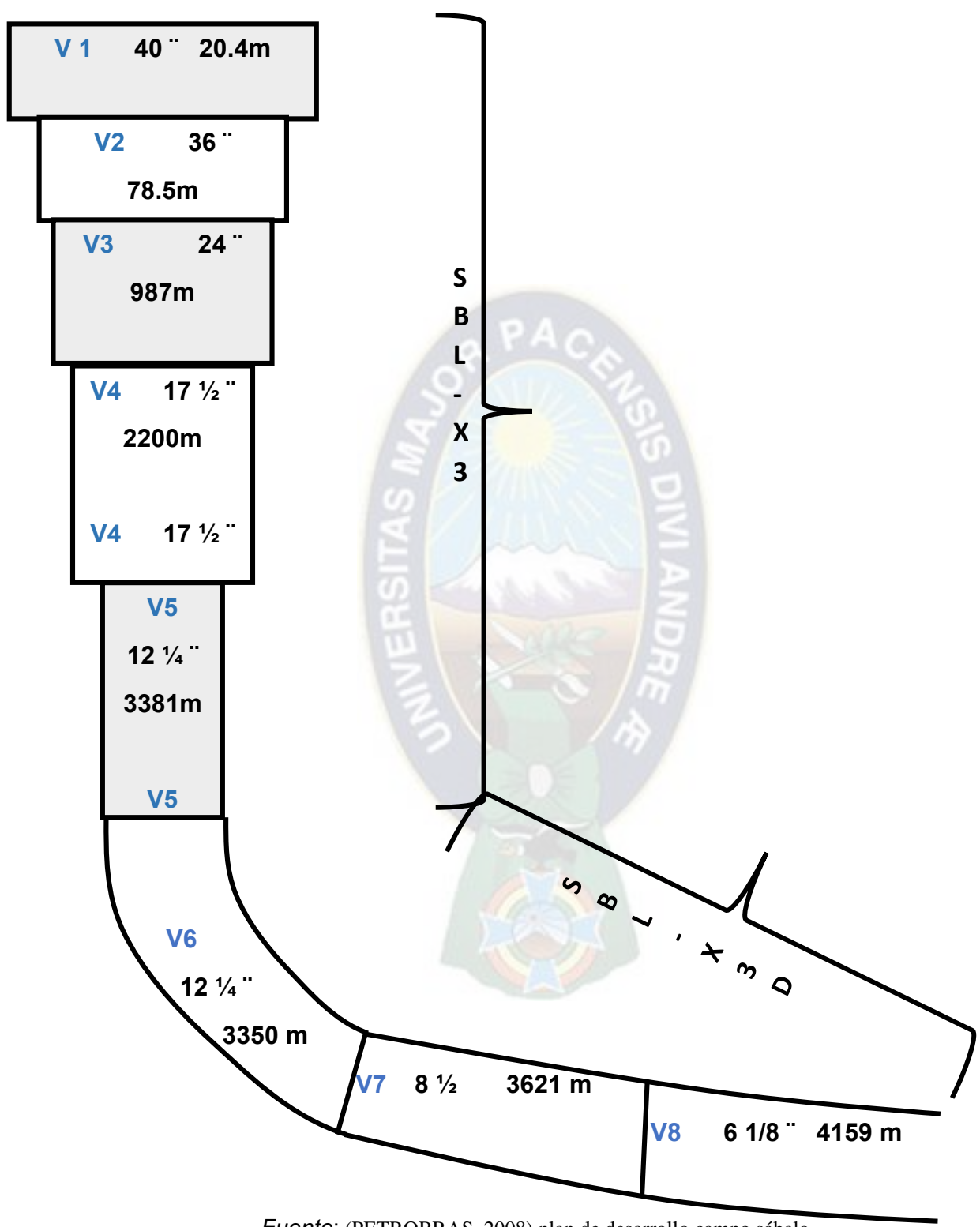
Tabla 4.3: Pozo SBL-X3 y SBL-X3D

Programado			Realizado			
Intervalo (m)	Diámetro Agujero (trepano)	Diámetro cañería (plg)	Perforado		Cañería	
			Intervalo (m)	Diámetro Agujero (trepano)(plg)	Longitud (m)	Diámetro cañería(plg)
			SBL-X3			
0-18		40	0.0-20.4	40	0.0-20.4	40
18-75	36	30	20.4-78.5	36	0.0-73.4	30
75-1270	24	20	78.5-987	24	0.0-983	20
1270-2200	17 1/2"	13 3/8	987-2200	17 1/2	0.0-2199	13 3/8
2200-3200	12 1/4"	9 5/8"	2200-3381*	12 1/4		
			SBL-X3D			
3200-4325	8 1/2	7 Liner				
3975-4780	6 1/8	5 Liner	3089-3350**	12 1/4	0.0-3347	9 5/8
			3350-3621	8 1/2	3236.66-3616	7 (liner)
			3621-4159	6 1/8	3585-4158	5 (liner)

Fuente: (PETROBRAS, 2008) plan de desarrollo campo sábalo

El campo sábalo X3 consta con 8 intervalos de perforación direccional las cuales son SBL-X3 y SBL-X3D

Figura 4.3: Representación de los intervalos de perforación SBL-X3



Fuente: (PETROBRAS, 2008) plan de desarrollo campo sábalo

SBL- X3

$$V_{1-SBL-X3} = \frac{(40)^2}{314} * (20.4) = 103.95 \text{ bbl}$$

$$V_{2-SBL-X3} = \frac{(36)^2}{314} * (78.5) = 324 \text{ bbl}$$

$$V_{3-SBL-X3} = \frac{(24)^2}{314} * (987) = 1810.55 \text{ bbl}$$

$$V_{4-SBL-X3} = \frac{\left(17\frac{1}{2}\right)^2}{314} * (2200) = 2145.70 \text{ bbl}$$

$$V_{5-SBL-X3} = \frac{\left(12\frac{1}{4}\right)^2}{314} * (3381) = 1615.80 \text{ bbl}$$

