



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

***“EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS REALIZADAS POR EL
CENTRO DE TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE DESECHOS
EN EL CAMPO HAMACA, ESTADO ANZOÁTEGUI”***

**Realizado por:
Luis Emilio Veracierta Alfaro**

**Trabajo Especial de Grado Presentado Como Requisito Parcial Para Optar Al
Título De
INGENIERO DE PETROLEO**

MATURÍN, FEBRERO DE 2006



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS REALIZADAS POR EL CENTRO DE
TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE DESECHOS EN EL CAMPO
HAMACA, ESTADO ANZOÁTEGUI**

REALIZADO POR:

Luis Emilio Veracierta Alfaro

C.I.: 14.339.303

REVISADO POR:

Ing. René Díaz Baptista
Asesor Industrial

Ing. Juan Francisco Peraza
Asesor Académico

Ing. Noris Bello
Co-Asesor Académico

MATURÍN, FEBRERO DE 2006

RESOLUCIÓN

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO: “LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD, Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS PARA OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS REALIZADAS POR EL CENTRO DE TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE DESECHOS EN EL CAMPO HAMACA, ESTADO ANZOÁTEGUI

Luis E. Veracierta A.
C.I. 14.339.303

Asesor Académico: Ing. Juan F. Peraza
Co-Asesor Académico: Ing. Noris Bello
Asesor Industrial: Ing. Rene Díaz

RESUMEN

El siguiente proyecto permitió evaluar las técnicas utilizadas para el tratamiento de ripios y lodos de perforación de pozos petroleros llevados a cabo por el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos (CTRD) en el Campo Hamaca de Petrolera Ameriven S.A. Para ello se identificaron los aspectos ambientales asociados a las actividades del CTRD y se buscaron posibles impactos ambientales de dichas actividades tanto en agua, suelo y aire como en medios biológicos y socio-económicos. También se detallaron paso a paso los procedimientos para el tratamiento de ripios y lodos de perforación utilizados en el CTRD utilizando técnicas como esparcimiento (landspreading), escurrimiento/centrifugación (dewatering) y landfarming. Todas estas técnicas fueron llevadas a cabo por el CTRD cumpliendo con la normativa ambiental venezolana en sus decretos N° 883 “Normas para la Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos” y el Decreto N° 2.635 “Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos”.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
EL PROBLEMA	2
1.1.- Planteamiento Del Problema	2
1.2.- Objetivos De La Investigación	3
1.2.1.- Objetivo General.....	3
1.2.2.- Objetivos Específicos	3
1.3.- Justificación De La Investigación.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1.- Antecedentes De La Investigacion	5
2.2.- Ubicación Geográfica	6
2.3.- Bases Teóricas	7
2.3.1.- Origen Y Características De Los Desechos De Perforación.....	7
2.3.1.1.- Desechos Contaminados Con Lodos Base Agua.....	8
2.3.1.2.- Desechos Contaminados Con Lodos Base Aceite	8
2.3.2.- Composición Del Lodo De Perforación.....	9
2.3.3.- Tipos Básicos De Lodos De Perforación.....	9
2.3.3.1.- Lodos De Perforación En Base Agua	9
2.3.3.2.- Lodos De Perforación En Base Aceite	10
2.3.3.3.- Lodos De Perforación A Base De Aire O Gas.....	10
2.3.4.- Funciones Del Lodo De Perforación	10
2.3.4.1.- Remoción De Los Recortes Del Pozo	11
2.3.4.2.- Control De Las Presiones De La Formación	11
2.3.4.3.- Suspensión Y Descarga De Recortes.....	11
2.3.4.4.- Obturación De Las Formaciones Permeables.....	12
2.3.4.5.- Mantenimiento De La Estabilidad Del Agujero	12
2.3.4.6.- Minimización De Los Daños A La Formación.....	13
2.3.4.7.- Enfriamiento, Lubricación Y Sostenimiento De La Mecha De Perforación	13
2.3.5.- Técnicas Para Tratamientos De Ripios Y Fluidos De Perforación Para Su Disposición Final	13
2.3.5.1.- Técnicas De Biotratamiento.....	13
2.3.5.2.- Tratamiento Térmico	18

2.3.5.3.- Estabilización/Solidificación	21
2.3.5.4.- Dewatering.....	22
2.3.6.- Normativa Legal Ambiental Para El Tratamiento De Ripios Y Fluidos De Perforación	23
2.4.- Términos Básicos.....	26
CAPÍTULO III.....	27
MARCO METODOLÓGICO.....	27
3.1.- Nivel De Investigación.	27
3.2.- Diseño O Tipo De La Investigación.	28
3.3.- Población Y Muestra.	28
3.4.- Procedimiento Metodológico.....	29
3.4.1.- Revisión Bibliográfica.	29
3.4.2.- Identificación De Los Impactos Ambientales Que Pueden Originarse. ...	29
3.4.3.- Descripción De Los Procedimientos Llevados A Cabo Para El Manejo De Ripios Y Lodos De Perforación En El Centro De Tratamiento Y Recuperación De Desechos En El Campo Hamaca.	29
3.4.4.- Examinar La Condición De Ripios Y Lodos Para Su Disposición Final.	30
3.4.5.- Evaluación De Los Procedimientos Llevados A Cabo Por El Centro De Tratamiento Y Recuperación De Desechos Para El Manejo De Lodos Y Ripios De Perforación.	30
3.5.- Instrumentos Y Técnicas Para La Recolección De Información.....	30
3.6.- Recursos Necesarios.	31
3.7.- Cronograma De Actividades.....	32
CAPÍTULO IV	33
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	33
4.1.- Descripción Del Área Del Centro De Tratamiento Y Recuperación De Desechos	33
Punto	33
4.2.- Características Del Fluido De Perforación Utilizado En Los Pozos Del Campo Hamaca.....	34
4.3.- Identificación De Posibles Impactos Ambientales	36
4.3.1.- Impactos Sobre El Medio Físico.....	36
4.3.2.- Impactos Al Medio Biológico	40
4.3.3.- Impactos Al Medio Socio-Económicos:.....	41
4.4.- Procedimientos Llevados A Cabo Por El Centro De Tratamiento Y Recuperación De Desechos.....	41
4.4.1.- Procedimiento Para El Manejo De Ripios De Perforación.....	45
4.4.2.- Procedimiento Para El Manejo De Lodos De Perforación	48
4.4.3.- Procedimiento Para El Manejo De Aguas Provenientes Del Dewatering	50
4.4.4.- Procedimiento De La Técnica Landfarming Para El Tratamiento De Ripios Y Suelos Contaminados.....	51
4.5.- Monitoreo De Ripios En El Centro De Tratamiento Y Recuperación De Desechos.	64

CAPÍTULO V..... 73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 73
 Conclusiones 73
 Recomendaciones..... 74
BIBLIOGRAFÍA..... 75
ANEXOS 77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	6
Figura 2. Proceso de biodegradación	15
Figura 3. Proceso típico de Landfarming.....	16
Figura 4. Proceso de compostaje.....	17
Figura 5. Proceso de desorción térmica	19
Figura 6. Proceso de Incineración.....	20
Figura 7. Proceso de estabilización/solidificación	22
Figura 8. Esquema de distribución de celdas de tratamiento en el CTRD.....	44
Figura 9. Disposición de celdas para el mes de junio 2004	72

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Coordenadas UTM del CTRD.....	33
Tabla N° 2. Valores promedios de lixiviados tomados en el 2004.	37
Tabla N°3. Seguimiento de aguas subterráneas en el CTRD.	40
Tabla N° 4. Línea base y seguimientos de suelo en el CTRD.	65
Tabla N° 5. Resultados de la evaluación de ripios para el 05/04/2004.....	67
Tabla N° 6. Resultados de la evaluación de ripios para el 20/05/2004.....	67
Tabla N° 7. Resultados de la evaluación de ripios para el 01/06/2004.....	68
Tabla N° 8. Resultados de la evaluación de ripios para el 15/06/2004.....	69
Tabla N° 9. Resultados de la evaluación de ripios para el 23/06/2004.....	69
Tabla N° 10. Límites establecidos en el artículo 50 decreto N° 2.635.	71

INTRODUCCIÓN

A partir de 1999, Petróleos de Venezuela, ConocoPhillips y ChevronTexaco, se unen para constituir la empresa operadora Petrolera Ameriven, S.A., encargada de desarrollar el más joven de los cuatro convenios operativos de la Faja Petrolífera del Orinoco bajo el nombre de Proyecto Hamaca, cuya finalidad es extraer, transportar y mejorar 190 mil barriles diarios de crudo extrapesado de 8,5 grados API (American Petroleum Institute) y transformarlo en un crudo mejorado de 26 grados API para su posterior comercialización.

Entre las actividades relacionadas con la explotación del petróleo, se encuentra la perforación, actividad donde se genera una serie de desechos entre los cuales se encuentran los lodos y ripios de perforación, que debido a su composición química, no pueden ser dispuestos de manera arbitraria, ya que podrían ocasionar daños al medio ambiente y a corto, mediano o largo plazo traerían problemas tanto legales como económicos hacia la empresa.

De acuerdo a lo antes señalado, tanto lodos como ripios de perforación deben ser tratados a fin de que cumplan con parámetros establecidos para su disposición final en los Decretos N° 883 y Decreto N° 2.635 de la normativa ambiental venezolana. Estos una vez tratados pueden ser dispuestos para su reuso ya sea como material de mezcla de ripios sin tratar, para la construcción de nuevas macollas y rellenos de préstamos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los años 70, Petróleos de Venezuela; PDVSA, con fines de explotación, subdividió la faja del Orinoco en 4 regiones las cuales son Machete, Zuata, Hamaca y Cerro Negro. La región de Hamaca a su vez se subdividió en 25 bloques (denominados desde la A hasta la Y), de los cuales el Proyecto Hamaca abarca el bloque Huyapari (bloque H) y la parte norte del bloque Maquiritare (Bloque M).

La Faja Petrolífera del Orinoco; es una trampa estratigráfica de aproximadamente 600 km de largo por 70 km de ancho y se estima que contiene un aproximado de 1.2 trillones de barriles de crudo pesado y extrapesado.

La exploración, perforación, producción y transporte son actividades asociadas a la explotación de petróleo. Estas actividades generan una serie de desechos tales como, lodos, ripios, desechos domésticos e industriales, entre otros, que si no reciben el manejo, transporte, tratamiento y disposición adecuado pueden alterar de manera negativa el medio ambiente. Todo esto se logra con el desarrollo de procedimientos que permitan un mejor desempeño del trabajo con la meta de obtener eficiencia, calidad y economía en las actividades a realizar.

Entre las actividades realizadas por el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos de Petrolera Ameriven S.A., se encuentran las relacionadas con el tratamiento de ripios, lodos y efluentes provenientes de la perforación. La finalidad del tratamiento está orientada a que estos desechos cumplan con los parámetros establecidos por la normativa ambiental venezolana, específicamente en el Decreto

N° 2.635, contenido de las “Normas para el Control de La Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos” y el Decreto N° 883, referente a las “Normas para la Clasificación de la calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”.

Por tal razón, resalta la importancia de evaluar el manejo y tratamiento de lodos y ripios de perforación, así como también buscar posibles mejoras en las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos para el tratamiento de estos, que permitan cumplir con los parámetros establecidos en el Decreto N° 2.635 y N° 883 para la disposición final de los desechos, los cuales son reutilizados por Petrolera Ameriven, S.A. como material de mezcla de ripios llevados a tratamiento, relleno de préstamos y como material de construcción de bases y subbases de plataformas de macollas en el Campo Hamaca.

1.2.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1.- Objetivo General

- Evaluar las técnicas para el tratamiento de ripios y lodos de perforación realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el Campo Hamaca de Petrolera Ameriven, S.A., Estado Anzoátegui.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- Identificar los aspectos ambientales significativos asociados a los procesos y actividades realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos.
- Especificar los procedimientos para el manejo de lodos y ripios de perforación en el centro de tratamiento y recuperación de desechos.

- Examinar las condiciones de lodos y ripios de perforación para su disposición final.
- Evaluar los procedimientos para el manejo de ripios y lodos de perforación en el centro de tratamiento y recuperación de desechos.

1.3.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La generación de lodos y ripios de perforación representa el mayor volumen de desechos que se generan durante la actividad de perforación. Por ello se debe realizar un manejo ambientalmente adecuado para la disposición final de estos.

Actualmente, las empresas operadoras buscan que los desechos generados por la actividad de perforación sean controlados de manera segura al momento de disponerlos en el ambiente, de manera que a corto, mediano o largo plazo no ocasionen impacto ambiental negativo que le cause problemas legales y económicos a la empresa.

El estudio de los lodos y ripios de perforación se realizará con la finalidad de evaluar que se cumplan con los parámetros establecidos los Decretos N° 883 y N° 2.635 de la normativa ambiental venezolana, así como las condiciones y restricciones ambientales establecidas por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales para que puedan ser dispuestos como material de mezcla, construcción de bases y subbases para vías y macollas y recuperación de viejos préstamos en el Campo Hamaca.

Además se revisarán los procedimientos llevados a cabo por el centro de tratamiento y recuperación de desechos para el manejo de lodos y ripios de perforación, a fin de buscar posibles mejoras y documentarlos para política de Petrolera Ameriven, S.A.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos ha generado a nivel mundial, un problema de contaminación de los suelos y cuerpos de agua. Entre las más severas contaminaciones destacan las que se produjeron y todavía se producen a causa de la extracción y el manejo del petróleo en todos los países productores de hidrocarburos en América Latina; principalmente en Venezuela, Brasil, México, Argentina, y Ecuador.

Se han aplicado diversas técnicas, con variado índice de éxito para contrarrestar el efecto de la contaminación por hidrocarburos.

Martínez (2002), realizó una tesis en donde evaluó el impacto ambiental de la actividad petrolera en el área de producción Oritupano del estado Monagas. esta tesis estuvo orientada en conocer el desarrollo de la actividad petrolera en Oritupano y las consecuencias de esta sobre el agua, aire y suelo, así como, los medios biológicos y socio-económicos. Se propusieron lineamientos y acciones tomando en cuenta la normativa legal vigente.

Ramírez (2002), evaluó el manejo de rípios y efluentes provenientes de la perforación de pozos petroleros en los campos Kaki y Maulpa. La finalidad de este trabajo de investigación fue diseñar estrategias de ingeniería ambiental, para la aplicación de técnicas y/o procesos que minimicen o corrijan el daño ecológico que genera estos desechos durante las actividades de perforación de pozos.

2.2.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Faja Petrolífera del Orinoco ocupa la parte sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, se extiende desde las cercanías de Tucupita, en el estado Delta Amacuro, hasta las inmediaciones de la ciudad de Calabozo, en el estado Guárico. Cubre una zona de 600 km de largo con un promedio de 70 km de ancho, lo cual le da un área de 420.000 km² en los estados Monagas, Anzoátegui, Guárico y Delta Amacuro. Esta limita al norte con las áreas mayores de Temblador, Oficina y las Mercedes, al sur con el Río Orinoco, al este con la Región Deltana y al oeste con el extremo oriental de la Cuenca Barinas – Apure. Por razones operacionales la Faja fue separada en cuatro campos los cuales son Zuata, Hamaca, Cerro Negro y Machete.

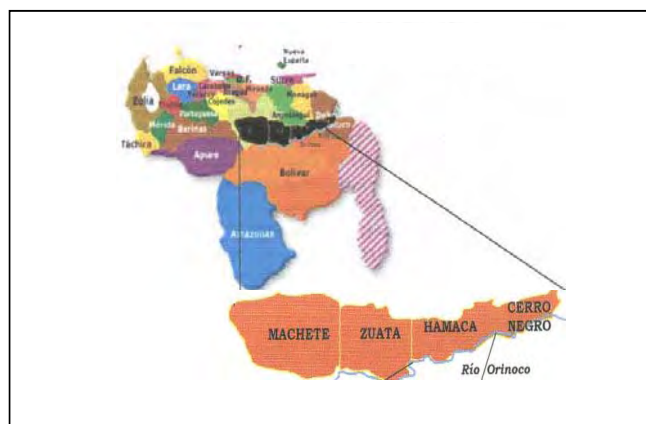


Figura 1. Ubicación geográfica de la Faja Petrolífera del Orinoco

El Campo Hamaca forma parte del flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela al sur del estado Anzoátegui. Ocupa la parte este central del Río Orinoco, y comprende una superficie aproximada de 11.300 km². Limita por el norte con las áreas tradicionales de crudo pesado de PDVSA Oriente: Yopales Sur, Miga, Melones,

Ostra, Oca, Oveja, Adas, Oritupano y Oleos; al sur con el Río Orinoco, por el este con el área de Cerro Negro y al oeste con el área de Zuata.

El área Hamaca esta dividida, por razones operativas, en 25 bloques o cuadrángulos, cada uno de los cuales esta identificado con una letra del abecedario que va de la A hasta Y, la cual representa la inicial de nombre de cada uno. Estos bloques, presentan aproximadamente un promedio de ocho (8) yacimientos superpuestos en una columna sedimentaria que va desde unos 2.000 hasta 5.000 pies de profundidad.

2.3.- BASES TEÓRICAS

2.3.1.- Origen y Características de los Desechos de Perforación

La actividad de perforación de pozos petroleros genera desechos líquidos y sólidos que por sus características física-químicas constituyen una fuente de contaminación para el ambiente en el cual se desarrollan.

Los desechos generados durante la actividad de perforación presentan dos fases, una líquida constituida por lodo de perforación y otra sólida, formada por los ripios de perforación. Los ripios adquieren muchas de las características del lodo y por ende constituyen un desecho de difícil manejo y disposición al medio ambiente. Adicionalmente, durante la perforación se generan volúmenes de aguas utilizadas en el lavado de equipo, bombas de lodo, enfriamiento de motores y otros equipos, agua de lluvia contaminada, etc.

El lodo de perforación, pasa a ser desecho una vez que culmina su vida útil, cuando se descarta por tasa de dilución diaria o por derrame en la localización.

Los desechos generados poseen características físico-químicas que se derivan básicamente del tipo de fluido de perforación utilizado; en Venezuela, en su mayoría, los lodos se clasifican en base agua y base aceite (invertido y 100% aceite) y los mismos son el principal contaminante de las aguas y los sólidos generados durante la perforación.

Las características de los desechos sólidos se miden según la calidad del lixiviado y su caracterización permite evaluar los contaminantes recibidos por el ambiente.

2.3.1.1.- Desechos Contaminados con Lodos Base Agua

Los desechos contaminados con los lodos base agua, como el Agua-Gel, son inocuos al ambiente, ya que sus características físico-químicas no superan los límites establecidos en las normas ambientales. En la mayoría de los casos estos fluidos son agua más bentonita y soda cáustica, en cuyo caso debe ser controlada, cloruros, unidades de pH y los sólidos totales en las aguas para descarga. Se caracterizan por ser de fácil manejo y económicos.

2.3.1.2.- Desechos Contaminados con Lodos Base Aceite

Este tipo de desecho corresponde a sólidos de formación impregnados de fluidos base aceite que posee entre sus características químicas un alto contenido de hidrocarburos y algunos metales pesados como: plomo, cadmio, níquel, etc. En los efluentes líquidos el contenido de aceite, grasa e hidrocarburos queda, en su mayoría, en forma flotante por no ser líquidos miscibles en agua. De igual modo, la materia orgánica le aporta al efluente niveles elevados en la demanda química y bioquímica de oxígeno.

Los fluidos a base aceite son los de mayor cuidado debido al impacto ambiental que ellos generan.

