

**ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS
PELIGROSAS EN LOS LODOS DE PERFORACIÓN.**

TATIANA BUENDÍA PRETEL

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016**

**ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS
PELIGROSAS EN LOS LODOS DE PERFORACIÓN.**

TATIANA BUENDÍA PRETEL

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Orientador
JIMMY EDGARD ÁLVAREZ DÍAZ
Biólogo Doctor**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del Calificador

Bogotá, D.C., Octubre de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Francisco Archer Narváez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

A Dios por permitirme lograr todas mis metas y propósitos.

A mis padres, Nohemí Pretel y Pedro Buendía, por darme todo y apoyarme siempre en cada paso de mi vida.

A Miguel Cabezas por siempre estar conmigo y ser mi compañero absoluto.

A Nancy Escamilla por ser mi segunda madre y ayudarme incondicionalmente.

A Inés Pretel y Liliana Cortes por ser mi familia y estar conmigo en las buenas y malas.

Y a mi abuela, Ana Martínez por ser la razón de querer lograr mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor en Biología **JIMMY EDGAR ÁLVAREZ DÍAZ** por su colaboración, orientación y apoyo en la monografía.

A la **FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA** por ofrecerme la excelente formación académica para desarrollar la monografía.

A mi familia, mi novio Miguel Cabezas y mi suegra Nancy Escamilla por su apoyo incondicional y constante.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	17
1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS DE PERFORACIÓN Y SU COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA	18
1.1 LODO DE PERFORACIÓN	18
1.2 SISTEMA DE CIRCULACIÓN DEL LODO DE PERFORACIÓN	19
1.3 CATEGORIZACIÓN DE LOS LODOS	20
1.4 ADITIVOS USADOS EN LOS LODOS	23
1.5 ADITIVOS MÁS USADOS	25
2. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS DE LOS LODOS	29
2.1 SISTEMAS DE ETIQUETADO	29
2.2 CLASIFICACIÓN NFPA DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS	31
2.3 APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE CLASIFICACIÓN	33
2.4 CLASIFICACIÓN PROPUESTA	33
2.4.1 Clasificación por salud	37
2.4.2 Clasificación por inflamabilidad	37
2.4.3 Clasificación por reactividad	38
2.4.4 Clasificación por riesgos especiales	39
3. TRATAMIENTO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS CLASIFICADAS	40
3.1 INFORMACIÓN ECOLÓGICA Y CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN	40
3.2 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA	47
3.3 TRATAMIENTOS	48
3.4 VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS	57
4. CONCLUSIONES	65
5. RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación de los sistemas de los fluidos de perforación.	22
Cuadro 2. Aditivos más usados según su uso.	25
Cuadro 3. Información sobre toxicidad ambiental y disposición de las sustancias contenida en las secciones 12 y 13 respectivamente.	41
Cuadro 4. Tratamiento para los recortes de perforación en el estado de Tabasco.	56
Cuadro 5. Pros y contras de las técnicas utilizadas para la disposición final de los lodos.	62

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema del sistema de circulación.	20
Figura 2. Pictogramas de peligro del SGA.	31
Figura 3. Esquema Diamante NFPA 704.	32
Figura 4. Lineamientos de gestión ambiental para lodos de desecho base agua salada	50
Figura 5. Lodo base agua zona altamente sensitiva.	51
Figura 6. Lodo base agua zona sensitiva.	52
Figura 7. Lodo base agua zona sensitiva.	53

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Clasificación general de los fluidos de perforación.	21
Gráfico 2. Fuentes consultadas.	27
Gráfico 3. Uso de los aditivos en lodos base agua.	27
Gráfico 4. Distribución de las sustancias por grado de peligrosidad a la salud.	37
Gráfico 5. Distribución de las sustancias por grado de peligrosidad por inflamabilidad.	38
Gráfico 6. Distribución de las sustancias por grado de peligrosidad por inflamabilidad.	39

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación NFPA 704 de las sustancias químicas peligrosas de los lodos de perforación.	34
Tabla 2. Costos comerciales de disposición fuera del sitio para suelos contaminados.	54
Tabla 3. Costos comerciales de disposición para lodos base agua y cortes.	54
Tabla 4. Comparación de las opciones de manejo de desechos de una sección cruzada de países, estados y provincias.	55
Tabla 5. Relación de la clasificación NFPA 704 y las hojas de seguridad.	59

GLOSARIO

ADITIVOS QUÍMICOS: sustancias químicas que ayudan a controlar las propiedades del fluido de perforación.