SBL-X3D

$$V_{6-BL-X3D} = \frac{\left(12\frac{1}{4}\right)^2}{314} * (3350) = 1600.99 \text{ bbl}$$

$$V_{7-BL-X3D} = \frac{\left(8\frac{1}{2}\right)^2}{314} * (3621) = 833.18 \text{ bbl}$$

$$V_{8-BL-X3D} = \frac{\left(6\frac{1}{8}\right)^2}{314} * (4159) = 496.90 \text{ bbl}$$

$$V_{T-BL-X3D + BL-X3D} = V_{1-SBL-X3} + V_{2-SBL-X3} + V_{3-SBL-X3} + V_{4-SBL-X3} + V_{5-SBL-X3} + \\ V_{6-BL-X3D} + V_{7-BL-X3D} + V_{8-BL-X3D}$$

$$V_{T-BL-X3D + BL-X3D} = 103.95 \text{ bbl} + 324 \text{ bbl} + 1810.55 \text{ bbl} + 2145.70 \text{ bbl} + 1615.80 \text{ bbl} + \\ 1600.99 \text{ bbl} + 833.18 \text{ bbl} + 496.90 \text{ bbl}$$

$$V_{T-BL-X3D + BL-X3D} = 8931.07 \text{ bbl}$$

El volumen total de ripios es igual a la suma de los 3 volúmenes de los pozos en estudio.

$$V_T = V_{T-SBL-X1} + V_{T-SBL-X2} + V_{T-BL-X3D + BL-X3D}$$

$$V_T = 6547.88 \text{ bbl} + 9735.38 \text{ bbl} + 8931.07 \text{ bbl}$$

$$V_T = 25214.33 \text{ bbl}$$

El volumen promedio se determina dividiendo el volumen total para los 3 pozos en estudio.

$$V_{P\text{-ripios}} = \frac{V_T}{3}$$

$$V_{P\text{-ripios}} = \frac{25214.33 \text{ bbl}}{3}$$

$$V_{P\text{-ripios}} = 8404.78 \text{ bbl}$$

Como se señala en la sección 3.2.2 el volumen de ripios esta entre 1.5 a 3 veces el volumen del hoyo. Para este caso se va considerar 2 veces el volumen del hoyo.