2.3.2.- Composición del Lodo de Perforación

La composición del lodo de perforación usado en un pozo, es determinada por las condiciones del fondo del pozo y el tipo de formación que se va a perforar. Debe hacerse un análisis puesto que hay dos factores que complican la decisión de la selección. Estos factores son:

- Baja viscosidad y poco peso en el lodo de perforación, con esto se logra una mayor tasa de penetración.
- Alta viscosidad y mucho peso en el lodo de perforación sirven para controlar mejor los efectos de ciertos parámetros en el fondo del pozo; tales como entrada de fluido de alta presión dentro del hueco conocida como arremetida. Estos efectos pueden causar desastres como el caso de un reventón.

2.3.3.- Tipos Básicos de Lodos de Perforación

Existen tres tipos básicos de lodos de perforación, los cuales son:

2.3.3.1.- Lodos de perforación en base agua

Los lodos de perforación más utilizados son los de base agua. Este fluido está compuesto de varias combinaciones y cantidades de agua fresca o salada, bentonita y aditivos químicos, que se determinan por las condiciones del fondo del pozo. Las reglas generales de operación son:

- a. Operaciones superficiales:** se usa mucho agua, lodo natural y pocos aditivos químicos.
- b. Operaciones de perforación en formaciones duras:** cuando se perfora formaciones duras de baja porosidad, se usa lodo liviano y de poco peso como fluido de perforación.
- c. Operaciones de perforación en formaciones blandas de alta porosidad y alta presión:** estas formaciones se perforan con lodo pesado o denso como fluido de perforación.

Los lodos en base agua son los más comunes, de mayor uso en la perforación ya que son más económicos de mantener, fácil para usar y forma costra para proteger el hueco, además no contamina las formaciones.

2.3.3.2.- Lodos de perforación en base aceite

Estos lodos son caros y costosos de mantener, pero no son afectados por las formaciones sensibles al agua, además minimizan la corrosión en la sarta de perforación. Estos si no son bien manejados pueden causar daños al ambiente.

2.3.3.3.- Lodos de perforación a base de aire o gas

Son pocos utilizados. La ventaja principal de este tipo de fluido es el incremento en la rata de penetración, además utiliza compresores, requieren menos espacio y equipo.

2.3.4.- Funciones del Lodo de Perforación

Las funciones del lodo de perforación describen las tareas que el fluido de perforación es capaz de realizar, aunque algunas de estas no sean esenciales en cada

pozo. La remoción de los recortes del pozo y el control de las presiones de formación son funciones sumamente importantes (Manual M-I SWACO, 2000). Aunque el orden de importancia sea determinado por las condiciones del pozo y las operaciones en curso, las funciones más comunes del fluido de perforación son las siguientes:

2.3.4.1.- Remoción de los recortes del pozo

Los recortes de perforación deben ser retirados del pozo a medida que son generados por la mecha. Para esto, se hace circular un fluido de perforación dentro de la columna de perforación y a través de la barrena, el cual arrastra y transporta los recortes hacia la superficie, subiendo por el espacio anular. La remoción de los recortes depende del tamaño, forma y densidad de los recortes, unidos a la velocidad de penetración (ROP); de la rotación de la columna de perforación; y de la viscosidad, densidad y velocidad anular del fluido de perforación.

2.3.4.2.- Control de las presiones de la formación

Típicamente, a medida que la presión de la formación aumenta, se aumenta la densidad del fluido de perforación para equilibrar las presiones y mantener la estabilidad del agujero. Esto impide que los fluidos de la formación fluyan hacia el pozo y causen un reventón.

2.3.4.3.- Suspensión y descarga de recortes

Los lodos de perforación deben suspender los recortes de perforación, los materiales densificantes y los aditivos bajo una amplia variedad de condiciones, sin embargo deben permitir la remoción de los recortes por el equipo de control de sólidos. Los recortes de perforación que se sedimentan durante condiciones estáticas pueden causar puentes y rellenos, los cuales por su parte, pueden producir el

atascamiento de la tubería o la pérdida de circulación. El material densificante que se sedimenta constituye un asentamiento y causa grandes variaciones de la densidad del fluido del pozo. El asentamiento ocurre con mayor frecuencia bajo condiciones dinámicas en los pozos de alto ángulo donde el fluido está circulando a bajas velocidades anulares.

2.3.4.4.- Obturación de las formaciones permeables

La permeabilidad se refiere a la capacidad de los fluidos de pasar a través de formaciones porosas; las formaciones deben ser permeables para que los hidrocarburos puedan ser producidos. Cuando la presión de la columna de lodo es más alta que la presión de la formación, el filtrado invade la formación y un revoque se deposita en la pared del pozo. Los sistemas de fluido de perforación deberían estar diseñados para depositar sobre la formación un delgado revoque de baja permeabilidad con el fin de limitar la invasión de filtrado. Esto mejora la estabilidad del pozo y evita numerosos problemas de perforación y producción tales como, condiciones de pozo reducido, registros de mala calidad, mayor torque y arrastre, tuberías atascadas, pérdidas de circulación y daños a la formación.

2.3.4.5.- Mantenimiento de la estabilidad del agujero

La estabilidad del pozo constituye un equilibrio complejo de factores mecánicos (presión y esfuerzo) y químicos. La composición química y las propiedades del lodo deben combinarse para proporcionar un pozo estable hasta que se pueda introducir y cementar la tubería de revestimiento. Independientemente de la composición química del fluido y otros factores, el peso del lodo debe estar comprendido dentro del intervalo necesario para equilibrar las fuerzas mecánicas que actúan sobre el pozo.

2.3.4.6.- Minimización de los daños a la formación

La protección del yacimiento contra daños que podrían perjudicar la producción es muy importante. Cualquier reducción de la porosidad o permeabilidad natural de una formación productiva es considerada como daño a la formación. Estos daños pueden producirse por la obturación causada por el lodo o sólidos de perforación, o de las interacciones químicas y mecánicas con la formación. El daño a la formación es generalmente indicado por un valor de daño superficial o por la caída de presión que ocurre mientras el pozo está produciendo.

2.3.4.7.- Enfriamiento, lubricación y sostenimiento de la mecha de perforación

Las fuerzas mecánicas e hidráulicas generan una cantidad considerable de calor por fricción en la barrena y en las zonas donde la sarta de perforación roza contra la tubería de revestimiento y el pozo. La circulación del fluido de perforación enfría la barrena y la sarta de perforación. Además de enfriar, el fluido de perforación lubrica la sarta de perforación, reduciendo aún más el calor por fricción. Las barrenas, los motores de fondo y los componentes de la sarta de perforación fallarían más rápidamente si no fuera por los efectos refrigerantes y lubricantes del fluido de perforación.

2.3.5.- Técnicas para Tratamientos de Ripios y Fluidos de Perforación para su Disposición Final

2.3.5.1.- Técnicas de Biotratamiento

La biodegradación es la descomposición de una sustancia orgánica, como el petróleo, por acción de organismos vivos, generalmente microorganismos y

especialmente bacterias. Algunas sustancias se biodegradan más rápida y completamente que otras. (Ver figura 2).

La biodegradación final resulta en un compuesto que se convierte en agua y dióxido de carbono. Algunas sustancias pueden degradarse en moléculas intermedias más pequeñas. Esto es lo que se llama degradación primaria. Generalmente, estas moléculas son productos intermedios en el proceso de biodegradación final, pero en algunos casos, pueden ser más persistentes o más tóxicas que el contaminante original.

La biodegradación puede ocurrir en condiciones tanto aeróbicas (con oxígeno) como anaeróbicas (sin oxígeno). Si el contaminante se encuentra bien disperso en el agua, generalmente hay más oxígeno disponible para la biodegradación aeróbica. El lodo a base de agua se dispersa más fácilmente pues es soluble en agua. Los recortes con petróleo no se dispersan tan bien, y tienden a establecerse en una pequeña área del lecho marino cerca del equipo de perforación. Esta alta concentración de material orgánico puede resultar en la generación de condiciones anaeróbicas cuando la rápida actividad bacteriana consume el oxígeno disponible en un área.

Maroto y Rogel (2000), señalan que las técnicas 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.

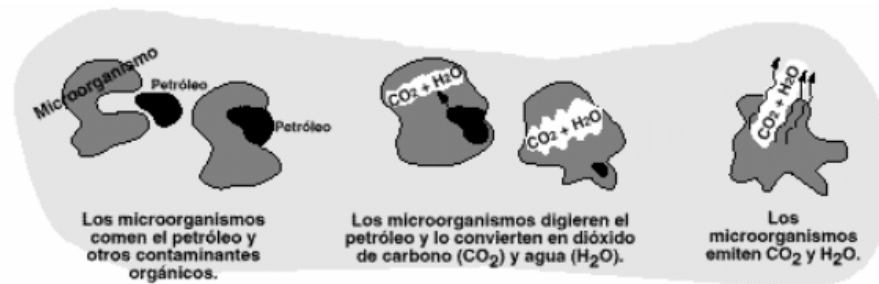


Figura 2. Proceso de biodegradación

A continuación se describen algunas 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 material con características de suelo mediante la cual los microorganismos generan materiales inocuos para el ambiente, o subproductos estabilizados que no representan peligro (Farache, 2004). El fundamento técnico del Landfarming se basa en la degradación de fracciones livianas de hidrocarburos, por comunidades bacterianas.

Durante la operación de Landfarming los materiales contaminados son esparcidos en una superficie de suelo, o son extraídos del lugar y apilados sobre una superficie impermeable para evitar contaminación de las capas de suelo o aguas que se encuentran por debajo (ver figura 3). Las poblaciones de microorganismos naturales del suelo (bacterias, hongos, protozoarios) crecen en el material usando el contaminante como fuente de alimento, transformándolo en productos inocuos. La marcha del proceso se estimula, monitorea y controla mediante los siguientes parámetros:

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

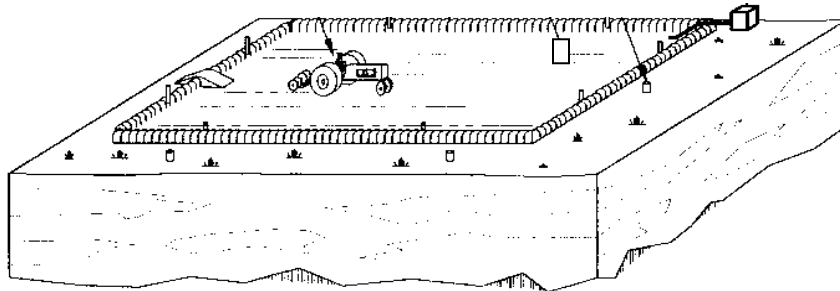


Figura 3. Proceso típico de Landfarming

b. Compostaje

El compostaje o composting, es un 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 puede ser tanto aerobio como anaerobio, dando

lugar un producto estable llamado “compost”. El “compost” se compone de restos orgánicos, microorganismos, oxígeno y agua. (Ver figura 4).

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

- Temperatura.
- Humedad.
- pH.
- Oxígeno.
- Relación C/N equilibrada.
- Población microbiana.



Figura 4. Proceso de compostaje

c. Esparcimiento (Landspreading)

Este método consiste en el esparcimiento e incorporación del lodo en base agua en la capa arable. El esparcimiento se realiza mediante un sistema aspersor y luego se le da un tratamiento igual al Landfarming.

2.3.5.2.- Tratamiento Térmico

a. Desorción Térmica

La desorción térmica es una técnica utilizada para tratar la tierra contaminada con desechos peligrosos calentándola a una temperatura de 90°C a 540°C a fin de que los contaminantes con un punto de ebullición bajo se vaporicen (se conviertan en gases) y, por consiguiente, se separen de la tierra (EPA, 1996). Los contaminantes vaporizados se recogen y se tratan, generalmente con un sistema de tratamiento de emisiones. (Ver figura 5).

La desorción térmica es más eficaz en remover hidrocarburos livianos, aromáticos y otros compuestos volátiles que los hidrocarburos pesados. Cuando el limo y la arcilla se calientan, emiten polvo, que pueden perturbar el equipo para emisiones que se usa para tratar los contaminantes vaporizados. Además si el suelo es muy compacto, el calor a menudo no llega a entrar en contacto con todos los contaminantes, de modo que es difícil que se evaporicen.

La desorción térmica no es buena opción para tratar contaminantes 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.

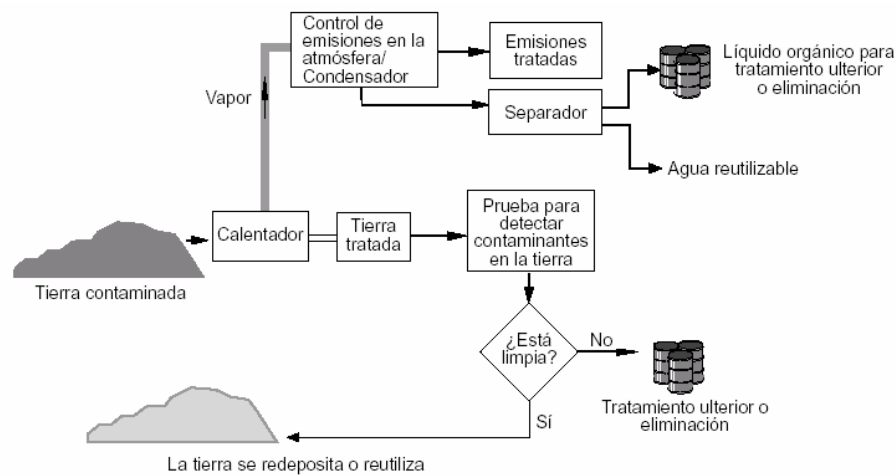


Figura 5. Proceso de desorción térmica

b. Incineración

La incineración es el proceso por el cual se queman materiales peligrosos a fin de destruir contaminantes 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, solventes y plaguicidas, no destruye metales.

Un incinerador es un tipo de 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 un incinerador en camiones.

Se introduce el material contaminado en el 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. Gracias a la llama, los gases alcanzan una temperatura lo suficientemente elevada 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 al aire a través de una chimenea. (Ver figura 6).

El suelo o la ceniza remanente después de la incineración se puede eliminar en un vertedero o enterrar en el sitio. La cantidad de material que requiere eliminación es muy inferior a la cantidad inicial de material contaminado.

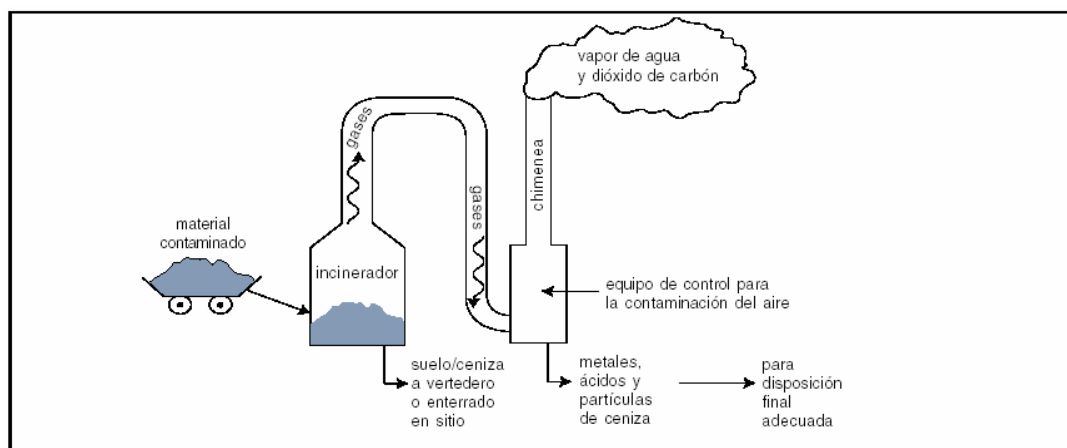


Figura 6. Proceso de Incineración

La incineración puede destruir algunos tipos de contaminantes que otros métodos no pueden. Por otra parte, toma menos tiempo que muchos otros métodos, lo cual es importante cuando se necesita limpiar un sitio en forma rápida a fin de evitar

daños a personas o al medio ambiente. La incineración *in situ* puede reducir la cantidad de material que deba trasladarse a un vertedero.

2.3.5.3.- Estabilización/Solidificación

Es una técnica que consiste en mezclar los ripios en base agua o aceite con aditivos estabilizantes que permiten formar una matriz sólida, donde quedan atrapados los componentes del ripio evitando la lixiviación de aceites y sales presentes, a través de una reacción química irreversible generada por el reactivo de este proceso luego de mezclarlo con el desecho. La finalidad de este proceso es inmovilizar los contaminantes, ya sea por medio físico (encapsulamiento) o químico (alteración química de los contaminantes). (Ver figura 7).

La solidificación consiste en mezclar suelo contaminado con una sustancia como el cemento, que provoca el endurecimiento del suelo. La mezcla forma un sólido que puede dejarse en el lugar o transportarse a otro sitio. El proceso de solidificación impide que el químico se disperse en el ambiente circundante. El agua de lluvia no puede disolver los químicos al atravesar los suelos o lodo tratado. La solidificación no elimina los químicos nocivos, si no que los atrapa en el lugar (Guía para el Ciudadano sobre Solidificación/Estabilización, 2003).

La estabilización convierte a los químicos nocivos en sustancias menos dañinas o menos móviles. Por ejemplo, el suelo contaminado con metales puede mezclarse con cal o cemento. Estos materiales de limpieza reaccionan con los metales para formar compuestos metálicos menos solubles. Estos compuestos metálicos no se mueven a través del suelo ni salen de él con tanta facilidad (Guía para el Ciudadano sobre Solidificación/Estabilización, 2003).

En algunas circunstancias los métodos de solidificación/estabilización pueden requerir que el suelo sea excavado. A veces, el suelo o lodo contaminado se extrae y coloca en grandes mezcladoras en la superficie. La mezcladora combina el suelo o lodo con los materiales de tratamiento, como cemento y cal. Entonces, el suelo o lodo tratado pueden ser colocados nuevamente en el sitio o depositados en un vertedero controlado.

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



Figura 7. Proceso de estabilización/solidificación

2.3.5.4.- 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.

2.3.6.- Normativa Legal Ambiental para el Tratamiento de Ripios y Fluidos de Perforación

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (M.A.R.N.), fue creado en 1977, y tiene como objetivo principal garantizar el racional aprovechamiento de los recursos naturales mediante su administración sistemática y el mejoramiento del ambiente y de la calidad de vida para lo cual utiliza mecanismos que le permiten ejercer la vigilancia, supervisión y control sobre la utilización y el deterioro de los recursos para los cuales el M.A.R.N. haya otorgado autorización de intervención o afectación.

Para este control se basa en leyes y decretos, entre los cuales tenemos:

a. “Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos” (1998)

El objetivo de este decreto es regular la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos, cuando ambos presenten características, composición o condiciones que puedan poner en peligro y representen un riesgo para la salud y el ambiente. Este decreto busca dar orientación en cómo manejar la generación, el transporte y la disposición o tratamiento de desechos peligrosos. Estos estándares tienen la finalidad de reducir la generación de desechos, desarrollar el reciclaje, reutilización y mejor uso de los materiales peligrosos en la forma de materiales peligrosos recuperables, y de gobernar el tratamiento y disposición final, cumpliendo con los estándares de seguridad para evitar el poner en peligro a la salud humana o al ambiente.

Además, este decreto en su capítulo III contiene normas específicas que regulan el manejo de los desechos peligrosos que resultan de las operaciones de exploración y producción de petróleo. El objetivo de estas normas es establecer los estándares para el manejo de dichos desechos y las condiciones para su disposición. Una de las soluciones que busca este decreto, es disponer estos desechos en el área donde son generados o en áreas cercanas, dada la gran cantidad de desecho que se maneja.

b. “Normas para la Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos” (1995)

Este decreto tiene como objetivo principal controlar la calidad de los cuerpos de agua, tomando en consideración sus usos actuales y potenciales. Para lograr este objetivo, el decreto establece límites de efluentes y obliga a la creación de planes de calidad para cada uno de los cuerpos de agua, estableciendo prioridades dependiendo de los problemas de cada uno.

c. Ley Penal del Ambiente

Fue creada en enero de 1992, complementa a la Ley Orgánica del Ambiente y su objetivo principal es determinar que se debe considerar como delitos ambientales; generalmente definidos como acciones que violan las reglas establecidas para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, y establece penalidades criminales para esos delitos. Bajo esta ley, es posible sancionar crímenes ocasionados por unas conductas de negligencia o imprudencia. Aunque las penalidades estipuladas para estas circunstancias serán reducidas a un tercio o la mitad de las penas normales aplicables a los crímenes cometidos con intención. La ley también crea un sistema de medidas para la restitución y reparación, con la finalidad de minimizar el daño ambiental.

d. Ley Orgánica del Ambiente

Esta fue la primera ley creada en Venezuela, en junio de 1976, con el propósito de proteger al ambiente. Cualquier actividad que pueda causar algún daño al ambiente, está sujeta a control gubernamental, a través del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. El objetivo principal de esta ley es establecer los principios generales para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente para el beneficio de la calidad de vida. Esta ley ha sido creada para:

- Establecer lineamientos para la administración y manejo de las actividades capaces de dañar el ambiente.
- Crear agencias nacionales de protección ambiental.
- Definir violaciones y penalidades.

e. Ley sobre Sustancias, Materiales o Desechos Peligrosos

La Ley N° 55 o Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos tiene como objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre, con el fin de proteger la salud y el ambiente. También son objeto de regulación por esta ley, aquellas sustancias y materiales peligrosos y otros similares que vayan a ser utilizados con fines agrícolas, industrial, de investigación científica, educación, producción u otros fines.

Esta ley establece las disposiciones que regirán:

- El uso y manejo de las sustancias, materiales y desechos peligrosos.

- El transporte y almacenamiento de las sustancias, materiales o desechos peligrosos.
- El control de las actividades que utilicen o generen sustancias, materiales y desechos peligrosos.
- Las sanciones aplicables por incumplimiento.

2.4.- TÉRMINOS BÁSICOS

Lixiviados: Solución que resulta del transporte de agua por los poros y fisuras del suelo u otro medio sólido poroso y las interacciones fisico-químicas de esta agua con los componentes minerales y orgánicos del suelo.

Lodos de perforación: es una mezcla líquida que se circula dentro del pozo el cual ayuda a la mecha en la perforación y control del mismo. El fluido de perforación es comúnmente llamado lodo de perforación.

Ripios de perforación: también llamados recortes de perforación. Son fragmentos del subsuelo generados por la mecha al momento de perforar.

Ripios Petrolizados: Son aquellos que provienen de las arenas productoras por lo cual están impregnados de crudo. Se originan de las perforaciones en las secciones intermedias y horizontales.

Ripios no Petrolizados: Son aquellos que en su composición no presentan rastros de crudo. Estos son generados durante la perforación de la sección superficial del pozo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1.- NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación para esta tesis es de tipo descriptiva, se realizó una observación detallada de los procedimientos llevados a cabo por el centro de tratamiento y recuperación de desechos para el manejo de fluidos y ripsos de perforación, así como la evaluación de estos para su disposición final.

Según Hernández (2000), los estudios descriptivos miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es recolectar datos. Esto es, en un estudio descriptivo se seleccionó una serie de cuestiones y se midió o recolectó información sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investigó.

Los estudios descriptivos pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables a los que se refieren. Desde luego, pueden integrar las mediciones o información de cada una de dichas variables o conceptos para decir como es y cómo se manifiesta el fenómeno de interés; su objetivo no es indicar como se relacionan las variables medidas.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

3.2.- DISEÑO O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no existe manipulación deliberada de las variables independientes y los fenómenos se observaron tal y como ocurren en la realidad, para ser analizados después. Los objetos se observaron en su ambiente natural, se observaron situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente, unido a esto el investigador no tiene control directo sobre dichas variables, no puede influir sobre ellos, porque ya sucedieron.

Se define la investigación no experimental como aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de investigación donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

3.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA.

Para el estudio de los ripsos y lodos de perforación, la población usada utilizada fue dada por los pozos pertenecientes al Campo Hamaca, y la muestra fueron los pozos que se perforaron durante el estudio y el volumen de ripsos y lodos de perforación que estos generaron durante el tiempo de estudio.

Sampieri (2000), categoriza las muestras en dos grandes ramas: las muestras no probabilísticas y las muestras probabilísticas. En estas últimas todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos; en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no dependen de la probabilidad, si no de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra.

3.4.- PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos de este trabajo de investigación, se realizó el siguiente procedimiento:

3.4.1.- Revisión bibliográfica.

En esta etapa se revisaron los libros e informes referentes al Campo Hamaca. Así como también, información sobre tratamientos para lodos y ripios de perforación para su recuperación como parámetros y normas que se deben cumplir para su disposición final.

3.4.2.- Identificación de los impactos ambientales que pueden originarse.

Se revisó todo tipo de información (libros, documentos, informes, etc), que permitió identificar que posibles daños al ambiente que se pueden generar si no se cumplen con las normas y parámetros establecidos para la disposición final de ripios y lodos de perforación. Al igual datos y registros sobre las características del suelo que brinden información para saber que tan susceptibles son estos para la disposición final de lodos y ripios de perforación.

3.4.3.- Descripción de los procedimientos llevados a cabo para el manejo de ripios y lodos de perforación en el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos en el Campo Hamaca.

En dicha descripción se observó y anotó el procedimiento llevado a cabo por el centro de tratamiento y recuperación de desechos para el manejo de los lodos y ripios provenientes del taladro desde el momento de su recepción, tratamiento y disposición final.

3.4.4.- Examinar la condición de ripios y lodos para su disposición final.

Se caracterizó los lodos y ripios de perforación para evaluar si cumplen con los parámetros reglamentados en la norma para su disposición final, tomando como referencia para su evaluación, los límites establecidos en el decreto N° 2.635 contentivo de las normas para el control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos peligrosos y el decreto N° 883 contentivo de las normas para la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

3.4.5.- Evaluación de los procedimientos llevados a cabo por el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos para el manejo de lodos y ripios de perforación.

Una vez observados y detallado los procedimientos se buscaron posibles mejoras en estos que permitan el desempeño de una mejor actividad, donde se maximizan los recursos y se minimizan los costos.

3.5.- INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Las técnicas utilizadas en el desarrollo de esta evaluación fueron las siguientes:

Información de datos primarios: esta es suministrada por toda documentación del contacto directo con el campo y con la realidad.

Información de datos secundarios: está relacionada con toda la documentación referente a lodos y ripios de perforación, tratamientos de desechos, disposición final reglamentaria.

3.6.- RECURSOS NECESARIOS.

Entre los recursos usados en la realización de este proyecto fueron:

- **Recursos humanos:** Se contó con la ayuda técnica y operacional del personal especializado que labora en la empresa Petrolera Ameriven, S.A., además del personal que trabaja en las empresas contratistas. De igual manera se dispone de la orientación de profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas y la valiosa colaboración de Asesores Académico e Industrial.
- **Recursos financieros:** Las actividades asociadas en la realización de esta investigación contó con el financiamiento económico de la empresa Petrolera Ameriven, S.A.
- **Recursos materiales:** Entre los recursos que se utilizaron para llevar a cabo esta investigación se tienen; equipos de oficina tales como: impresoras, computadoras, fotocopadoras, escáner y material de oficina. Además, se contó con bibliografía relacionada a datos de perforación, registros geológicos, así como de manuales facilitados por las diversas empresas contratistas de Petrolera Ameriven, S.A.
- **Recursos Tecnológicos:** La empresa Petrolera Ameriven, S.A. ofreció apoyo tecnológico mediante la disposición de un computador personal provisto de conexión de red interna de la empresa (Intranet), Microsoft Windows 2000 Professional y Microsoft Office 2000, hoja de cálculo Excel, Word y Power Point. Además se contó con el servicio de Internet para la búsqueda de información relacionada a esta investigación.

- **Recursos Institucionales:** Se contó con material bibliográfico suministrado por la Biblioteca de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas.

3.7.- CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Cuadro N° 1. Cronograma de actividades año 2004.

Mes	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Revisión bibliográfica							
Monitoreo de rípios							
Monitoreo de lodos							
Recolección de datos							
Revisión de datos							
Resultados y conclusiones							
Presentación final							

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL CENTRO DE TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE DESECHOS

Con referencia al proyecto HAMACA, el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos (CTRD) está ubicado, al norte del bloque H y al sur del bloque BARE de PDVSA. En esta área se encuentra instalada la antigua localización de PDVSA, MFH-17. En la tabla N° 1, se pueden ver los valores de coordenadas del CTRD.

Tabla N° 1. Coordenadas UTM del CTRD

PUNTO	NORTE	ESTE
E ₁	937.406,2	378.346,9
E ₂	937.390,8	378.350,4
E ₃	937.577,1	378.929,5
E ₄	937.751,9	378.788,8
E ₅	937.790,7	378.710,1
E ₆	937.942,3	378.555,5
E ₇	937.836,4	378.710,1
E ₈	937.758,7	378.974,7
E ₉	937.474,8	378.115,8
E ₁₀	937.474,9	378.271,9
E ₁	937.406,2	378.346,9

Fuente: Estudio Ambiental Instalación y Operación. Centro de Tratamiento y recuperación de Desechos. Proyecto Hamaca. MFH-17.

Al Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos llegan ripios y lodos provenientes de la perforación con la finalidad de ser tratados cumpliendo con las normas establecidas en el decreto N° 2.635 y decreto N° 883 para darles la disposición final más conveniente.

La distribución de las celdas para el tratamiento de ripios de perforación a fin de que cumplan con las normas del decreto N° 2.635, se pueden apreciar en la figura 8, además del área para Landfarming y la plataforma donde se ubican los tanques, equipos, campamento, etc. en el CTRD.

4.2.- CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN UTILIZADO EN LOS POZOS DEL CAMPO HAMACA

El fluido de perforación utilizado para la perforación de pozos en el campo Hamaca, es un lodo en base agua. Petrolera Ameriven, S.A., designó a BAROID-HALLIBURTON como la empresa contratista encargada de la fabricación del lodo a usar. La cual colaboró con la obtención de información acerca del fluido usado y sus propiedades. Para cada sección perforada se tiene las siguientes características:

a. Sección superficial:

En esta sección se perforó con una mecha de 17 ½ pulgadas a una profundidad aproximada de 900 pies utilizando un lodo en base agua el cual está compuesto básicamente de agua y arcilla de formación. Tiene un peso aproximado entre 9 y 9,2 libras por galón y con una viscosidad entre 30 a 37 μ .

b. Sección intermedia:

Para esta sección se utilizó en la perforación una mecha de 12 ¼ pulgadas hasta aproximadamente 4500 pies. Hasta los 2800 – 3000 pies se utiliza prácticamente el mismo fluido de la sección superficial. A partir de allí hasta los 4500 pies aproximadamente se utilizan polímeros como el PAC-L® y el PAC-R® de BAROID los cuales se encargan de reducir el filtrado y densificar el fluido respectivamente. Además se puede utilizar un poco de soda cáustica para mantener el pH entre 8 y 9. El filtrado no debe exceder los 10 cm³ y el lodo no debe superar un peso de 9,5 libras por galón.

c. Sección Horizontal:

Esta sección es perforada con una mecha de 8 ½ pulgadas. La profundidad de la perforación varía entre 10.000 a 11.000 pies aproximadamente. El lodo sigue siendo en base agua el cual se denomina QUICKDRILL el cual es un lodo libre de sólidos con diferentes tipos de aditivos tales como DEXTRID® el cual reduce el filtrado y no afecta la viscosidad. La densidad de este no excede las 8,9 libras por galón.

Se puede apreciar que tanto para la sección superficial, intermedia y horizontal se utilizó básicamente el mismo tipo de fluido manteniendo siempre su propiedad de ser en base agua.

Este tipo de lodo al ser prácticamente libre de sólidos no genera o minimiza el daño a la formación evitando taponamientos que puedan afectar la producción. Es un lodo que cumple con las condiciones ambientales y por ser de baja toxicidad permite un mejor manejo a la hora de desecharlo y reducir el impacto que este pueda tener sobre el ambiente.

4.3.- IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES

Con relación a los impactos ambientales identificados, se realizó un análisis general sobre las consecuencias de las actividades realizadas en el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos, sobre los distintos elementos ambientales.

4.3.1.- Impactos sobre el medio físico

Entre los factores físicos que pueden que se pueden ver afectados por las actividades llevadas a cabo por el CTRD tenemos el suelo, el agua y el aire.

a. Factor suelo:

La contaminación del suelo bien sea por ripios o lodos de perforación, afecta de una u otra forma las características de este componente ambiental. La manera de cómo estos influyan en dichas características dependerá del manejo, tratamiento y disposición a los cuales van a ser aplicados.

Los ripios una vez tratados y en cumplimiento con los parámetros establecidos en el decreto N° 2.635, inciden de manera positiva sobre el ambiente, ya que la finalidad de estos es que sirvan como material de relleno para la recuperación de antiguos préstamos ubicados en el campo Hamaca, lo que ayudaría a la reincorporación de la vegetación; y además son utilizados como material de mezcla para el tratamiento de ripios fuera de la norma, lo que evita o minimiza el uso de suelo autóctono para este fin, minimizando así el impacto negativo que esto pueda generar.

Por experiencia de campo y a una línea de base del contenido de lixiviados ya estudiada, estos no sufren variaciones que pudieran afectar negativamente las

características del suelo. En la tabla N° 2 se presentan los valores promedios de los lixiviados evaluados en el año 2004.

Tabla N° 2. Valores promedios de lixiviados tomados en el 2004.

Lixiviados	Valor	Lím. Anexo D
Arsénico (mg/l)	0,01	5
Bario (mg/l)	0,83	100
Cadmio (mg/l)	0,01	1
Cromo Hexavalente (mg/l)	0,03	5
Mercurio (mg/l)	0,01	0,2
Níquel (mg/l)	0,05	5
Plata (mg/l)	0,01	5
Plomo (mg/l)	0,37	5
Selenio (mg/l)	0,04	1
Benceno (mg/l)	0,07	0,5
Tolueno (mg/l)	0,21	14,4
Fenoles (mg/l)	0,27	14,4

Fuente:

El empleo de la técnica de Landfarming es de gran ayuda para el tratamiento de desechos contaminados con hidrocarburos.

El manejo inadecuado de los ripios puede incidir de manera negativa sobre el ambiente al no cumplir con las normas del decreto N° 2.635 para su disposición final. En contraposición al manejo inadecuado, Petrolera Ameriven, S.A. busca el reuso de estos, bien sea como material de mezcla, relleno de préstamos y construcción de nuevas macollas, una vez que estos hayan sido tratados.

Existen posibilidades de derrames que se pueden generar por fallas en los tanques de almacenamiento de lodos, tanques de crudo, la química utilizada para el tratamiento de lodos mal almacenada, en el proceso de llenado de los tanques de almacenamiento, que pueden incidir directamente al suelo afectándolo de manera negativa.

La lixiviación de los ripios debido a las lluvias, ocasionaría un impacto negativo ya que los lixiviados pueden filtrarse en el suelo alterando sus características. Cabe señalar que el CTRD se tienen estrictos controles de monitoreo de los ripios y lodos para asegurar que se cumplan con los lineamientos establecidos en la normativa ambiental.

b. Factor Aire:

En el CTRD se utilizan cantidad de equipos, bien sea, motores, generadores, camiones, entre otros; que generan una serie de gases contaminantes capaces de degradar la calidad del aire. La magnitud del impacto dependerá de la cantidad y persistencia de dichos gases en la atmósfera.

La cantidad de polvo que se produce, principalmente en tiempos de verano, donde la resequedad del suelo, el movimiento continuo de máquinas, camiones, y otros incrementan el levantamiento de polvo, puede ocasionar alteración en la calidad del aire.

Sin embargo, las agua provenientes del Dewatering, ya tratadas y en cumplimiento con la norma del decreto N° 883, son asperjadas en el terreno con la finalidad de controlar la cantidad del polvo.

c. Factor Agua:

Debido a la ubicación que tiene el CTRD, no existen en sus cercanías ríos, estanques, u otras fuentes naturales de agua que se puedan ver afectadas directamente por las actividades realizadas en el CTRD.

Para la fecha de realización del presente trabajo, el CTRD contaba con dos parcelas en donde se aplicaba la técnica de Landfarming. Las aguas de lluvia pueden generar lixiviación en el suelo a tratar provocando la filtración en la tierra pudiendo llegar hasta los acuíferos más someros afectando sus características naturales. El área para Landfarming fue seleccionada geográficamente ya que existe un sello natural de aproximadamente 40 m de arcilla lo que ayudaría a retener posible lixiviación.

El CTRD realiza semestralmente un muestreo de aguas subterráneas para llevar un control de seguimiento, a fin de verificar que las características físico-químicas estén en cumplimiento con los parámetros establecidos en el artículo 4 del decreto N° 883.

Este muestreo es realizado en pozos de agua de macollas aguas arriba del CTRD, en el CTRD y macollas aguas abajo del CTRD. (Ver tabla N° 4).

Tabla N°3. Seguimiento de aguas subterráneas en el CTRD.

Parámetros	Lugar de muestreo			
	Aguas Arribas	CTRD	Aguas Abajo	Límite
PH (unidades)	6,62	6,23	6,45	6,5-8,5
Aceites, grasas e hidrocarburos (mg/l)	0,02	0,02	0,02	0,3
Aceites y grasas (mg/l)	0,015	0,01	0,01	*
Fenol (mg/l)	0,0005	0,0005	0,0005	0,002
Detergente y dispersante (mg/l)	0,01	0,01	0,01	<1
Bario (mg/l)	0,01	0,01	0,01	1
Cadmio (mg/l)	0,01	0,01	0,01	0,01
Cloruros (mg/l)	10,82	8,53	9,45	600
Sulfatos (mg/l)	4,68	4,45	4,85	400
Conductividad	9,9	6,11	8,95	*
Turbidez (UNT)	5	5	5	<25
Temperatura (°C)	27,6	27,3	27,65	*

* Valores no establecidos por la norma

Fuente:

4.3.2.- Impactos al medio biológico

Entre los factores biológicos que pueden ser afectados tenemos la fauna y la vegetación. Mientras existan actividades realizadas por el hombre, que modifiquen el medio o la alteración del hábitat, la fauna se verá afectada.

En cuanto a la vegetación se debe tomar en cuenta que el agua proveniente del sistema de centrifugación (Dewatering), es tratada y asperjada en las adyacencias del CTRD con la finalidad de mantener las áreas verdes. De aquí se pueden generar dos impactos bien sea positivo o negativo. El uso del agua tratada, cumpliendo con los parámetros establecidos en el decreto N° 883, para el riego de las áreas verdes puede incidir de manera positiva en la vegetación.

4.3.3.- Impactos al medio socio-económicos:

Debido a las actividades realizadas en el CTRD también se pueden generar problemas a la salud, esto debido al manejo de productos químicos que se utilizan para el tratamiento de lodos y efluentes.