$$V_{P\text{-ripios}} = 8404.78 * 2 = 16809.56 \text{ bbl}$$

$$V_{P\text{-ripios}} = 16809.56 \text{ bbl}$$

El valor del volumen promedio por pozo es 16809.56 bbl. Para determinar el volumen total del proyecto de perforación de los nuevos pozos es: (se tomará como referencia 2 pozos de perforación)

$$V_{P\text{-proyecto}} = 16809.56 * 2 = 33619.12 \text{ bbl}$$

$$V_{P\text{-proyecto}} = 33619.12 \text{ bbl}$$

El volumen a tratar de ripios de perforación es de 33619.12 bbl por lo que se lo transformara a unidades del m³.

$$33619.12 \text{ bbl} * \frac{1 \text{ m}^3}{6.29 \text{ bbl}} = 5344.83 \text{ m}^3$$

$$V_{P\text{-proyecto}} = 5344.83 \text{ m}^3$$

4.3 Determinación de solidos a tratar mediante el fluido de perforación

Los volúmenes promedio de fluidos utilizados en cada sección de perforación de cada pozo son los siguientes.

$$V_{P-1} = \frac{V_{1-SBL.X1} + V_{1-SBL.X2} + V_{1-SBL.X3}}{3} = \frac{255.90 + 98.31 + 103.95}{3} = 152.72 \text{ bbl}$$

$$V_{P-2} = \frac{V_{2-SBL.X1} + V_{2-SBL.X2} + V_{2-SBL.X3}}{3} = \frac{1441.83 + 297.1 + 324}{3} = 687.64 \text{ bbl}$$

$$V_{P-3} = \frac{V_{3-SBL.X1} + V_{3-SBL.X2} + V_{3-SBL.X3}}{3} = \frac{2048.17 + 2371.87 + 1810.55}{3} = 2076.86 \text{ bbl}$$

$$V_{P-4} = \frac{V_{4-SBL.X1} + V_{4-SBL.X2} + V_{4-SBL.X3}}{3} = \frac{1495.84 + 2065.72 + 2145.70}{3} = 1902.42 \text{ bbl}$$

$$V_{P-5} = \frac{V_{5-SBL.X1} + V_{5-SBL.X2} + V_{5-SBL.X3}}{3} = \frac{775.31 + 1186.43 + 1615.80}{3} = 1192.51 \text{ bbl}$$

$$V_{P-6} = \frac{V_{6-SBL.X1} + V_{6-SBL.X2} + V_{6-SBL.X3}}{3} = \frac{530.83 + 2006.73 + 1600.99}{3} = 1379.52 \text{ bbl}$$

$$V_{P-7} = \frac{V_{7-SBL.X1} + V_{7-SBL.X2} + V_{7-SBL.X3}}{3} = \frac{0 + 1080.30 + 833.18}{3} = 637.83 \text{ bbl}$$

$$V_{P-8} = \frac{V_{8-SBL.X1} + V_{8-SBL.X2} + V_{8-SBL.X3}}{3} = \frac{0 + 628.92 + 496.90}{3} = 375.27 \text{ bbl}$$

El volumen promedio total es la sumatoria de los volúmenes promedio.

$$V_{P-T} = V_{P-1} + V_{P-2} + V_{P-3} + V_{P-4} + V_{P-5} + V_{P-6} + V_{P-7} + V_{P-8}$$

$$V_{P-T} = 8404.77 \text{ bbl}$$

Tal como se señala en una de las secciones de la parte teórica donde el volumen de líquido esta entre 3 a 30 veces el volumen del hoyo. Para este caso se considerará 11 veces el volumen del hoyo.