En períodos de verano el levantamiento de polvo, provocado por el aire, el movimiento de maquinarias, entre otros, en las instalaciones del CTRD, podrían generar consecuencias en la salud humana.

Por la instalación de la industria en el área, se pueden crear conflictos en la comunidad ya sea por reclamos por daño a la propiedad, manejo de desechos, entre otros.

4.4.- PROCEDIMIENTOS LLEVADOS A CABO POR EL CENTRO DE TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE DESECHOS

Entre los procedimientos llevados a cabo por el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos ubicados en el campo Hamaca se encuentran la actividad de recepción, tratamiento y disposición final de lodos y ripios provenientes de la perforación.

Al Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos llegan ripios y lodos provenientes de la perforación de pozos petroleros con la finalidad de ser tratados cumpliendo con las normas establecidas en el decreto N° 2.635 y decreto N° 883 para darles la disposición final más conveniente.

Los ripios llegan a los corrales de recepción, los cuales son cuatro (4) construidos en concreto con una pendiente de 10% (ver Anexo 2, foto 1), lo cual permite que el exceso de líquido que este presente en los ripios pueda escurrirse y estos a la hora de ser tratados, tengan una consistencia más seca.

Adyacente a los corrales de recepción de ripios se encuentran unos canales cerrados y tanquillas que reciben el agua que drena de los ripios de perforación para luego ser bombeada a los tanques de almacenamiento de lodos de perforación que serán tratados en el sistema de Dewatering. (Ver Anexo 2, foto 2).

Cada corral de recepción de ripios maneja un aproximado de 26 m³ de ripios.

Los ripios una vez que están con una consistencia más sólida pasan a las celdas de tratamientos.

Las celdas de tratamiento están seccionadas por área para la disposición de cada tipo de ripio que proviene del taladro.

En la sección C del CTRD (ver figura N° 8) se disponen los ripios provenientes de la sección superficial. Estos son llamados ripios no petrolizados, ya que debido a la profundidad promedio de perforación de la sección superficial estos no presentan trazas de hidrocarburos por lo que su tratamiento es más sencillo.

Las secciones D y B del CTRD (ver figura N° 8) reciben a los ripios de la sección intermedia y horizontal respectivamente. Estos ripios por estar en contacto con la arena productora poseen restos de hidrocarburos por lo que son llamados ripios petrolizados.

En el área de plataforma se encuentran los corrales de recepción de ripios, la unidad de Dewatering, los tanques de tratamiento y almacenamiento de crudos, lodos y aguas provenientes del Dewatering así como el área de trailer en donde se ubica el laboratorio interno para el muestreo de ripios y lodos de perforación, caldera, tanques mezcladores, generadores, planta de aguas negras.

El área A_1 y el área A_2 mostradas en la figura 8, son utilizadas para la implementación del uso del biotratamiento de Landfarming.

En el área A_2 actualmente se está desarrollando la técnica de Landfarming. Con esta técnica son tratados aquellos desechos con crudo diluido de entre los cuales podemos mencionar: fondos de tanques, limpieza de pozos (Clean-Up), saneamiento de derrames, limpieza de líneas.

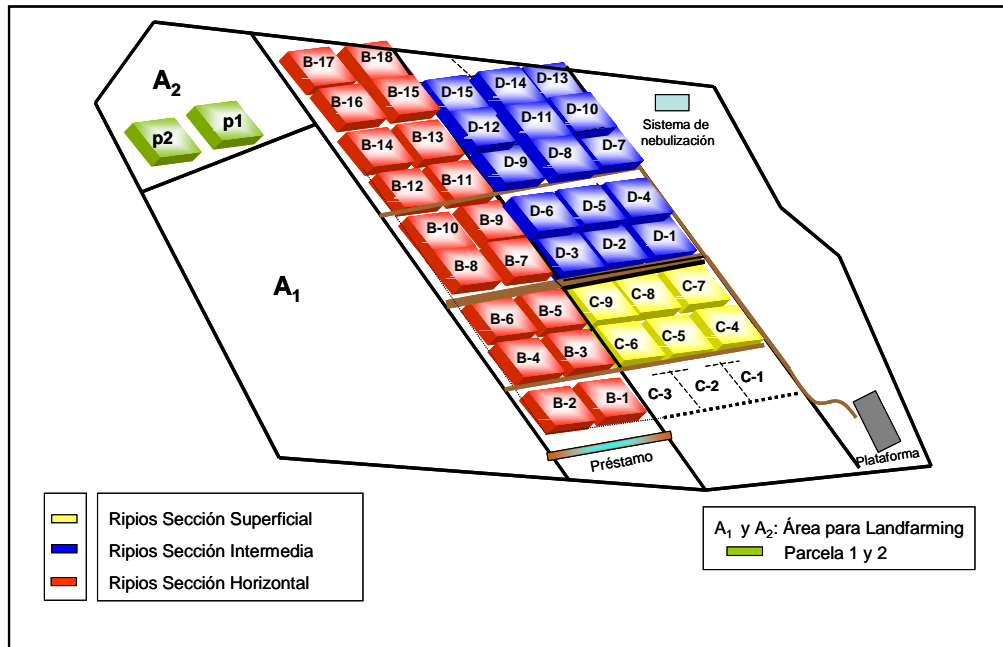


Figura 8. Esquema de distribución de celdas de tratamiento en el CTRD.

Para el tratamiento de ripios el CTRD usa actualmente la técnica conocida como Landspreading la cual es aplicada en las celdas de tratamiento de ripios. (Ver Anexo 3, foto 7)

En cuanto a los lodos que llegan al CTRD provenientes del taladro, estos se tratan mediante un sistema de Dewatering, del cual se generan dos corrientes, una fracción sólida (ver Anexo 2, foto 4) que pasa a ser tratada junto con los ripios de perforación y una fracción líquida (ver Anexo 3, foto 5) que en cumplimiento con las normas del decreto N° 883, es utilizada para aspersión de áreas verdes ubicadas en el CTRD o para el lavado de equipos pertenecientes al CTRD.

4.4.1.- Procedimiento para el Manejo de Ripios de Perforación

a. RECEPCIÓN:

1) Los ripios generados por el taladro, son trasladados al CTRD mediante camiones alto vacío “Super Sucker”, los cuales recogen estos de las canoas bajo el equipo de control de sólidos en el taladro de perforación.

2) El operador del “Super Sucker” se reporta con el vigilante de turno en el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos y le entrega la hoja de custodia donde se especifican los datos del desecho, tales como: tipo, cantidad, sitio de origen, etc.

3) El operador del “Super Sucker” espera la orden para descargar los ripios en el sitio indicado.

4) El supervisor, verifica el estado físico de los ripios y selecciona el lugar de la descarga:

4.1 Los ripios muy líquidos se disponen en un tanque que alimenta un sistema de separación sólido/líquido (zaranda). De allí se obtiene una fracción líquida que va a tratamiento mediante el sistema de Dewatering y una fracción sólida que va a las celdas de Landspreading.

4.2 Los ripios sólidos o semisólidos se descargan directamente en los corrales de recepción de ripios, donde son mezclados con material seco (suelo natural o ripios ya tratados y que cumplen con la norma). El agua que todavía puedan contener los ripios se separa en los corrales de recepción y pasa a un canal de desagüe.

5) El agua separada de los ripios en los corrales de recepción y almacenada en el canal posterior a estos, es llevada a través de una bomba de diafragma (Paca Paca) a las unidades de tratamiento de Dewatering.

6) En los corrales de recepción de ripios, se toma una muestra y se determina el contenido de aceites y grasas presentes en los ripios. Este dato permite calcular la cantidad de material de mezcla a ser utilizado.

b. TRATAMIENTO:

1) En los corrales de recepción de ripios se adiciona material de mezcla (arena o ripios tratados y en cumplimiento con la norma) para darle consistencia sólida y a su vez se baja el pH y el % de aceites y grasas. Además se busca la homogenización para evitar remezclar y utilizar nuevamente material de mezcla.

2) Los ripios son recogidos de los corrales de recepción mediante un Payloader y depositados en camiones volteos para ser trasladados a las celdas de tratamiento.

3) Los ripios provenientes de la sección superficial son tratados en las celdas del área C, los de la sección intermedia en las celdas del área D y los de la sección horizontal en las celdas del área B. En cada celda se depositan aproximadamente entre 500 a 700 m³ de ripios a tratar.

4) Una vez dispuestos en las celdas de tratamiento, se realiza un nuevo monitoreo interno, para chequear el pH y el contenido de aceites y grasas de los ripios y verificar que cumplan con las exigencias del decreto N° 2.635.

5) Si no cumplen con la norma se le adiciona material de mezcla y se extiende para su secado. Este paso se repite hasta que el ripio cumpla con el decreto.

6) Si el pH y el contenido de aceites y grasas cumple con lo establecido en el decreto, el material es secado y extendido permitiendo su aireación y secado.

7) Cuando los monitoreos internos de las celdas, indiquen que los ripios cumplen con las exigencias del decreto N° 2.635, se solicita un análisis externo realizado por un laboratorio autorizado por el M.A.R.N., para la confirmación del decreto.

7.1 Si los resultados obtenidos indican que los ripios cumplen con el decreto, son dispuestos finalmente.

7.2 Si los resultados indican alguna desviación en los valores exigidos en el decreto, se continúa nuevamente el tratamiento desde el paso 5.

c. DISPOSICIÓN FINAL:

- 1) Una vez tratados y en cumplimiento con el decreto, los ripios son apilados en sus respectivas celdas de tratamiento, por medio de un tractor (D-7 o D-8).
- 2) Los ripios son recolectados por un Payloader y colocados en camiones volteos, para ser trasladados hasta el sitio de disposición final.
- 3) El sitio de disposición final puede ser:

3.1 Macollas en construcción: En períodos secos, se usan los ripios tratados como material para bases y sub-bases de las macollas. Este material presenta excelentes propiedades en cuanto a compactación y resistencia

3.2 Acondicionamiento de vías de acceso: los ripios tratados son usados para acondicionar las vías de acceso a las macollas y demás instalaciones del proyecto.

3.3 Recuperación de préstamos: los ripios tratados son usados como material para rellenar viejos préstamos ubicados en el Campo Hamaca.

3.4 Material de mezcla: los ripios tratados que presentan valores bajos en cuanto a niveles de aceites y grasas son usados como material de mezcla en los corrales de recepción de ripios. En este caso los ripios son almacenados temporalmente en un área adyacente a los corrales de recepción de ripios en el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos.

4.4.2.- Procedimiento para el Manejo de Lodos de Perforación

a. RECEPCIÓN:

- 1) Los lodos provenientes del taladro llegan al Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos mediante camiones “Vaccum”, el operador de estos reporta al vigilante de turno y le entrega la hoja de custodia donde se especifican los datos del desecho, tales como: tipo, cantidad, sitio de origen, etc.
- 2) El operador del “Vaccum” espera la orden del supervisor, para descargar en el sitio indicado.
- 3) Dependiendo de la capacidad de almacenamiento disponible, el supervisor indica el lugar de descarga.
- 4) La descarga puede ser en el tanque alimentador de la unidad de centrifugación (Dewatering) o en los tanques de almacenamiento de lodos a tratar ubicados en el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos.

b. TRATAMIENTO:

- 1) El supervisor del Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos solicita al taladro la información del tipo de lodo y sus componentes químicos; esta se tiene de los programas de lodo y hojas técnicas, además de conocer las hojas de seguridad de los productos químicos usados.
- 2) Después de recibido el lodo, se caracteriza para determinar pH, % de sólidos y peso.
- 3) Se realizan pruebas de jarras para determinar los productos químicos y las dosis óptimas a usar.
- 4) Utilizar el equipo de protección personal adecuado para preparar la química a las concentraciones antes calculadas.

- 5) Transferir lodo de los tanques de almacenamiento al catch tank principal y agitar permanentemente con aire.
- 6) Prender la centrífuga, bombear soluciones de químicos a la línea de alimentación de lodo y comenzar a bombear lodo hasta obtener la mejor separación de flóculos y agua limpia.
- 7) Si no se logra la separación de la fase líquida y la sólida (presencia de lodo en los tanques del dewatering) se retorna nuevamente al catch tank. Cuando se logre un nivel suficiente de agua clara, utilizar la bomba de transferencia para enviar hacia las unidades de tratamiento.
- 8) Usar agua recuperada de la centrífuga para preparar las soluciones de coagulantes y floculantes. Si se presentan problemas de insolubilidad o aumento excesivo de espuma, usar en parte o totalmente agua fresca para la preparación.
- 9) Si no se observa una buena separación y/o el bombeo de lodo es muy bajo (p.e menor de 20 gpm), realizar dilución del lodo en la descarga de la bomba que alimenta la centrífuga, usando agua limpia o agua recuperada según sea el caso.
- 10) Controlar la consistencia de flóculos recibidos como descarga sólida evitando acumulación excesiva en la bandeja de descarga y disponerlos usando el Payloader para llevarlos desde el tanque de recepción de estos hasta el proceso de manejo de residuos sólidos.
- 11) Continuar preparando, paralelamente al bombeo, apagar la inyección de químicos y enjuagar con agua limpia durante 5 minutos la centrífuga antes de detener todo el proceso. De quedar soluciones preparadas de productos químicos no suspender la agitación y consumir en el menor tiempo posible. Mantener en agitación el lodo almacenado.

c. DISPOSICIÓN FINAL:

- 1) Los flóculos o parte sólida provenientes de la deshidratación de los lodos, son usados como material de mezcla en el tratamiento de ripios de perforación.

2) La fracción líquida pasa a un nuevo proceso de tratamiento de aguas de Dewatering.

4.4.3.- Procedimiento para el Manejo de Aguas Provenientes del Dewatering

a. RECEPCIÓN:

- 1) Las aguas provenientes de la deshidratación o Dewatering de los lodos y del escurrimiento de ripios en las celdas de recepción son almacenadas en los tanques de agua.
- 2) De los tanques de almacenamiento se transfiere el agua a los tanques de tratamiento.

b. TRATAMIENTO:

- 1) Se determina el volumen de agua a tratar y se realiza una caracterización físico-química en el laboratorio interno del Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos. Los análisis realizados son: pH, color, cloro libre, temperatura, turbidez, conductividad, sulfatos, sólidos suspendidos, cloruros, dureza cálcica y oxígeno disuelto.
- 2) Conociendo la composición del agua a tratar, se realizan pruebas de jarras para determinar las cantidades de reactivos (coagulante, floculante, cal, cloro, etc.) a usar en el tratamiento de las aguas.
- 3) Se adiciona las cantidades de reactivos calculadas se mezcla y luego se deja reposar para permitir la decantación de los flóculos.
- 4) El agua es trasladada a otro tanque donde es aireada y desinfectada con hipoclorito o con peróxido de hidrógeno.

5) Se realiza nuevamente una caracterización físico-química en el laboratorio interno del Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos para verificar la efectividad del tratamiento.

5.1 Si las aguas cumplen con los parámetros establecidos en el decreto N° 883, se realiza un muestreo comprobatorio con un laboratorio externo autorizado por el M.A.R.N. para verificar los resultados.

5.2 Si las aguas no cumplen con lo establecido en el decreto N° 883, se reciclan las aguas a tratamiento nuevamente.

c. DISPOSICIÓN FINAL:

1) Si los resultados obtenidos por el laboratorio autorizado por el M.A.R.N. cumplen con los parámetros establecidos en el decreto N° 883, las aguas se trasladan hasta los tanques de almacenamiento de aguas tratadas y de allí son dispuestas para:

1.1 El lavado de equipos.

1.2 El lavado de áreas en el Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos.

1.3 Aspersión en una parcela adyacente al Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos para el mantenimiento de áreas verdes.

1.4 Para en control de polvo en la locación del CTRD.

4.4.4.- Procedimiento de la Técnica Landfarming para el Tratamiento de Ripios y Suelos Contaminados

El CTRD tiene dos parcelas en las cuales se aplica el biotratamiento mediante la técnica de Landfarming.

El crudo extrapesado que se explota en el campo perteneciente a la Faja Petrolífera del Orinoco no posee fracciones biodegradables, que permitan aplicar la

técnica de Landfarming con resultados favorables. Sin embargo para la explotación de este crudo se emplea un diluyente, lo que permite al crudo extrapesado aumentar sus grados API, mejorando sus características, logrando que este posea fracciones livianas y biodegradables que permitan el uso de la técnica de Landfarming.

Es por ello que los desechos a tratar mediante esta técnica son aquellos que hayan estado en contacto con el diluyente, entre los cuales tenemos:

- Suelos contaminados generados por derrames en las macollas y oleoductos.
- Lodos de fondo de tanques.
- Sólidos generados durante la limpieza de pozos productores.
- Sedimentos separados de los fluidos de limpieza de pozos.
- Sedimentos de limpieza de tuberías.

Los pasos a seguir para la aplicación del Landfarming son los siguientes:

1) Identificación y recepción del desecho a tratar:

Antes de iniciar el biotratamiento de Landfarming, es necesario conocer el tipo de desecho que se va a tratar. El principal obstáculo que presenta este tratamiento es que el desecho a tratar deben poseer fracciones que sean biodegradables.

2) Análisis preliminar del desecho:

El desecho a tratar debe cumplir con parámetros establecidos en el artículo 53 del decreto N° 2.635 de la normativa ambiental venezolana para poder aplicar la

técnica de Landfarming y además se deben realizar pruebas que permitan dar a conocer el comportamiento futuro de la técnica.

Entre las condiciones que debe presentar el desecho para ser utilizado en prácticas de biotratamiento según el artículo 53 del decreto N° 2.635 tenemos:

- **Contenido de hidrocarburos biodegradables en el desecho.**

Este es un parámetro el cual debe tener un valor entre 1 y 10 %. Para ello, se realiza un análisis TPH por sus siglas en inglés (Total Petroleum Hydrocarbons), para determinar el contenido de hidrocarburos totales en el desecho y un análisis SARA que determina la composición del hidrocarburo en cuanto a compuestos saturados, aromáticos, resinas y asfáltenos. De allí se calcula la fracción biodegradable del desecho conformada por los compuestos saturados y aromáticos presentes.

- **Concentraciones máximas permisibles en lixiviados.**

El desecho no debe exceder las concentraciones máximas permisibles en lixiviados establecidos en el Anexo D del decreto N° 2.635, para esto se realizan pruebas realizadas por un laboratorio autorizado por el M.A.R.N. a fin de comprobar que no excedan los límites máximos.

- **pH entre 6 y 8.**

Mediante un análisis se comprueba que el pH del desecho, se encuentre entre los rangos establecidos en el decreto N° 2.635

Para el óptimo resultado de la técnica de Landfarming, se deben realizar pruebas en el desecho para determinar las cantidades de nutrientes que se deben

aplicar en el desecho y además hacer un cálculo aproximado del comportamiento de la técnica. Entre estas tenemos:

a.- Cálculo de la densidad del desecho: Para determinar la densidad del desecho se debe conocer el volumen que ocupa una determinada cantidad de desecho, para ello se toma un recipiente de volumen conocido y se pesa vacío, luego se llena el recipiente con el desecho hasta completar el volumen del mismo y se pesa el recipiente lleno. El cálculo del peso del desecho y la densidad, se calcula de la siguiente manera:

$$P_{\text{Desecho}} = P_{\text{Recipiente Desecho}} - P_{\text{Recipiente Vacío}} \quad (\text{Ec.1})$$

$$D_{\text{Desecho}} = P_{\text{Desecho}} / V_{\text{Recipiente}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$$P_{\text{Desecho}} = \text{Peso del desecho, [kg]}$$

$$P_{\text{Recipiente Desecho}} = \text{Peso del recipiente con desecho, [kg]}$$

$$P_{\text{Recipiente Vacío}} = \text{Peso del recipiente vacío, [kg]}$$

$$D_{\text{Desecho}} = \text{Densidad del desecho, [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{Recipiente}} = \text{Volumen del recipiente conocido, [m}^3\text{]}$$

b.- Determinación de los kilogramos totales de desechos a tratar: Este dato es de gran importancia, ya que a través de él, se calculan los requerimientos de nutrientes a usar en el tratamiento. Para ello se usa la siguiente fórmula:

$$KTD = V_{\text{Desecho}} \times D_{\text{Desecho}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

KTD = Kilogramos totales de desecho a tratar, [Kg]

V_{Desecho} = Volumen de desecho a tratar, [m³]

c.- Determinación del contenido de Carbono total biodegradable (CTB): Conocer el contenido de carbono total biodegradable es necesario para calcular los requerimientos de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) necesarios para que las bacterias realicen la degradación del desecho. Ese valor se calcula del contenido de compuestos saturados y aromáticos presentes en el desecho, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CTB} = \text{KTD} \times (\% \text{ TPH} / 100) \times (\% \text{ Saturados} + \% \text{ Aromáticos}) / 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

CTB: Carbono total biodegradable en el desecho, [kg]

% TPH: Hidrocarburos totales del petróleo en el desecho, [%]

% Saturados: Hidrocarburos saturados, obtenido en el análisis SARA, [%]

% Aromáticos: Hidrocarburos aromáticos, obtenido en el análisis SARA, [%]

d.- Determinación de Nutrientes en el desecho: El proceso de biotratamiento requiere de nutrientes que permitan el desarrollo bacteriano y por ende una mejor degradación. La relación óptima CTB/Nutriente son valores establecidos mediante estudios realizados, la cual debe hacerse cumplir al momento de iniciar el tratamiento. Es por ello que se hace necesario determinar el contenido natural de nutrientes en el desecho, para luego determinar la cantidad adicional que se requiere agregar. El contenido de nutrientes en el desecho se determina mediante una relación entre la concentración de nitrógeno y fósforo en el desecho y los kilogramos totales de desecho a tratar, según:

$$N_{\text{Desecho}} = \text{KTD} \times C_{\text{ND}} / 1.000.000 \quad (\text{Ec. 5})$$

$$F_{\text{Desecho}} = \text{KTD} \times C_{\text{FN}} / 1.000.000 \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

N_{Desecho} = Nitrógeno presente en el desecho, [kg]

F_{Desecho} = Fósforo presente en el desecho, [kg]

C_{ND} = Concentración de nitrógeno presente en el desecho, [mg/kg]

C_{FD} = Concentración de fósforo presente en el desecho, [mg/kg]

e.- Análisis de respirometría en el desecho sin tratar: Este análisis permite medir de manera indirecta, a través de la generación de dióxido de carbono (CO_2) la actividad bacteriana en el desecho, la cual en mediciones posteriores de control deberá aumentar garantizando así la degradación del hidrocarburo.

El CO_2 se determina usando la técnica estática de determinaciones *in situ*, descrita por Cropper en 1985. La cual se basa en la instalación de una cámara invertida para la retención del CO_2 , y la cual contiene un recipiente en su interior con hidróxido de potasio (KOH).

Dentro de la cámara ocurre una reacción química entre el KOH y el CO_2 formando potasio, carbonato (CO_3) y agua. Basándose en la cantidad de KOH que queda sin reaccionar (la cual se calcula mediante una titulación ácido-base) se determinan los miligramos de CO_2 producidos, usando la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_2 = (B-V) \times N \times Z \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

CO_2 = Miligramos de CO_2 producidos

B = Volumen de ácido clorhídrico (HCl) gastados durante la neutralización del blanco (KOH 0,1 N)

V = Volumen de HCl gastados en la titulación del KOH del respirómetro.

$N =$ Normalidad del HCl.

$Z =$ Peso miliequivalente del $\text{CO}_2 = \text{PM}/2 = 22$

3) Análisis de suelo natural del área donde se aplicará el tratamiento: El área donde se aplicará el tratamiento, debe cumplir con parámetros establecidos en el artículo 53 del decreto N° 2.635, entre los que se encuentran:

El área del terreno debe estar conformada por suelos de textura franca, o franco arenosa o franco limosa o franco arcillosa, o acondicionado artificialmente. La textura del suelo se determina mediante estudios específicos de suelo.

Para evitar problemas de contaminación de acuíferos por infiltración, es necesario determinar la profundidad del nivel freático, el cual debe ser mayor de 4 metros por normas del decreto N° 2.635.

El área del terreno donde se aplica el tratamiento no debe ser inundable.

Es necesario determinar el contenido de nutrientes naturales del suelo, mediante un análisis de nitrógeno y fósforo, para ajustar los cálculos del requerimiento de nutrientes del tratamiento, conforme al aporte natural del suelo.

a.- Cálculo de la densidad del suelo: Para determinar la densidad del suelo se debe conocer el volumen que ocupa una determinada cantidad de suelo, para ello se tomará un recipiente de volumen conocido y se pesa, luego se llena el recipiente con suelo hasta completar el volumen del mismo y se pesa el recipiente lleno. El cálculo del peso del suelo y la densidad, se calcula de la siguiente manera:

$$P_{\text{Suelo}} = P_{\text{Recipiente Suelo}} - P_{\text{Recipiente Vacío}} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$D_{\text{Suelo}} = P_{\text{Suelo}} / V_{\text{Recipiente}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

P_{Suelo} = Peso del suelo, [kg]

$P_{\text{Recipiente Suelo}}$ = Peso del recipiente lleno con suelo, [kg]

$P_{\text{Recipiente Vacío}}$ = Peso del recipiente vacío, [kg]

D_{Suelo} = Densidad del suelo, [kg/m³]

$V_{\text{Recipiente}}$ = Volumen del recipiente conocido, [m³]

b.- Determinación de Nutrientes en el suelo: El suelo puede aportar parte de los nutrientes necesarios para el biotratamiento, es por ello que se hace necesario determinar el contenido de nitrógeno y fósforo presentes en el suelo natural, para luego determinar la cantidad adicional que se requiere agregar. El contenido de nutrientes en el suelo se determina mediante una relación entre la concentración de nitrógeno y fósforo en el suelo y los kilogramos totales de suelo a incorporar al tratamiento.

Los kilogramos de suelo a incorporar al tratamiento se calculan al multiplicar el área de tratamiento por la profundidad de la rastra y por la densidad del suelo. Se usará una rastra de 30 cm, de los cuales 10 cm son ripios y 20 cm de suelo.

$$KTS = A_{\text{Tratamiento}} \times D_{\text{Suelo}} \times \text{Profundidad} \quad (\text{Ec. 10})$$

El contenido de nutrientes en el suelo se determina según:

$$N_{\text{Suelo}} = KTS \times C_{\text{NS}} / 1.000.000 \quad (\text{Ec. 11})$$

$$F_{\text{Suelo}} = KTS \times C_{\text{FS}} / 1.000.000 \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

KTS = Kilogramos de suelo a mezclar en el tratamiento, [kg]

N_{Suelo} = Nitrógeno presente en el suelo, [kg]

F_{Suelo} = Fósforo presente en el suelo, [kg]

C_{NS} = Concentración de nitrógeno presente en el suelo, [mg/kg]

C_{FS} = Concentración de fósforo presente en el suelo, [mg/kg]

$A_{\text{Tratamiento}}$ = Parcela en la cual será aplicado el biotratamiento, [m²]

Profundidad = Espesor de suelo sobre el cual se aplicará el desecho a ser tratado, [m²]

La concentración de Nitrógeno y Fósforo se tiene del análisis de laboratorio del suelo.

c.- Análisis de respirometría en el suelo: Al igual que para el desecho es importante medir la respirometría en el suelo natural, para tener un blanco de comparación con los valores obtenidos en el área de tratamiento. La metodología empleada es la misma que la de medición en el desecho explicada anteriormente.

4) Cálculo del requerimiento de nutrientes: Los nutrientes requeridos por el biotratamiento son fundamentalmente nitrógeno y fósforo, los cuales se aplican mediante la adición de fertilizantes (urea y di fosfato amonio). Las relaciones óptimas Carbono/Nitrógeno (C/N) y Carbono/Fósforo (C/P) son C/N=60 y C/P: 800 respectivamente. Las cantidades requeridas de los nutrientes para el tratamiento se calculan a partir del carbono total biodegradable en el desecho (CTB), de la siguiente manera:

$$N_{\text{Requerido}} = CTB / 60 \quad (\text{Ec. 13})$$

$$F_{\text{Requerido}} = CTB / 800 \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

$N_{\text{Requerido}}$ = Nitrógeno requerido para utilizar en el tratamiento, [kg]

$F_{\text{Requerido}}$ = Fósforo requerido para utilizar en el tratamiento, [kg]

Pero hay que tomar en cuenta que tanto el desecho, como el suelo del área de tratamiento aportan nutrientes. Por consiguiente se debe calcular la cantidad de nutrientes a aplicar durante el tratamiento, lo cual se hace de la siguiente manera:

$$N_{\text{Aplicar}} = N_{\text{Requerido}} - N_{\text{Desecho}} - N_{\text{Suelo}} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$F_{\text{Aplicar}} = F_{\text{Requerido}} - F_{\text{Desecho}} - F_{\text{Suelo}} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

N_{Aplicar} = Nitrógeno neto a utilizar en la parcela de tratamiento, [kg]

F_{Aplicar} = Fósforo neto a utilizar en la parcela de tratamiento, [kg]

Luego de conocer las cantidades de fósforo y nitrógeno a aplicar, se deben calcular los sacos de fertilizantes requeridos, para ello se hace uso de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en los productos comerciales y cantidades contenidos en los sacos:

Urea: 46 % de nitrógeno en sacos de 50 kg

Di fosfato amonio (DAP): 18 % de nitrógeno y 18 % de fósforo, en sacos de 50 kg

Como puede observarse el Di fosfato amonio, aporta tanto fósforo como nitrógeno, por lo tanto un saco de 50 kg de DAP aporta 9 kg de fósforo y 9 kg de nitrógeno.

El cálculo de sacos de DAP se calculan de la siguiente manera:

N° de sacos de DAP = kg de fósforo a aplicar / 9 kg de fósforo (Ec. 17)

El aporte de nitrógeno por parte del DAP viene dado por:

kg N₂ aportado por el DAP = N^o sacos de DAP x 9 kg de N₂ (Ec. 18)

En un saco de urea de 50 kg se tienen 23 kg de nitrógeno, tomando en cuenta el nitrógeno aportado por el DAP, el cálculo de sacos de urea requeridos, se efectúa de la siguiente manera:

N° de sacos de urea = (kg de N₂ a aplicar - kg N₂ aportado por el DAP) / 23 kg de N₂
(Ec. 19)

5) Extendido del desecho: Se plantea tratar parcelas en un área de aproximadamente una (1) hectárea (100 m de ancho por 100 m de largo). Se delimitarán las parcelas de tratamiento y se irá recibiendo el desecho, luego se extenderá en una a 0,10 m de espesor.

6) Aplicación del tratamiento: El tratamiento de Landfarming se inicia con el extendido del material, los pasos a seguir son los siguientes:

a.- Primer Pase de Rastra: El primer pase de rastra se efectuará una vez que el desecho haya sido extendido con el patrol. Se efectuará para lograr la mezcla con la capa vegetal y someterla a aireación. La rastra debe profundizar unos 0,20 m del suelo.

b.- Aplicación del fertilizante: Los cálculos se realizarán de acuerdo a los valores del muestreo de suelo y la relación C/N considerada anteriormente. La aplicación se realizará al voleo en forma manual o con el uso de abonadora, tratando de esparcirlo

de la manera más uniforme posible. Se puede mantener la práctica de dosificar el nitrógeno en dos porciones iguales, una inicialmente y la otra a las 5-6 semanas; en cuanto al fósforo y potasio se deben incorporar inicialmente en su totalidad.

c.- Segundo pase de rastra: Se aplica inmediatamente aplicado el fertilizante, con la finalidad de incorporar el fertilizante a la mezcla suelo/desecho.

d.- Pases de rastra posteriores: Como mínimo se requiere tres pases de rastra a la semana, durante los primeros 30 días; siendo necesario hacerlo de una a dos veces por semana, el resto del tiempo, esto con el propósito de airear la mezcla suelo/desecho/fertilizante y favorecer la actividad de los microorganismos.

e.- Control de la humedad: Se requiere efectuar riego en caso de la falta de ocurrencia de lluvias (necesario en la temporada de sequía). Para ello se puede utilizar un camión cisterna. Mantener un porcentaje de retención de humedad en el suelo en el rango de 30 %. La frecuencia de riego será de dos a tres veces por semana.

7) Análisis comprobatorios de la efectividad del tratamiento: Se requiere realizar análisis periódicos para comprobar la efectividad del tratamiento, estos análisis son:

a.- Respirometría: La metodología que se emplea consiste en utilizar 20 cámaras de medición en el área de tratamiento y 4 cámaras en el suelo virgen que son usadas como blanco de comparación

La frecuencia de medición será quincenal para el primer mes y luego con frecuencia mensual hasta completar el tratamiento. Si se espera completar el tratamiento en 90 días se realizarán cinco corridas de respirometría en los siguientes tiempos: $t_1=0$, $t_2=15$ días, $t_3=30$ días, $t_4=60$ días y $t_5=90$ días.

b.- Análisis de TPH y SARA: Estos análisis deben realizarse en conjunto, al mismo tiempo, para determinar el contenido de hidrocarburos totales en el desecho y cuanto de estos son biodegradables (saturados y aromáticos).

La frecuencia de medición será mensual hasta completar el tratamiento. Si se espera completar el tratamiento en 90 días se realizarán cuatro análisis en los siguientes tiempos: $t_1=0$, $t_2=30$ días, $t_3=60$ días y $t_4=90$ días.

8) Control de calidad: Al final del tratamiento, cuando se determine que la actividad bacteriana ha disminuido indicando que los hidrocarburos biodegradables presentes en el desecho tratamiento han sido consumidos por las bacterias, es necesario realizar un análisis del artículo 50 del Decreto N° 2.635, para verificar el cumplimiento del mismo antes de la disposición final del desecho.

Si el desecho cumple con los límites establecidos en el mencionado decreto, se realiza la disposición final del mismo. De lo contrario los desechos deben seguir tratándose, pero por otro método. En este caso serán trasladados a las celdas de tratamiento de rípios petrolizados en el CTRD, para ser tratados mediante Landspreading hasta alcanzar los valores establecidos en el decreto N° 2.635, artículo 50.

Consideraciones generales

Si el contenido de hidrocarburos es mayor al 10%, se realizará la mezcla con rípios de perforación que tengan concentraciones inferiores de crudo para ajustarlo al nivel máximo deseado (10%).

El contenido de saturados y aromáticos debe ser mayor al 20 % para que el proceso de biotratamiento sea efectivo. Mientras este porcentaje sea mayor, el

proceso será favorecido. En tal sentido, si el biotratamiento es exitoso, es de esperar una reducción en las fracciones susceptibles de ser biodegradadas.

El pH de la mezcla suelo/desecho sometido a biotratamiento debe ser de 6 a 8, para favorecer la actividad microbiana durante el tratamiento. En caso de valores bajos de este parámetro (caso del área del CTRD) es necesario aplicar cal agrícola para mantener el pH en el rango indicado.

Se recomienda elaborar un gráfico para evaluar el contenido de saturados y aromáticos versus tiempo, el cual debería resultar una curva exponencial negativa, cuya estabilización asintótica representaría la máxima capacidad biodegradadora y por ende el fin del biotratamiento. En otras palabras, el contenido de saturados y aromáticos debe disminuir a medida que se avanza en el tiempo, hasta que tiende a hacerse constante.

Como meta razonable, se puede fijar un porcentaje de saturados y aromáticos equivalente al 20 % para dar por finalizado el biotratamiento, debido a que concentraciones menores a ese porcentaje, representan valores de estabilidad que no varían con el tiempo.

4.5.- MONITOREO DE RIPIOS EN EL CENTRO DE TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE DESECHOS.

Para el muestreo de ripios de perforación en las celdas del CTRD solamente se tomaron en cuenta los valores de pH y el % de aceites y grasas, ya que es el factor que varía con mayor frecuencia, puesto que los lixiviados y demostrado por estudios ya realizados por el CTRD no varían y nunca han excedido los parámetros establecidos por el Anexo D del decreto N° 2.635.

Debido a la experiencia de campo y por una línea base ya estudiada, junto con un seguimiento de suelos, los parámetros que se muestrean en las celdas del CTRD, corresponden únicamente a los de pH y % de aceites y grasas, cuyos valores varían fuera de la norma del artículo 50 del decreto N° 2.635 y por lo tanto son estos mismos los que se buscan tratar para que cumplan con el decreto.

La tabla N° 4 muestra los valores promedios de los parámetros de la línea base y el seguimiento de suelos en el CTRD durante los períodos del 2003 y el 2004.

Tabla N° 4. Línea base y seguimientos de suelo en el CTRD.

Parámetros	Año 2003		Año 2004		Límite Art.50
	Profundidad 0-20 cm	Profundidad 20-40 cm	Profundidad 0-20 cm	Profundidad 20-40 cm	
PH	6.01	6.17	6.34	6.38	5-8
Aceites y Grasas (%)	0.32	0.89	0.13	0.10	1
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	1.10	1.06	0.70	1.07	3,5
Cloruros totales (ppm)	56.25	73.1	14.45	23.30	2.500
Relación adsorción de sodio (RAS)	0.89	0.85	1.29	2.14	8
Aluminio intercambiable (meq/100gr)	0.45	0.48	0.22	0.33	1,5
Saturación con base (%)	80.40	80.9	90.9	90.65	>80
Arsénico (mg/kg)	0.10	0.07	0.03	0.05	25
Bario (mg/kg)	38	57.57	18.3	19.80	20.000

Cadmio (mg/kg)	0.17	0.19	0.3	0.33	8
Cromo (mg/kg)	1.17	1.84	7.18	9.91	300
Mercurio (mg/kg)	0.01	0.01	0.01	0.01	1
Plata (mg/kg)	0.01	0.01	0.51	0.51	5
Plomo (mg/kg)	27.75	31.95	24.8	30.15	150
Selenio (mg/kg)	0.03	0.05	0.01	0.01	2
Zinc (mg/kg)	29.25	27.43	15.8	18.85	300

Fuente:

Los muestreos fueron realizados durante los meses de abril, mayo y junio, en las celdas disponibles del CTRD.

Tabla N° 5. Resultados de la evaluación de rípios para el 05/04/2004.

N° CELDA	pH (unidades)	% aceites y grasas
Celda B-1	6,19	1,42
Celda B-2	6,87	1,32
Celda B-6	6,63	1,63
Celda B-8	7,47	1,28
Celda B-9	7,48	1,71
Celda B-13	7,25	1,86
Celda B-14	7,26	1,51
Celda B-15	7,16	0,98
Celda D-1	7,96	0,86
Celda D-6	8,12	1
Celda D-9	8	0,82
Celda D-10	8	0,14
Celda D-11	8	0,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6. Resultados de la evaluación de rípios para el 20/05/2004.

N° CELDA	pH	% aceites y grasas
Celda B-7	6,79	0,82

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7. Resultados de la evaluación de rípios para el 01/06/2004.