$$V_{T-LIQUIDO} = V_{P-T} * 11$$

$$V_{T-LIQUIDO} = 8404.77 \text{ bbl} * 11$$

$$V_{T-LIQUIDO} = 92452.47 \text{ bbl}$$

Se tiene un volumen de 92452.47 bbl de fluido de perforación para lo cual se requiere un volumen de dilución de 0.06 reduciendo el porcentaje de solidos indeseables y en consecuencia mejorar la calidad del fluido. (Luz Dary Munevar Ramirez, 2006)

$$V_D = V_{T-LIQUIDO} * 0.06$$

$$V_D = 92452.47 * 0.06$$

$$V_D = 5547.15 \text{ bbl}$$

Donde:

$$V_D = \text{Volumen de dilución (bbl)}$$

Para calcular la eficiencia del sistema de control de solidos es la siguiente ecuación:

$$E_{sc} = 100 - \left[\frac{V_D}{V_{P-T}} * 100 \right]$$

Donde:

$$V_D = \text{Volumen de dilución (bbl)}$$

$$V_{P-T} = \text{Volumen promedio total (bbl)}$$

$$E_{sc} = 100 - \left[\frac{5547.15}{8404.77} * 100 \right]$$

$$E_{sc} = 33.9 \%$$

La eficiencia de remoción de solidos se relaciona con los sólidos perforados y removidos del sistema de circulación. Con base al 33.9 % se puede cuantificar el control efectivo de sólidos.

$$V_{removido} = V_{T-LIQUIDO} * E_{sc}$$

$$V_{removido} = 92452.47 * 0.339$$

$$V_{removido} = 31341.39 \text{ bbl}$$

El volumen removido en el sistema de control de solidos es de 31341.39 barriles.

Para determinar el porcentaje de volúmenes de solidos se utiliza la densidad de lodo correspondiente a cada una de las etapas de perforación. La Tabla 4.4 muestra los datos de la densidad del agua y de sólidos de baja gravedad, donde se asumen como parámetros constantes. (Rocio Yamileth Garcia valladares, 2017)

Normalmente se asume que los sólidos de baja gravedad especifica tienen una densidad de 21.7 lb/gal (2.60 g/cm³) (Schlumberger, 2019)

Tabla 4.4: Densidades para componentes de lodo de perforación

Densidades	Valor	Unidades
Densidad de lodo	1.07	g/cm ³
Densidad del agua	1	g/cm ³
Densidad sólidos de baja gravedad	2.60	g/cm ³

Según (Rocio Yamileth Garcia valladares, 2017) la concentración de solidos se determina mediante:

$$\% V_{cs} = 100 * \left(\frac{\rho_{lodo} - \rho_{agua}}{\rho_{cs} - \rho_{agua}} \right)$$

Donde: ρ_{lodo} = Densidad de lodo o peso de lodo

ρ_{agua} = Densidad de agua

ρ_{cs} = Densidad de solidos de baja gravedad especifica

$$\begin{aligned} \% V_{cs} &= 100 * \left(\frac{1.07 - 1}{2.60 - 1} \right) = 4.38\% * 2600 \frac{kg}{m^3} \\ &= 113.75 \frac{kg}{m^3} \text{ concentración de sólidos de baja densidad en lodo} \end{aligned}$$

La concentración de bentonita se realiza a partir del volumen de sólidos de baja densidad y la capacidad de intercambio Catiónico (CEC) del lodo y de los solidos perforados lo que lleva a la prueba de azul de metileno (MBT)

Se considera que lo V_{cs} se componen solamente de sólidos perforados, bentonita y arcilla que se agregan al volumen de desarrollo de la perforación. La relación (F) es igual a 0.3 (CEC de solidos perforados entre la CEC de bentonita comercial). Para la bentonita comercial se presenta un MTB de $60 \frac{kg}{m^3}$ (Rocio Yamileth Garcia valladares, 2017)

$$Bentonita \frac{kg}{m^3} = \frac{MBT \frac{kg}{m^3} (F * V_{cs} \frac{kg}{m^3})}{1 - F}$$

$$Bentonita \frac{kg}{m^3} = \frac{60 \frac{kg}{m^3} - (0.3 * 113.75 \frac{kg}{m^3})}{1 - 0.3} = 36.96 \frac{kg}{m^3}$$

El volumen de arcilla se determina mediante la ecuación:

$$V_{cs} = V_{bentonita} + V_{arcilla}$$

$$V_{arcilla} = V_{cs} - V_{bentonita} = 113.75 \frac{kg}{m^3} - 39.96 \frac{kg}{m^3} = 73.79 \frac{kg}{m^3}$$

En la tabla 4.5 muestra los valores correspondientes a la cantidad de sólidos que es posible remover en cada una de las etapas de perforación.