N° CELDA	pH	% aceites y grasas
Celda B-3	7,92	1,9
Celda B-4	6,46	2,64
Celda B-5	6,97	1,58
Celda B-6	6,87	1,27
Celda B-9	6,53	1,15
Celda B-10	6,99	1,84
Celda B-11	6,9	2,02
Celda B-12	7,59	1,3
Celda B-13	6,47	1,18
Celda B-14	6,65	1,82
Celda B-16	6,98	1,55
Celda B-18	6,94	2
Celda D-2	6,67	1,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8. Resultados de la evaluación de rípios para el 15/06/2004.

N° CELDA	pH	% aceites y grasas
Celda B-1	6,48	1,1
Celda B-2	6,62	0,8
Celda B-8	8,3	0,035
Celda B-15	7,33	0,1
Celda B-17	6,93	0,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 9. Resultados de la evaluación de rípios para el 23/06/2004.

N° CELDA	pH	% aceites y grasas
Celda D-3	7,5	0,95
Celda D-5	7,4	1,2
Celda D-6	7,35	0,96
Celda D-7	7,2	1,04
Celda D-8	7,3	1
Celda D-9	7,7	0,64
Celda D-10	7,3	0,82

Fuente: Elaboración propia

Fecha 20/05/2004. (Tabla N° 5)

El pH evaluado en la celda D-6 es el único valor de pH encontrado por encima de lo establecido por la norma. Con relación a las demás celdas el pH se encontró dentro de la norma.

El % de aceites y grasas para las celdas B-1, B-2, B-6, B-8, B-9, B-13 y B-14 presentaron valores fuera de los parámetros establecidos por la norma. En cuanto a las demás celdas los valores de % y aceites y grasas se encontraron dentro de la normativa.

Solamente las celdas B-15, D-1, D-9, D-10 y D-11 cumplieron con los valores establecidos por la normativa tanto para el pH como para el % aceites y grasas.

Fecha 20/05/2004. (Tabla N° 6).

Para esta fecha solo se evaluó la celda B-7 la cual arrojó un resultado tanto para el pH como para el % aceites y grasas dentro del rango establecido por el decreto N° 2.635.

Fecha 01/06/2004. (Tabla N° 7)

Los valores de pH en las celdas evaluadas se encontraron todos dentro del rango establecido por el decreto N° 2.635.

El resultado de % aceites y grasas en ninguna de las celdas dio dentro de los parámetros establecidos por la norma.

Fecha 15/06/2004. (Tabla N° 8).

Solamente la celda B-8 mostró un valor de pH por encima de la norma. Las demás celdas estudiadas presentaron un valor dentro del rango establecido.

La celda B-1 fue la única en presentar un valor por encima de la norma para el % aceites y grasas. En las celdas restantes el % aceites y grasas estuvo en el rango establecido por el decreto.

Para esta fecha las celdas B-2, B-15 y B-17 fueron las que presentaron ambos valores de pH y % aceites y grasas dentro de la normativa.

Fecha 23/06/2004. (Tabla N° 9).

Todas las celdas presentaron valores de pH dentro del rango establecido por el decreto N° 2.635.

El % aceites y grasas en las celdas D-5 y D-7 mostraron resultados por encima de la norma los cuales fueron 1,2 y 1,04 respectivamente.

Las celdas D-6, D-8, D-9 y D-10 cumplieron con los valores establecidos por la norma para valores de pH y % aceites y grasas.

Tabla N° 10. Límites establecidos en el artículo 50 decreto N° 2.635.

Parámetros	Límite
PH	5-8
Aceites y grasas (% en peso)	≤1

Fuente: Decreto N° 2.635

Las fechas realizadas para el muestreo dependen de la cantidad de ripio que se genera durante la perforación. Por esto se observa que los muestreos no son siempre en la misma fecha.

Las muestras se tomaron de las celdas que para su momento se encontraban fuera de la norma establecida en el decreto N° 2.635. En la figura se muestra la disposición final de las celdas en el CTRD para el mes de junio.

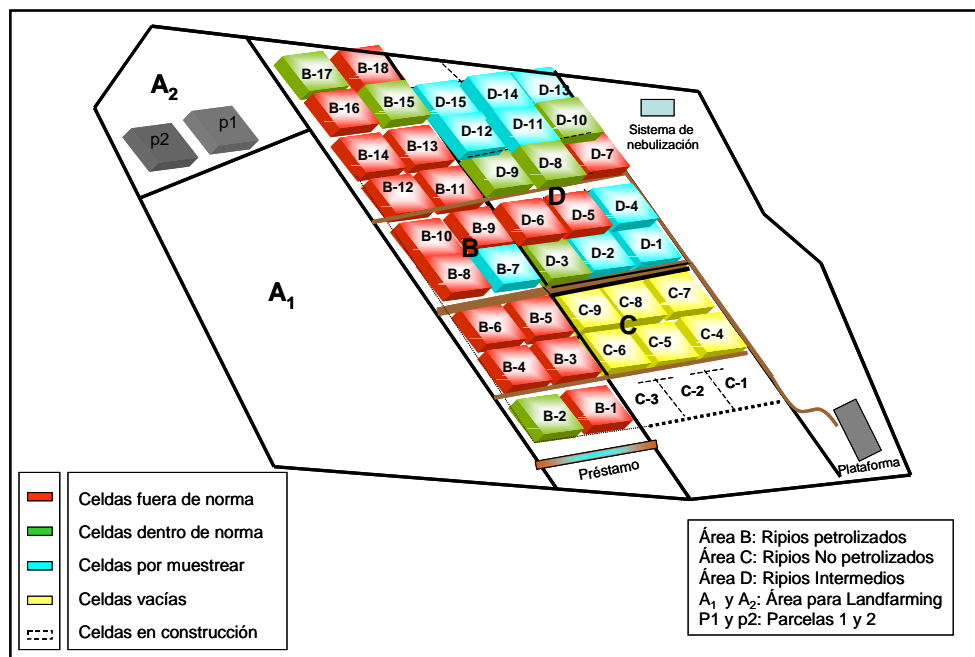


Figura 9. Disposición de celdas para el mes de junio 2004

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El reuso de ripios de perforación tratados minimizó el impacto ambiental sobre el recurso suelo, debido a que se evitó la extracción de suelo autóctono como material de mezcla de ripios.
- Los ripios en cumplimiento con la norma del Decreto N° 2.635 y con % de aceites y grasas entre 0,80% y 1% , fueron utilizados como material de relleno para la recuperación de préstamos ubicados en el CTRD.
- Las aguas tratadas provenientes del sistema de Dewatering, fueron asperjadas en las áreas verdes del CTRD, contribuyendo al mantenimiento de estas.
- Las muestras tomadas de ripios en las celdas de tratamiento y que no cumplieron con la norma del Decreto N° 2.635, fueron tratadas nuevamente con material de mezcla para la continuación de su tratamiento.
- Los ripios de las celdas D-10, D-11, B-15, B-17 y D-9, debido a sus valores de % de aceites y grasas por debajo de 0,80 fueron utilizados como material de mezcla.
- Los demás ripios tratados y en norma con el Decreto N° 2.635 fueron dispuestos como material de relleno para préstamos ubicados en el área y construcción de futuras macollas.

RECOMENDACIONES

- Continuar el uso de Landspreading para el tratamiento de ripios de perforación debido a su factibilidad técnica, económica y segura durante su manejo.
- Seguir utilizando la técnica de Dewatering para los lodos de perforación.
- Continuar evaluando el progreso de la técnica Landfarming, con la finalidad de estudiar los resultados y proseguir con el uso de la técnica.
- Verificar el riesgo asociado al transporte de ripios desde la macolla actual hasta el CTRD, debido a su larga distancia.
- Evaluar y mantener el buen desempeño del equipo de control de sólidos en el taladro, con la finalidad de que los ripios enviados al CTRD lleguen con una mejor consistencia y minimizar el uso de material de mezcla.

BIBLIOGRAFÍA

Arrocha A., Carballo J., Colmenares V., Ellis G., Hernández H. y Rondón O. (2000). **“Estudio Ambiental Instalación y Operación. Centro de Tratamiento y Recuperación de Desechos. Proyecto Hamaca. MFH-17”**. Departamento de Higiene, Seguridad y Ambiente. Petrolera Ameriven, S.A.

Decreto N° 2.635. **“Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos”**. (1998). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.245 (Extraordinaria). Julio 22, 1998.

Decreto N° 883. **“Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”**. (1995). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.021 (Extraordinaria). Octubre 11, 1995.

Farache, G. (2004). **“Manual de Seguridad Industrial en Operaciones de Landfarming”**. Disponible on line: <http://www.eco2site.com/trash/landfarming.asp>

Fasano, J. y Rodríguez, J. (2002). **“Manual MACS de Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos”**. Informe del Medio Ambiente, Calidad y Seguridad. Perez Companc de Venezuela, S.A. Venezuela.

Hernández S, R. (2000). **“Metodología de la Investigación”**. McGraw-Hill.

Infante, C. y Viale, M. (1997). **“Protocolo para medir producción de CO₂ en suelo”**. PDVSA INTEVEP, S.A. Venezuela.

LaGrega M, Buckingham P. y Evans J. **“Gestión de Residuos tóxicos. Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos”**. McGraw-Hill. Madrid. España.

Ley Orgánica de Ambiente. (1976). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 31.004. Junio 16, 1976.

Ley Penal del Ambiente. (1992). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 4.358. Enero 3, 1992.

Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos. (2001). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.554 (Extraordinaria). Noviembre 13, 2001.

M-I SWACO. (2001). **“Manual de Fluidos de Perforación”**.

Maroto M y Rogel J. (2000). **“Aplicación de Sistemas de Biorremediación de Suelos y Aguas Contaminadas por Hidrocarburos”**. Disponible on line en: http://www.igme.es/internet/ewb_aguas/igme/publica/con_recu_acuiferos/028.pdf

Rojas I. **“Manual para la Presentación del Proyecto y de la Tesis de Pregrado en Ingeniería”**. Fondo Editorial UDO-Anzoátegui. Universidad de Oriente.

ANEXOS

ANEXO 1
Generación y reuso de rípios durante el
año 2004

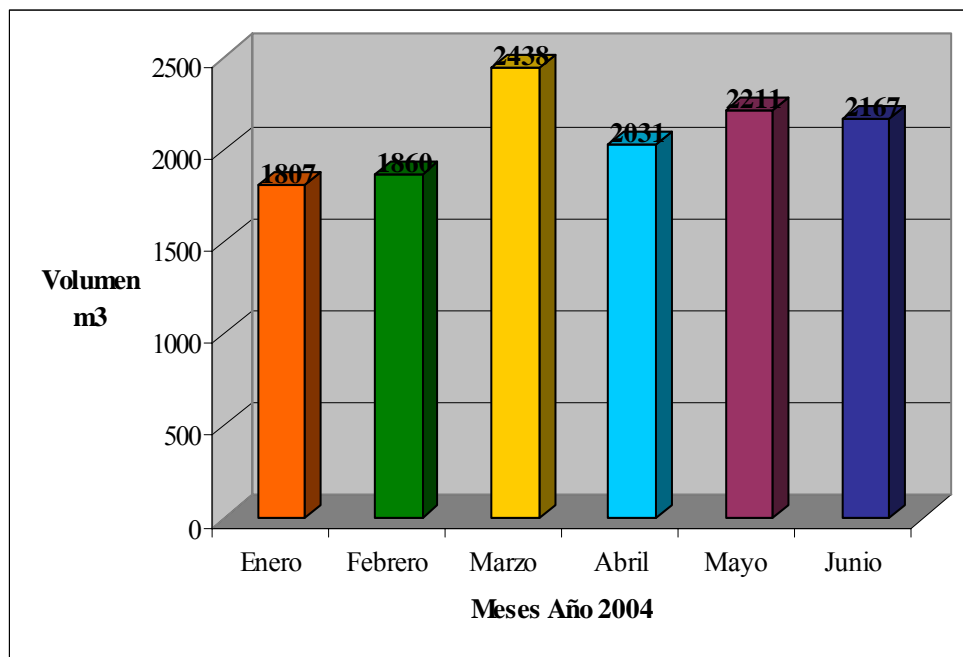
La siguiente tabla y la gráfica N° 1, muestran la cantidad de desechos de perforación que se generaron de la actividad de perforación durante el año 2004.

Tabla N° 1. Volumen de Desechos Generados durante el período 2004.

Tipo de desecho	Meses		
	Enero	Febrero	Marzo
Ripios petrolizados (m ³)	1.775	620	2.400
Ripios no petrolizados (m ³)	0	1.165	0
Sólidos de Dewatering (m ³)	32	75	38

Tabla N°1. (cont.)

Tipo de desecho	Meses		
	Abril	Mayo	Junio
Ripios petrolizados (m ³)	2.015	1.860	2.000
Ripios no petrolizados (m ³)	0	305	0
Sólidos de Dewatering (m ³)	16	46	167

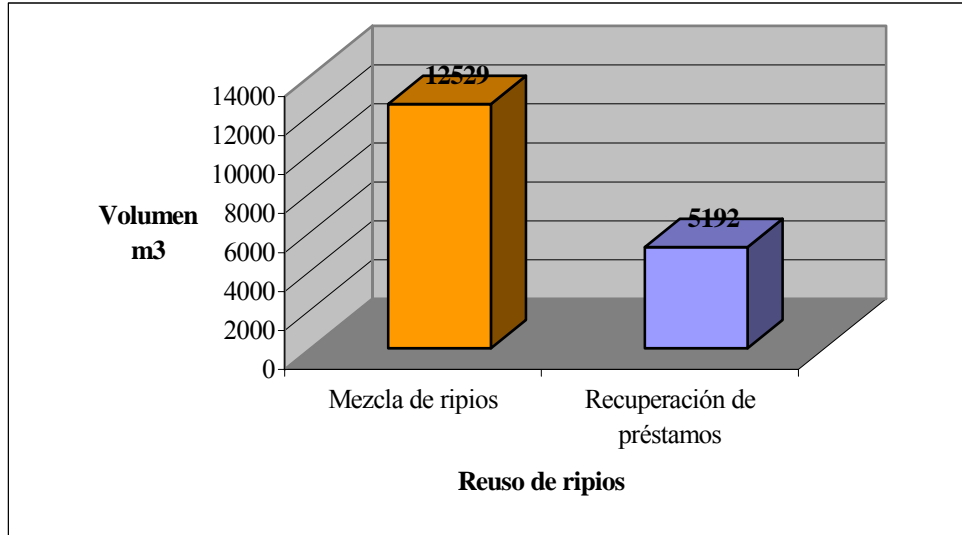


Gráfica 1. Generación de desechos durante el año 2004.

La tabla N° 2 y la gráfica N° 2, muestran la disposición final que se la han dado a los ripios de perforación durante el año 2004.

Tabla N° 2. Reuso de ripios tratados durante el período 2004.

Tipo de desecho	Ripios	
	Petrolizados	No petrolizados
Mezcla de ripios (m ³)	9.521	3.008
Recuperación de préstamos (m ³)	5.192	0



Gráfica 2. Disposición final de rípios utilizados en el período 2004.

ANEXO 2
Fotos de los procesos y unidades del CTRD



Foto 1. Corrales de recepción de ripios



Foto 2. Unidad de Dewatering



Foto 3. Recepción de la fracción sólida obtenida del Dewatering



Foto 4. Fracción líquida obtenida de la separación del lodo en la unidad de Dewatering



Foto 5. “Catch Tank”, tanque para disposición de lodos para ser llevados a la unidad de Dewatering



Foto 6. Recolección de agua proveniente del Dewatering para muestreo



Foto 7. Celdas de para el tratamiento de ripios mediante Landspreading



Foto 8. Esparcimiento de ripios para secado en las celdas de tratamiento



Foto 9. Recolección de muestras de ripios en las celdas de tratamiento



Foto 10. Utilización de ripios ya tratados como material para la construcción de macollas



Foto 11. Asperjado de áreas verdes con aguas tratadas y en cumplimiento con el Decreto N° 883



Foto 12. Asperjado con aguas tratadas para el control de polvo en el CTRD



Foto 13. Pase de rastra en el área de Landfarming



Foto 14. Respirometría en el área de Landfarming

ANEXO 3

Diagramas de Flujos de los Procedimientos para el Manejo de Ripios y Lodos en el CTRD

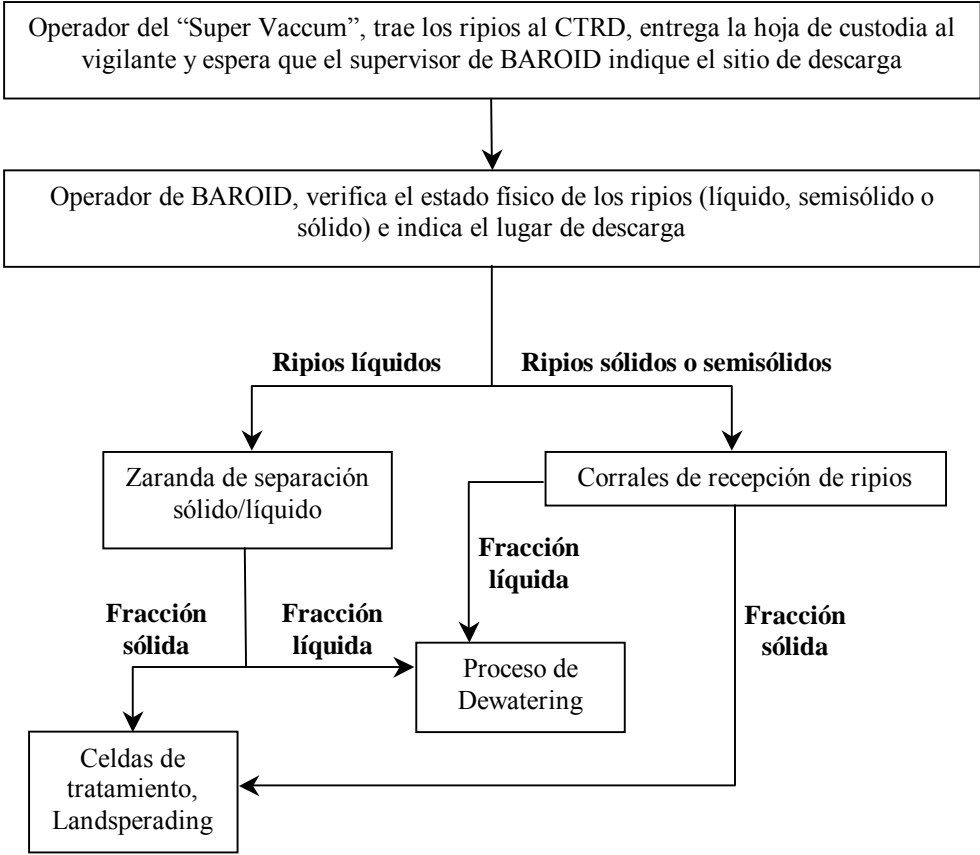


Diagrama de flujo del procedimiento de recepción de ripsos en el CTRD

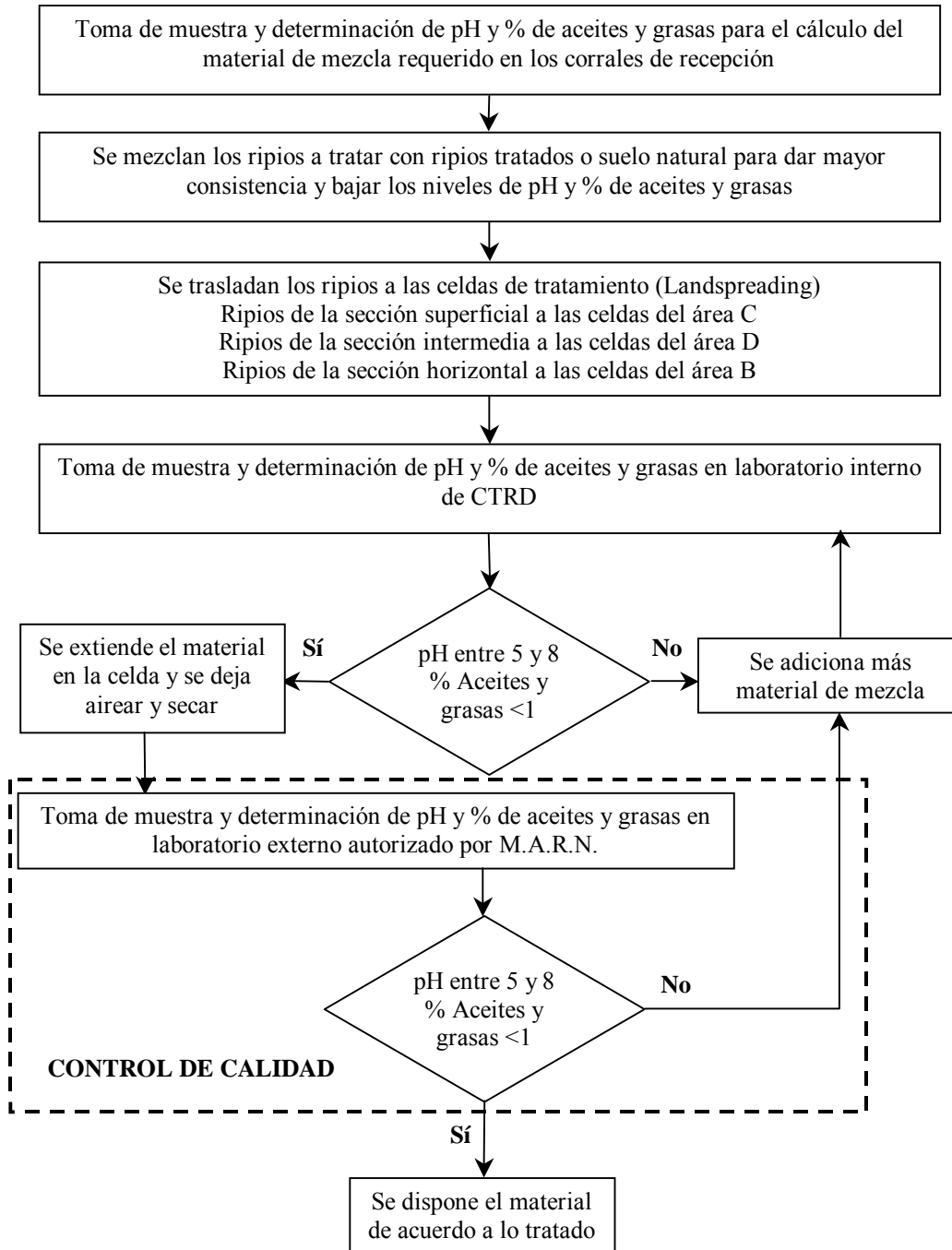


Diagrama de flujo del procedimiento de tratamientos de rípios en el CTRD

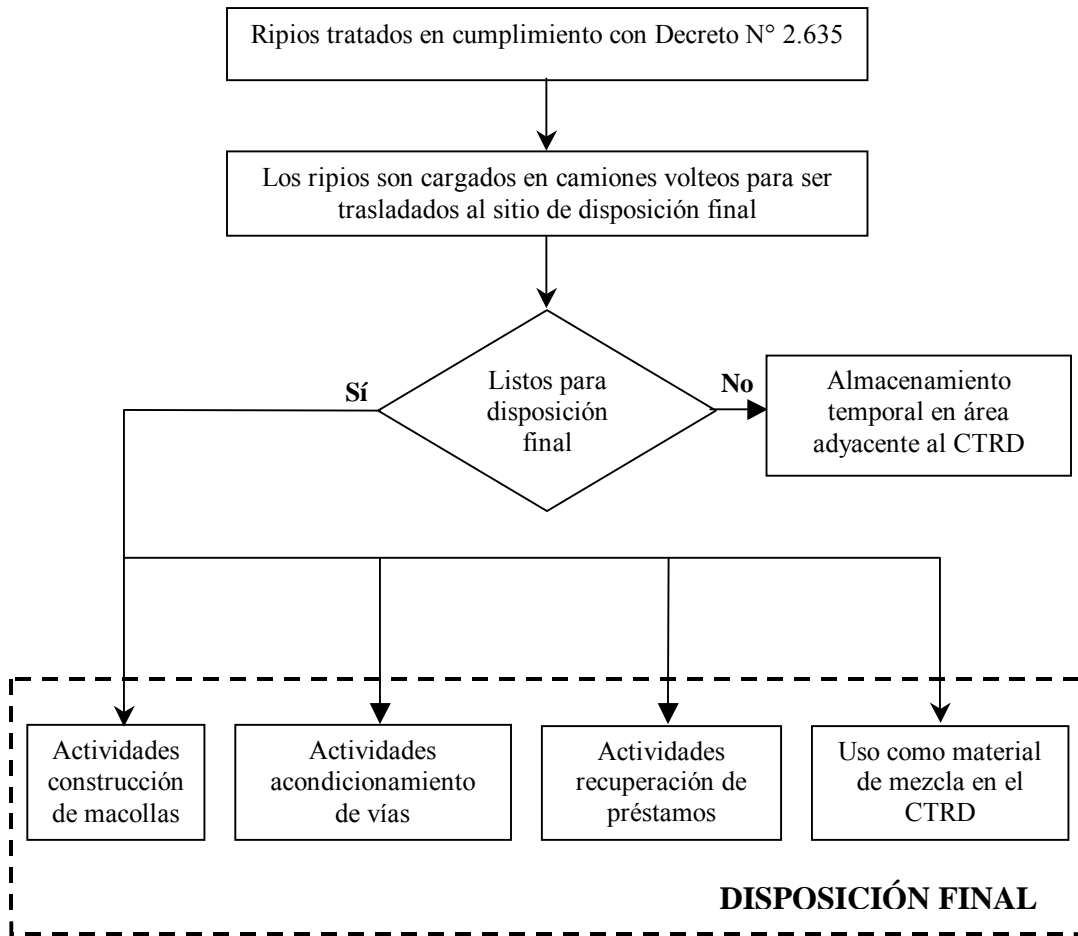


Diagrama de flujo del procedimiento de disposición final de ripios en el CTRD

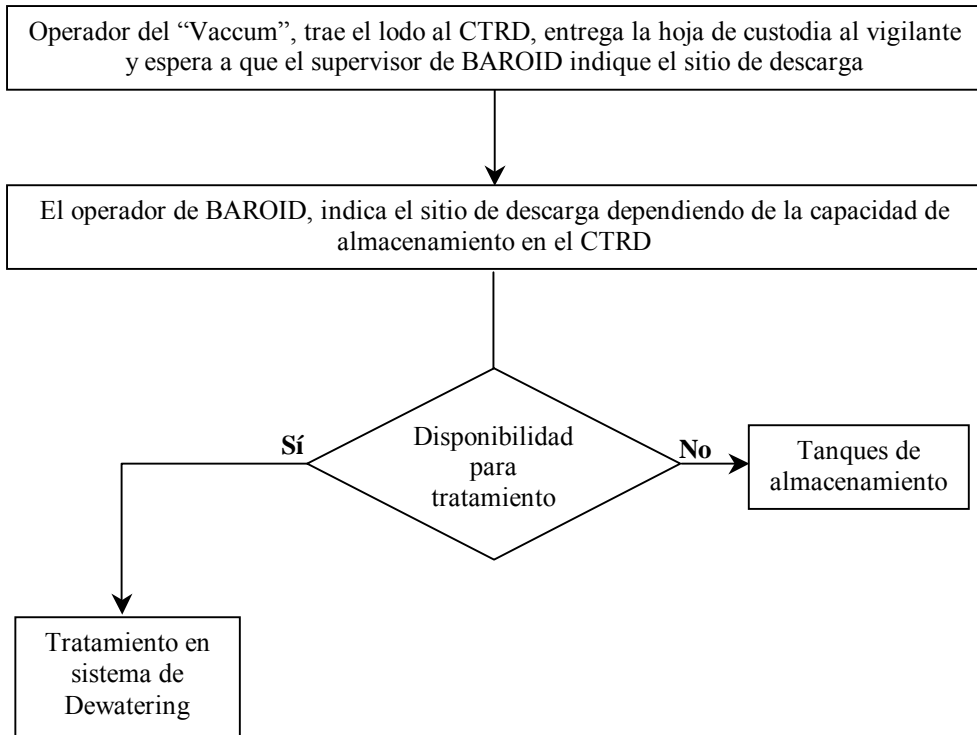


Diagrama de flujo del procedimiento de recepción de lodos en el CTRD

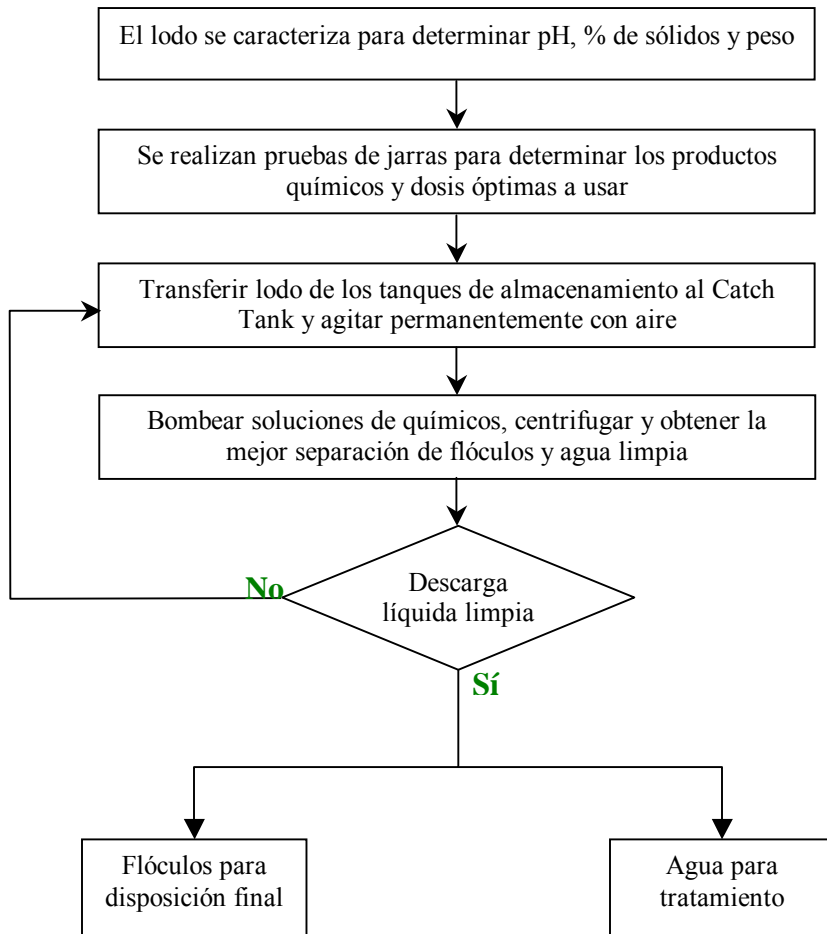


Diagrama de flujo del procedimiento de tratamiento de lodos en el CTRD

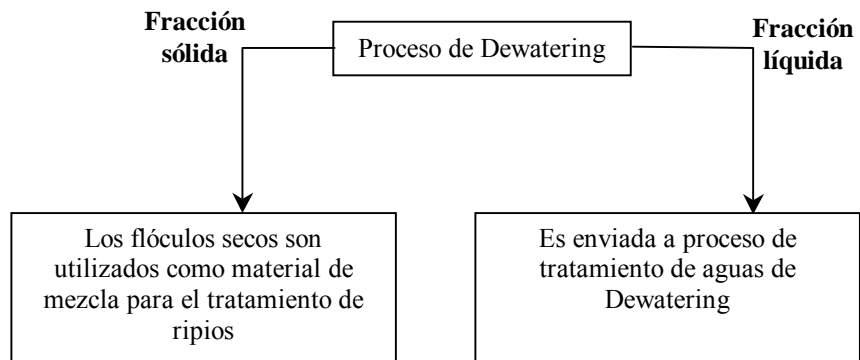


Diagrama de flujo del procedimiento para la disposición final de lodos en el CTRD

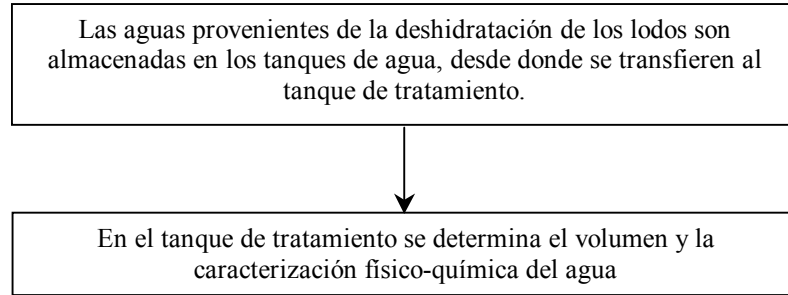


Diagrama de flujo del procedimiento de recepción de aguas provenientes del dewatering en el CTRD

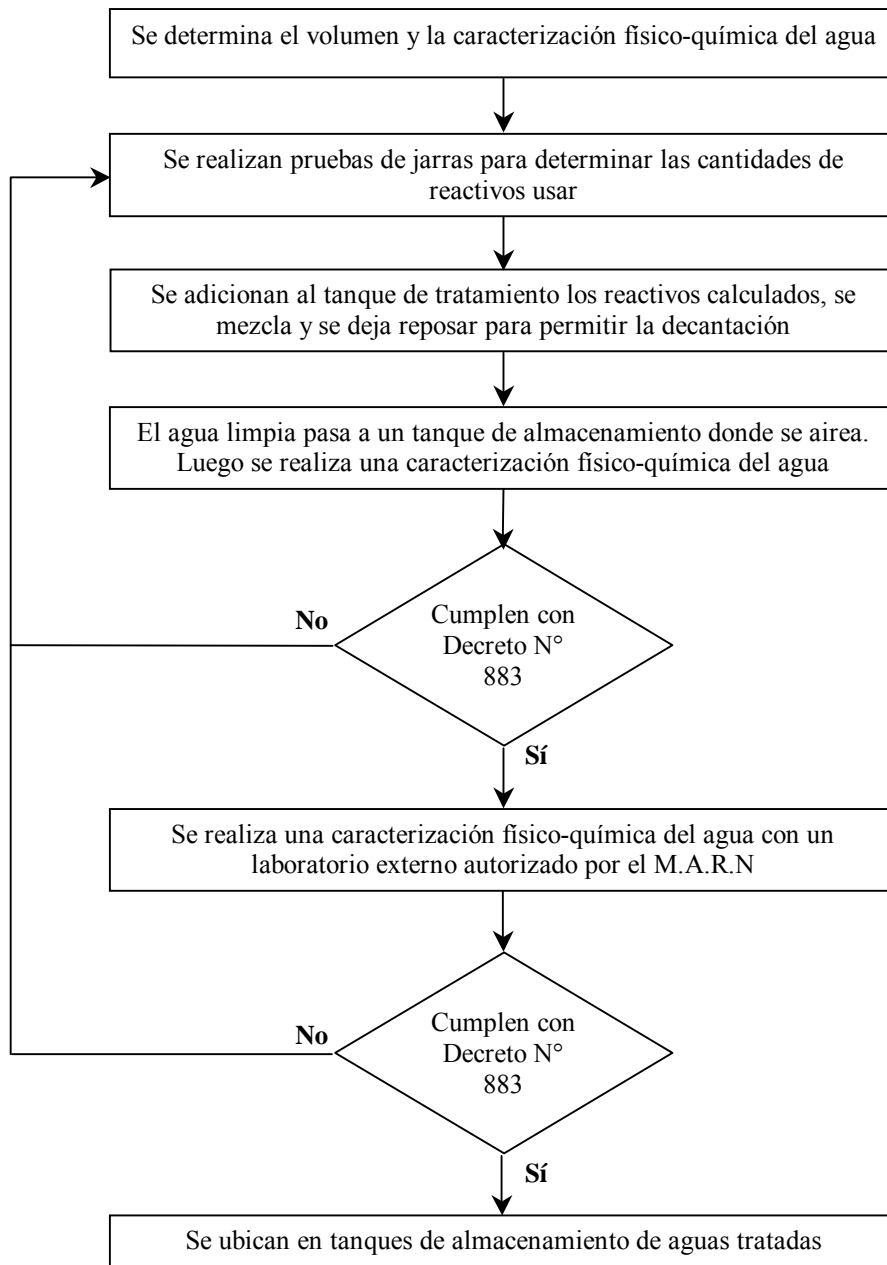


Diagrama de flujo del procedimiento para el tratamiento de las aguas provenientes del dewatering de los lodos en el CTRD

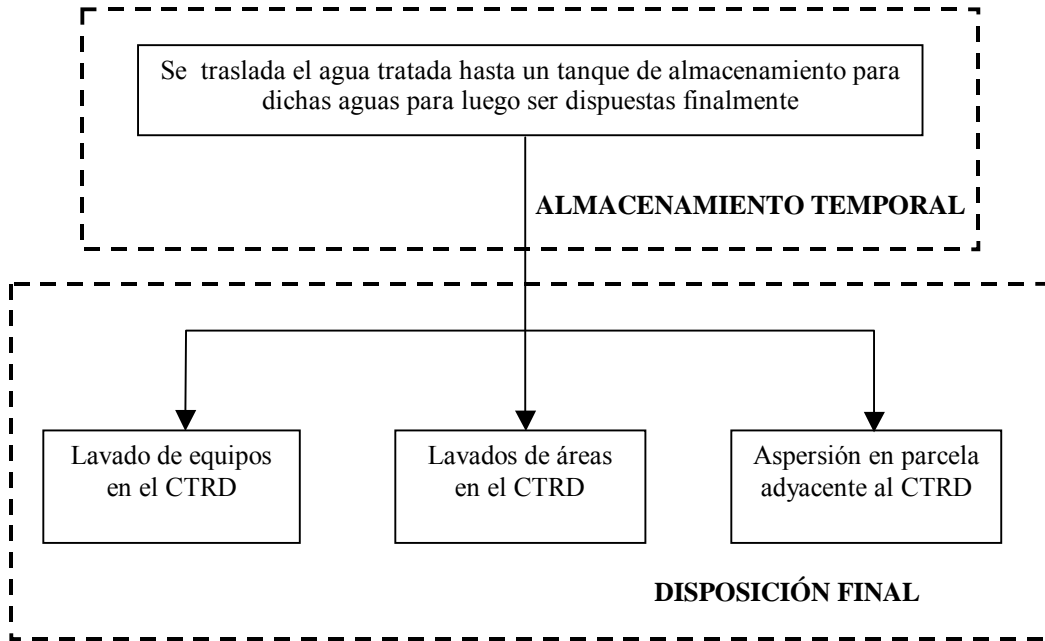


Diagrama de flujo del procedimiento de disposición final de las aguas provenientes del dewatering en el CTRD

ANEXO 4

Normativa Legal para la Disposición de Rípios
y Efluentes de Perforación
Decreto N° 2.635 y Decreto N° 883

NORMATIVA LEGAL PARA EL CONTROL DE LA RECUPERACIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS Y MANEJO DE DESECHOS PELIGROSOS

Decreto N° 2.635

Sección II

De las disposiciones técnicas para el manejo de desechos peligrosos generados por la exploración y producción de petróleo.