Tabla 4.5: Cantidad de sólidos

Volumen de desechos a ser producidos	33619.12 bbl	5344.83 m3
Volumen total	8404.77 bbl	1336.25 m3
Solidos de baja densidad		4.38%
Concentración mínima de solidos de baja densidad		113.75 kg/m3
Bentonita		39.96 kg/m3
Arcilla		73.79 kg/m3

El área destinada para la biorremediación de desechos se basa en el volumen de desechos producidos.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El presente proyecto muestra una propuesta factible debido a que se formula una manera de cómo se resolver el problema presentado a la hora de disponer y tratar los desechos generados por perforar pozos.
- Se utilizó información necesaria y que estuvo al alcance de obtenerlo, en este caso se obtuvo la información de pozos perforados en el campo sábalo.
- Se realizó el cálculo respectivo de los volúmenes de recortes producidos por los pozos evaluados, los cuales tienen distintas profundidades de perforación.
- El volumen de ripios es aproximadamente 8404.77 bbl promedio y el volumen total para dos pozos (asumiendo que se haría esas perforaciones) es 16809.56 bbl.
- El método de tratamiento y disposición de ripios producidos por la perforación fue Biotratamiento y biorremediación.
- El landfarming es el método más apropiado de biorremediación, ya que es una tecnología de remediación biológica de los suelos contaminados, sólidos producidos de la perforación, lodos o material con características de suelo mediante la cual los microorganismos generan materiales inocuos para el ambiente,
- El proceso de biorremediación es muy importante para la degradación de hidrocarburos, se define como el proceso mediante el cual se crea en forma exponencial una superpoblación de bacterias nativas cuya finalidad es que consuman al hidrocarburo presente, en un tiempo relativamente corto, esta superpoblación de bacterias se conservan con vida durante el tiempo que requiera el trabajo por medio de condiciones óptimas como ser la oxigenación y el mantenimiento de un medio húmedo y un nivel de ph adecuado.
- Las contaminaciones por desechos de perforación pueden ser tratados y recuperados ecológicamente.

5.2 Recomendaciones

- Tratar de elaborar el proyecto con los datos más actualizados posibles.
- Prestar mayor atención a la normativa ambiental en el ámbito petrolero.

- Los manejos de los desechos sólidos de perforación deben ser manejados de la mejor manera dispuestos en lugares confinados para un tratamiento adecuado, su disposición final será hacia el ambiente sin causar mucho daño.
- Poner en práctica el tratamiento de biorremedación recomendada para así evitar problemas por contaminación a suelos y fuentes de agua.
- Estudiar alguna otra posibilidad de utilizar los rípios de perforación como fertilizante natural u otro.