Artículo 48: Los rípios y fluidos de perforación elaborados en base agua se podrán disponer conforme a las siguientes prácticas:

- Confinamiento en el suelo.
- Esparcimiento en suelos.
- Disposición final en cuerpos de agua superficiales.
- Inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados.

Parágrafo Único: El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá utilizar otras prácticas, previa demostración por parte del interesado de la factibilidad técnica y ambiental de su aplicación.

Artículo 49: La práctica de confinamiento en el suelo se realizará cumpliendo con las siguientes condiciones:

1) El área de disposición final no debe ser inundable y poseer una capa o membrana impermeabilizante en sus paredes, fondo y tope. Cuando el desecho exceda las

concentraciones máximas permisibles en lixiviados establecidas en el Anexo D, deberá ser tratado hasta cumplir con dichos límites.

2) Los desechos deberán ser mezclados con suelo autóctono u otro material absorbente que les confiera la resistencia y compactación del suelo circundante.

3) La mezcla suelo/desecho resultante no debe exceder 50 por ciento de humedad y deberá cumplir los parámetros indicados en la lista que figura en este mismo artículo.

4) El tope de la mezcla resultante se encontrará por lo menos a 1 metro de la superficie.

5) La profundidad del acuífero aprovechable más superficial será mayor de 6 metros y el fondo de la fosa se encontrará por lo menos a 1.5 metros por encima del mismo.

6) El área de confinamiento deberá sellarse con suelo y restablecer la cobertura vegetal, empleando plantas preferiblemente de especies propias de la localidad, que no sean frutales y que se adapten a las condiciones presentes.

7) Límites de la mezcla suelo/desecho con fines de confinamiento en el suelo son los siguientes:

PH	6-9
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	<12
Relación adsorción de sodio (RAS)	<12
Aceites y Grasas (% en peso)	<3
Arsénico	40 mg/Kg
Bario	40000 mg/Kg

Cadmio	10 mg/Kg
Mercurio	10 mg/Kg
Selenio	10 mg/Kg
Plata	10 mg/Kg
Cromo	500 mg/Kg
Zinc	500 mg/Kg
Plomo	500 mg/kg

Artículo 50: La práctica de esparcimiento en suelos se llevará a cabo cumpliendo con las siguientes condiciones:

- 1) El área de disposición final debe estar alejada por lo menos 500 m de cuerpos de agua o fuera de la planicie de inundación de dichos cuerpos, de acuerdo a la información hidrológica existente.
- 2) La topografía del área de disposición final deberá tener una pendiente menor de 3 por ciento, orientada hacia el cuerpo de agua superficial más cercano.
- 3) El desecho no debe exceder las concentraciones máximas permisibles en lixiviados, establecidas en el Anexo D.
- 4) La mezcla suelo/desecho debe cumplir con los parámetros establecidos en la lista siguiente:

PH	5-8
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	<3,5
Cloruros totales (ppm)	<2.500

Relación adsorción de sodio (RAS)	<8
Aluminio intercambiable (meq/100gr)	<1,5
Saturación con base (%)	>80
Aceites y Grasas (% en peso)	≤1
Arsénico	25 mg/Kg
Bario	20.000 mg/Kg
Cadmio	8 mg/Kg
Mercurio	1 mg/Kg
Selenio	2 mg/Kg
Plata	5 mg/Kg
Cromo	300 mg/Kg
Zinc	300 mg/Kg
Plomo	150 mg/kg

Artículo 51: Los desechos indicados en el artículo 48 pueden disponerse en cuerpos de aguas marino-costeros y oceánicos cumpliendo las medidas derivadas de la evaluación ambiental correspondiente, para definir la distancia, profundidad y condiciones de las descargas que aseguren la dispersión y protección del medio. La práctica no podrá realizarse si los desechos contienen barita, que de acuerdo al fabricante, exceda 1,0 mg/kg de mercurio, 3,0 mg/kg de cadmio, o presenten aceite libre.

Parágrafo Único: Se prohíbe esta práctica en Áreas Bajo Régimen de Administración Especial con fines protectores, áreas de cultivos de moluscos u otras especies marinas o de cultivos de algas, cuerpos de agua dulce, albuferas, arrecifes coralinos y praderas de fanerógamas marinas.

Artículo 52: Los ripsios y fluidos de perforación elaborados en base a aceites minerales de emulsión inversa o que contengan aceites de motor u otro tipo de hidrocarburos, podrán disponerse conforme a las siguientes prácticas:

- Inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados.
- Biotratamiento.
- Esparcimiento en suelos.
- Incineración conforme a lo estipulado en el Capítulo V del Título III de este Decreto.

Parágrafo Único: El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables podrá autorizar otras prácticas, previa demostración por parte del interesado de la factibilidad técnica y ambiental de su aplicación.

Artículo 53: La práctica de biotratamiento se llevará a cabo cumpliendo con las siguientes condiciones:

- 1) Contenido de hidrocarburos biodegradables en el desecho entre 1% y 10%.
- 2) El desecho no exceda las concentraciones máximas permisibles en lixiviados establecidas en el Anexo D.
- 3) El desecho tenga un pH entre 6-8.
- 4) Para la aplicación de la técnica de Biotratamiento sobre suelo arable:

- a) El área del terreno debe estar conformada por suelos de textura franca, o franco arenosa o franco limosa o franco arcillosa, o acondicionado artificialmente.
- b) La profundidad del nivel freático debe ser mayor de 4 metros.
- c) El área de disposición final no debe ser inundable.

Parágrafo Único: El desecho y el terreno podrán ser acondicionados o tratados para alcanzar las condiciones descritas en este artículo, previo a la aplicación del Biotratamiento.

Artículo 54: Las arenas de producción, suelos contaminados con hidrocarburos y lodos aceitosos provenientes de fondos de tanques de almacenamiento de crudos separadores crudo/agua, podrán disponerse conforme a las siguientes prácticas:

- Biotratamiento, de acuerdo a las condiciones indicadas en el artículo 53.
- Esparcimiento en suelos, conforme a las condiciones indicadas en el artículo 50.
- Incineración, según las condiciones indicadas en el Capítulo V del Título III de este Decreto.

Parágrafo Único: El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá autorizar otras prácticas para estos u otros desechos de exploración y producción de petróleo, previa demostración por parte del interesado de la factibilidad técnica y ambiental de su aplicación.

Artículo 55: Los fluidos y ripios de perforación en base agua o aceite y lodos aceitosos, mientras no sean dispuestos, deberán almacenarse en fosas o tanques de tamaño, diseño y construcción adecuadas a los volúmenes a contener sin que presenten riesgos de derrames o infiltraciones. Si se utilizan fosas para el

almacenamiento durante la perforación de pozos, las mismas deberán someterse al proceso de sellado, conforme a la evaluación ambiental, en un lapso no mayor de 1 año después de completada la actividad de perforación.

El almacenamiento de otros desechos generados en actividades de exploración y producción de petróleo deberá realizarse asegurando que no presenten riesgos de impacto a la salud y al ambiente.

Artículo 56: El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá exigir como medida de monitoreo y control la perforación de pozos a nivel de acuíferos aprovechables, la realización de pruebas de toxicidad empleando bioindicadores acuáticos o terrestres, mediciones de compuestos volátiles en aire u otras evaluaciones que estime procedentes para casos representativos de aplicación de las prácticas de almacenamiento y disposición final indicadas en este Capítulo.

Artículo 57: Para el manejo de los desechos peligrosos de las actividades de exploración y producción de petróleo que estén almacenados a la fecha de promulgación de este Decreto, se seguirán las mismas prácticas establecidas en este Capítulo.

Artículo 58: El almacenamiento y la disposición final de los desechos peligrosos generados de las actividades de exploración y producción de petróleo podrá realizarse en un área acondicionada para el proceso, en la zona donde fueron generados o en otra cercana que reúna las condiciones necesarias para el almacenamiento y la disposición final; esta información será presentada por el generador como parte del plan de cumplimiento.

Artículo 59: El transporte podrá efectuarse con vehículos del generador, con transportistas de materiales inflamables, si son inflamables, o con vehículos para

limpieza de lodos de alcantarillado y pozos sépticos, bajo la supervisión de una empresa manejadora o del generador del desecho.

NORMAS PARA LA CLASIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA Y VERTIDOS O FLUENTES LÍQUIDOS

Decreto N° 883

Sección II

De la clasificación de los constituyentes en los vertidos líquidos

Artículo 9: Los constituyentes de los vertidos líquidos se agrupan dos categorías:

Grupo I: Sustancias para las cuales existe evidencia teóricas o práctica de su efecto tóxico, agudo o crónico:

- 1.- Compuestos organohalogenados y sustancias que puedan dar origen a compuestos de este tipo en el medio acuático.
- 2.- Compuestos organofosfóricos.
- 3.- Sustancias cancerígenas.
- 4.- Mercurio y compuestos de mercurio.
- 5.- Cadmio y compuestos de cadmio.
- 6.- Aceites minerales persistentes e hidrocarburos derivados del petróleo, de lenta descomposición.
- 7.- Metaloides, metales y sus compuestos de la siguiente lista: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio, Telurio, Titanio, Uranio, Vanadio y Zinc.
- 8.- Biocidas y sus derivados.

- 9.- Compuestos organosilícicos tóxicos o persistentes.
- 10.- Cianuros y fluoruros.
- 11.- Sustancias radiactivas.
- 12.- Sustancias sintéticas persistentes que puedan flotar, permanecer suspendidas o sedimentar perjudicando cualquier uso de las aguas.

Grupo II: Sustancias o parámetros que aún cuando no se conozca de su efecto tóxico, agudo o crónico, generan condiciones en el cuerpo receptor que afectan la biota o perjudican cualquier uso potencial de sus aguas:

- 1.- Aceites naturales e hidrocarburos degradables o poco persistentes.
- 2.- Materia orgánica carbonácea expresada en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}) y demanda química de oxígeno (DQO).
- 3.- Compuestos inorgánicos del fósforo y fósforo elemental.
- 4.- Compuestos orgánicos no tóxicos del fósforo.
- 5.- Compuestos orgánicos e inorgánicos del nitrógeno.
- 6.- Cloruros.
- 7.- Detergentes.
- 8.- Dispersantes.
- 9.- Sólidos suspendidos totales que no contengan elementos tóxicos.
- 10.- Color.
- 11.- Temperatura.
- 12.- pH.
- 13.- Parámetros biológicos.

Parágrafo Primero: Los límites de descarga del primer grupo deberán cumplirse, sin excepción, para todas las descargas a cuerpos de agua, medio marino costero y submarino, redes cloacales y para disposición directa sobre el suelo. Asimismo, deberán cumplirse para la infiltración en el subsuelo, salvo en los casos expresamente

previstos en esta norma. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables determinara los límites para sustancias que no los tengan fijados, en función de los estudios que presente el administrado.

Parágrafo Segundo: Los límites de descargas del segundo grupo podrán ajustarse a las características actuales del receptor, sujetas a las restricciones que imponga la capacidad de asimilación de este, aplicando como criterio general que las descargas no alteren la calidad del mismo. En los casos de cuernos de agua sujetos a una clasificación la calidad de las aguas estará definida por los parámetros que correspondan según el uso a que hayan sido destinadas. El control de estos parámetros se efectuará en base a límites de cargas másicas en Kg/d o en Kg de constituyente/unidades de producción (expresadas en la unidad que aplique a cada caso particular).

Sección III

De las descargas a cuerpos de aguas

Artículo 10: A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

Parámetros Físicos-Químicos	Límites máximos o rangos
Aceite minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceite y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable*
Aldehídos	2,0 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l

Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color real	500 unidades de Pt-Co
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5,20)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + Nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6-9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l

Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 mg/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas	
Órgano fosforado y carbamatos	0,25 mg/l
Órgano clorados	0,05 mg/l
Radioactividad	
Actividad a	Máximo 0,1 Bq/l
Actividad b	Máximo 1,0 Bq/l

*Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Parámetros biológicos: Números más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100 ml, en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml.

Parágrafo Primero: En ríos la variación de la temperatura media de una sección fluvial en la zona de mezcla, comparada con otra aguas de arriba de la descarga del vertido líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia de temperatura del vertido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

Artículo 11: El Ejecutivo Nacional mediante Decreto podrá establecer límites diferentes para los vertidos a determinados cuerpos de agua, en función de sus

características específicas. Igualmente podrá fijar el caudal de diseño de control para cada curso de agua receptor y condiciones especiales para determinadas épocas del año, conforme a la variación de las condiciones de caudal por cada período estacional, y límites de efluentes para determinados sectores industriales en los parámetros que les son relevantes, sujetos a las restricciones adicionales que imponga la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor.

Sección VI

De las descargas o infiltración en el subsuelo

Artículo 16: Se prohíbe la descarga, infiltración o inyección en el suelo o en el subsuelo de vertidos líquidos tratados o no, cuyo contenido de sustancias pertenecientes al grupo 1, especificadas en el artículo 9, superen los límites establecidos en el artículo 10 de este Decreto.

Artículo 17: Se exceptúa de lo dispuesto en el artículo anterior a las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación de hidrocarburos en acuíferos no aprovechables y yacimientos petrolíferos, en los siguientes casos:

1) En acuíferos no aprovechables: se permitirá, previo análisis técnico, económico y ambiental de alternativas, cuando se trate de:

- Lodos de perforación en base a agua y aceite en etapa de exploración.
- Lodos de perforación en base a agua en etapas de desarrollo y explotación.
- Lodos de perforación en base a agua y aceite, aguas de formación y aguas efluentes de procesos de producción de crudos, en acuíferos lenticulares, previa determinación de su condición como tal, en etapas de desarrollo y producción.

La inyección se efectuará cumpliendo las siguientes condiciones:

- i. Profundidad mayor de 200 metros por debajo de la base del acuífero aprovechable más profundo, con una capa impermeable de separación con un espesor de por lo menos 30 metros a una capa semipermeable de por lo menos 200 metros.
- ii. Acuíferos receptores con barreras impermeables supra e infrayacentes de espesor no menor de 2 metros cada una, construidas con material arcilloso, lutítico o equivalente, que impidan el movimiento vertical del fluido inyectado.
- iii. Condiciones petrofísicas (permeabilidad, porosidad y cantidad de arcilla) y de espesor y desarrollo lateral de la capa de almacén que garanticen la inyección sin exceder la presión de fractura de las barreras impermeables ni limiten la capacidad de almacenamiento del volumen de lodo planificado para la inyección. A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes condiciones mínimas:
 - Permeabilidad: mayor de 50 milidarcy.
 - Cantidad de arcilla: menor de 15%.
 - Porosidad: mayor de 12%.
 - Espesor de la capa almacén: mayor a 3 metros.
- iv. Sellos de cemento entre el revestimiento y la formación que eviten la migración del fluido inyectado hacia el acuífero más profundo. A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes especificaciones:
 - Longitud mínima de 30 metros para el sello suprayacente del acuífero receptor.
 - Longitud mínima de 200 metros para el sello de la base del acuífero aprovechable más profundo.

2) En yacimientos petrolíferos y acuíferos asociados: cuando se trate de aguas de formación, aguas efluentes de procesos de producción de crudos, lodos de perforación, hidrocarburos o desechos de hidrocarburos. Las condiciones para la inyección se fijarán de acuerdo a las características de cada yacimiento.

Parágrafo Único: El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá ordenar la perforación de pozos a nivel de acuíferos aprovechables, como medida de monitoreo y control para operaciones permanentes de inyección. Asimismo, podrá exigir el uso de técnicas como registros eléctricos, de flujo, de presión y de temperatura, pruebas de cementación y de cualquier otro mecanismo que permita el seguimiento y control del avance del fluido inyectado en el acuífero o yacimiento receptor.

Artículo 18: Las actividades de inyección establecidas en este Capítulo quedan sujetas a la autorización previa del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. A tales efectos los interesados presentarán ante el señalado Ministerio una solicitud acompañada de los siguientes recaudos:

A.- Para las actividades señaladas en el artículo 16.

- 1.- Identificación del solicitante.
- 2.- Justificación de la solicitud.
- 3.- Balance hídrico del área a afectar.
- 4.- Estudios sobre requerimientos hídricos y de nutrientes de la vegetación presente en el área o posibles cultivos a desarrollarse.
- 5.- Estudios de suelos a ser afectados (permeabilidad, porosidad y capacidad de intercambio iónico).
- 6.- Nivel freático.

7.- Características de las aguas a ser descargadas (cantidad y calidad fisicoquímica y bacteriológica).

8.- Calidad de las aguas de los acuíferos susceptibles de ser contaminados.

B.- Para las actividades señaladas en el artículo 17.

1.- Identificación del solicitante.

2.- Justificación de la solicitud.

3.- Cantidad, calidad y variaciones que presenta el fluido a inyectar.

4.- Características hidrogeológicas del estrato receptor (permeabilidad, cantidad de arcilla, porosidad y espesor de la capa almacén).

5.- Características del acuífero receptor, indicando localización, calidad de agua y usos presentes y futuros.

6.- Características estructurales, confinamiento y riesgo sísmico.

7. Prueba de cementación del pozo y registros que indiquen la calidad de la cementación.

8. Sistema de inyección del pozo: Capacidad de inyección, carga potenciométrica, presiones de inyección, frecuencia del proceso.

9. Programa de emergencia para ser aplicado al proceso, que incluya medidas de saneamiento.

10. Presión de fractura de barreras impermeables.

**CONCENTRACIONES MÁXIMAS PERMISIBLES EN LIXIVIADOS
ESTABLECIDO POR EL DECRETO N° 2.635 EN EL ANEXO D**

Constituyente	Concentración Máxima Permitida (mg/l)	Constituyente	Concentración Máxima Permitida (mg/l)
Arsénico	5.0	Benceno	0.5
Bario	100.0	Eter bis (2- cloro etílico)	0.05
Cadmio	1.0	Cloro Benceno	100.0
Cromo hexavalente	5.0	Cloroformo	6.0
Níquel	5.0	Cloruro de Metilo	8.6
Mercurio	0.2	Cloruro de Vinilo	0.2
Plata	5.0	1,2-diclorobenceno	4.3
Plomo	5.0	1,4-diclorobenceno	7.5
Selenio	1.0	1,2-dicloroetano	0.5
Acrilonitrilo	5.0	1,1-dicloroetileno	0.7
Clordano	0.03	Disulfuro de carbono	14.4
O-cresol	200.0	Fenol	14.4
M-cresol	200.0	Hexaclorobenceno	0.13
P-cresol	200.0	Hexacloro-1,3- butadieno	0.5
Ácido 2,4-diclo- rofenoxiacético	10.0	Isobutanol	36.0
2,4 dinitrotolueno	0.13	Etilmetilcetona	200.0
Endrin	0.02	Piridina	5.0
Heptacloro (y su	0.008	1.1.1.2-	10.0

epoxido)		tetracloroetano	
Hexacloroetano	3.0	1.1.2.2-tetracloroetano	1.3
Lindano	0.4	Tetracloruro de carbono	0.5
Metoxicloro	10.0	Tetracloroetileno	0.7
Nitrobenceno	2.0	Tolueno	14.4
Pentaclorofenol	100.0	1.1.1-tricloroetano	30.0
2,3,4,6-tetraclorofenol	1.5	1.1.2-tricloroetano	1.2
Toxafeno (canfenoclorado técnico)	0.5	Tricloroetileno	0.5
2,4,5- triclorofenol	400.0		
2,4,6- triclorofenol	2.0		
Ácido 2,4,5-tricloro fenoxipropionico (silvex)	1.0		