Bibliografía

- Adrian, C. C. (2009). *Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana*. Lima - Peru.
- Alfaro, L. E. (Febrero de 2006). *Evaluación de la técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca, Estado Anzoátegui*. Obtenido de DOCPLAYER: <https://docplayer.es/93608018-Evaluacion-de-las-tecnicas-realizadas-por-el-centro-de-tratamiento-y-recuperacion-de-desechos-en-el-campo-hamaca-estado-anzoategui.html>
- Alfaro, L. E. (2006). *Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el Campo Hamaca, Estado Anzoátegui*. Venezuela.
- Arias, J. A. (2017). Contamination of soil and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD* , 1-158.
- Ariza, I. C., & Carrillo, I. S. (2017). Optimización del proceso de Landfarming para mejorar la funcionalidad del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante la adición de materia orgánica. *Scientific International Journal*, 1-4.
- Balanzá, J. C. (16 de enero de 2016). *youtube*. Obtenido de youtube: https://www.google.com/search?q=imagenes+torre+de+perforacion+petrolera+garzon+2016&client=firefox-b&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=0Y9LdT4jx4BiWM%253A%252C-jmYGUsUsJuYrM%252C_&usg=AI4_-kRUxdRG-w8DJSOYxn39EafkuzwuUQ&sa=X&ved=2ahUKEwiOoffw6ZvfAhUrW1kKHTuAD4
- Beltran, R. M. (2013). *GUÍA DE MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS*. Bogota.
- Borromei, C. D. (2017). Lodo Base Agua (OBM). *Insutec "Instituto Superior Tecnológico*.
- Briceño, L. N. (2015). La Biotecnología del petróleo: ama la vida. *Biotecnología*, 1-4.
- Carranza, V. E. (2014). *Disposición ambiental de los cortes de sólido asociados a la perforación de pozos petroleros aplicando la Re-inyección de cortes de perforación en el bloque 16 del oriente ecuatoriano*. Ecuador.
- COTO, J. R. (2013). BIOTECNOLOGIA Y BIORREMEDIACION. *Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología Viceministerio de ciencias y tecnología*, 1-30.
- *Diseño de perforación de pozos*. (s.f.).
- Energía, M. d. (2011). Campos Gasíferos y Petrolíferos de Bolivia. *Academia*, 1.
- EPA, ". U. (2001). Guía del ciudadano para la desorción Térmica. *Guía del ciudadano para la desorción Térmica*, 1.
- GAS, I. A. (2009). *Consideraciones ambientales para la construcción de locaciones y la gestión de lodos y recortes durante la perforación de pozos*.

- Geehan, T., Gilmour, A., & Guo, Q. (2003). Tecnología de avanzada en el manejo de residuos de perforación. *Oilfield Review*, 1 -15.
- Glossary, o. (2019). *Schlumberger*. Obtenido de Schlumberger: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/r/rig.aspx>
- Jesús, S. P. (2010). *Remediación del fluido de perforación optimizando la reducción de su impacto ambiental*. Lima - Peru.
- Kevin, G. h. (2017). *Tipos y características de tuberías para la elaboración de pozos petroleros*. Mexico.
- Leidy Johanna Gómez Ocampo, M. P. (s.f.). METODOS utilizados para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento en la industria del petróleo. 1-55.
- Luz Dary Munevar Ramirez, M. C. (2006). *Manual de procedimientos para el manejo de cortes y fluidos de perforación*. Bogota.
- Mafoda, G. F. (enero de 2000). *Manual De Seguridad Industrial En Operaciones de Landfarming*. Obtenido de estrucplan: <https://estrucplan.com.ar/articulos/manual-de-seguridad-industrial-en-operaciones-de-landfarming/#>
- MAROTO ARROYO, M. E. (2001). APLICACIÓN DE SISTEMAS DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS Y. *GEOCISA. Div. Protección Ambiental de Suelos.*, 297-305.
- MONTALUISA, E. P. (2018). *BIOTECNOLOGÍAS APLICADAS AL TRATAMIENTO Y REMEDIACIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN*. La Libertad - Ecuador.
- Naranjo, M. G. (2006). *Mantenimiento de torres de perforación petrolera*. Quito.
- Ortiz, P. R., Lárraga, J. E., Limas, E. d., Rodríguez, L. H., Requena, F. R., & Meza, B. I. (2018). BIOESTIMULACIÓN Y BIORREMEDIACIÓN DE RECORTES DE PERFORACIÓN CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS. 1-14.
- *PerfoBlogger*. (13 de septiembre de 2015). Obtenido de PerfoBlogger: <http://perfob.blogspot.com/2015/09/funciones-de-los-fluidos-de-perforacion.html>
- PETROBRAS. (2008). *Plan de desarrollo Campo Sabalo*. Bolivia.
- Pipatti, R., & Joao Wagner Silva Alves, Q. G. (2006). TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, 1 - 9.
- Puente, M. A., Ortiz, S. T., & Gutiérrez, R. T. (2004). Medidas de Mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre. *Instituto Mexicano del transporte*, 19.
- Robalino, J. S. (2017). *DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN DEL CAMPO AUCA*. Quito.
- Roberto Romero Silva(1), Y. D. (2013). BIOTRATAMIENTO A RIPIOS DE PERFORACIÓN DE LA ACTIVIDAD. *IV CONGRESO CUBANO DE PETROLEO Y GAS (PETROGAS´2013)*, 1-10.
- Rocio Yamileth Garcia valladares, R. Y. (2017). *Diseño preliminar de centrifugación y dewatering para lodos de perforación*. El Salvador.

- Saval, S. (1998). Situación actual y perspectivas de la Biorremediación de suelos y acuíferos en México. *Voces*.
- Schlumberger. (2019). *Oilfield Glossary - Sólidos de baja gravedad*. Obtenido de Oilfield Glossary: https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/l/low-gravity_solids.aspx
- Sepulveda, T. V., & Trejo, J. A. (2002). *Tecnologías de Remediación para suelos contaminados*. México D:F: Raúl Marcó del Pont Lalli.
- United Estatic, E. P. (2001). Guía para el ciudadano Sobre Solidificación/Estabilización. *Guía para el ciudadano sobre Solidificación/Estabilización*, 1-2.
- Villegas, R. M., Rivera, P. G., Herrera, J. I., & González, C. M. (2013). Manejo Integral de los Recortes de Perforación de la Industria Petrolera en Tabasco. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5.
- Williamson, D. (2013). Definición de Fluidos de Perforación. *oilfield review - Schlumberger*.
- YPFB. (16 de noviembre de 2012). Economía. *Primer pozo todavía se explota*, pág. 1.
- YPFB", Y. P. (2016). *Disposiciones ambientales para empresas que prestan servicios locación seca para proyectos de perforación de pozos exploratorios*.



**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-777/2020
La Paz, 30 de Septiembre del 2020**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 28 de Septiembre del 2020, por MARY CRUZ MOLLERICON TITIRICO, con C.I. N° 6766637 LP., con número de trámite DA 360/2020, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: "ESTUDIO TÉCNICO DE APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RIPIOS DE PERFORACIÓN, PARA REMEDIACIÓN AMBIENTAL - CAMPO SÁBALO", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO



Que, en observación al Artículo 4° del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 "el Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16° del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26° inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, en referencia a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios".

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No

son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial".

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

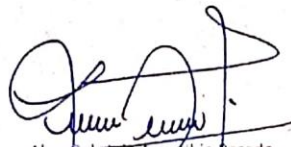
POR TANTO

La Directora de Derecho de Autor y Derechos Conexos, sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "ESTUDIO TÉCNICO DE APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RIPIOS DE PERFORACIÓN, PARA REMEDIACIÓN AMBIENTAL - CAMPO SÁBALO", a favor de la autora y titular: MARY CRUZ MOLLERICON TITIRICO, con C.I. N° 6766637 LP., quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abg. Gabriela Arancibia Peredo
**DIRECTORA DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

GAP/jjq
c.c.Arch.

Oficina central - La Paz
Av. Argentina, n.º 1594,
Edif. Arqueología María,
entre Villalobos y Díaz Romero,
zona Miraflores
Telf.: 2195000 - 2192076 - 2192591
Fax: 2192000

Oficina distrital - El Alto
Av. Juan Pablo II, n.º 2560,
Edif. Mulicentro El Cebo II Eda.,
piso 2, ofc. 14,
zona 16 de Julio
Telf.: 2960001

Oficina distrital - Cochabamba
Calle Chuquisaca, n.º 649,
piso 2, entre Arceana y Lanza,
zona Central - Noroeste
Telf.: 404000

Oficina distrital - Santa Cruz
Protección Quijarro,
Fvg. Giorgián, n.º 29
Edif. Bicentenario, 1er. Anillo
Telf.: 322752

Oficina distrital - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, n.º 366,
casi eta, Uriztagoitia
zona Parque Bolívar
Telf.: 72005875

Oficina distrital - Tarija
Calle Ingavi, n.º 156
entre Colón y Sulpaicha
Edif. Coronado, piso 2,
Ofic. 102, zona Central
Telf.: 72015186

Oficina distrital - Oruro
Calle 6 de Octubre, n.º 5817
entre Ayacucho y Luján,
Galería Central, ofc. 14 (ex. Banco F)
Telf.: 67201283