BIOCONCENTRACIÓN: corresponde a la acumulación de una sustancia en los tejidos de los organismos vivos en una proporción mayor a la que ocurre en el medio.

CONCENTRACIÓN LETAL MEDIANA (CL50): concentración de agente tóxico en un medio ambiente que mata al 50% de los animales de prueba, en el grupo normalizado en cierto tiempo de exposición y de observación subsecuente. se le denota cl50

DESECHOS PELIGROSOS: los desechos, con excepción de los desechos radioactivos, que, a causa de su reactividad química, de sus características tóxicas, explosivas, corrosivas o de otro tipo, constituyen un peligro para la salud o el ambiente, ya sea solos o cuando entran en contacto con otros desechos.

FLUIDO DE CONTROL (LODO DE PERFORACIÓN): cualquiera de una serie de fluidos líquidos y gaseosos y mezclas de fluidos y sólidos (en forma de suspensiones de sólidos, mezclas y emulsiones de líquidos, gases y sólidos) utilizados en operaciones de perforación de pozos de sondeo en la tierra

RIPIOS DE PERFORACIÓN: También llamados recortes de perforación. Trozos de roca sacados por la barrena (broca) de perforación al cortar la roca en el agujero. Los recortes son distintos de los derrumbes, detritos rocosos que se astillan como consecuencia de la inestabilidad del pozo. En la inspección visual de la roca en el filtro (cedazo) de la zaranda vibratoria normalmente se distinguen los recortes de los derrumbes

RESUMEN

En la revisión documental realizada, se encontraron un gran número de sustancias químicas que se utilizan para conformar los distintos aditivos que forman los lodos de perforación. El propósito del presente trabajo fue clasificar estas sustancias químicas de acuerdo al tipo de aditivo al que corresponden. Para luego clasificar nuevamente los aditivos más importantes de acuerdo a sus características de peligrosidad para la salud, por inflamabilidad o reactividad, siguiendo la clasificación NFPA 704, que es una de varias normas disponibles de etiquetado para las sustancias químicas. También se realizó una tercera clasificación teniendo en cuenta la información ambiental y las consideraciones de disposición final contenidas en las respectivas hojas de seguridad para cada uno de los aditivos considerados peligrosos. Se tomaron en cuenta las sustancias más peligrosas en los lodos de perforación base agua y las tecnologías de tratamiento más adecuadas para su remoción o estabilización según la legislación vigente. Sin embargo, se encontró que la normativa vigente en Colombia no es clara ni detalla específicamente los tipos de tratamiento que se le deben dar a las sustancias químicas por separado, lo que dificulta la disposición final adecuada de las sustancias químicas más peligrosas lo que se traduce en numerosos pasivos ambientales generados en la industria petrolera. Finalmente, se encontró que el 15% de las sustancias químicas evaluadas presentaron un riesgo alto para la salud humana y el ambiente, a las cuales se les propuso un protocolo de tratamiento para su remoción o estabilización en los lodos de perforación.

Palabras claves: Fluido de perforación, sustancias químicas peligrosas, tratamiento, aditivos

INTRODUCCIÓN

En Colombia, existe una política general de manejo ambiental para las sustancias peligrosas que brinda los lineamientos para la adecuada gestión ambiental de los mismos, desde la implementación de estrategias de prevención hasta el tratamiento adecuado de los mismos. Así mismo, existen lineamientos establecidos en la normativa colombiana y en las hojas de seguridad de las sustancias químicas que son comercializadas y transportadas. Sin embargo, no existe una guía específica para el manejo adecuado de este tipo de sustancias peligrosas que son utilizadas en la perforación de pozos petroleros.

De igual manera, la guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas producida por el Ministerio del Ambiente en 1999 y que se encuentra vigente, también brinda unos lineamientos generales sobre el procedimiento utilizado para implementar las medidas de manejo ambiental de los lodos y de las aguas residuales. De acuerdo con esta información disponible, entonces surge la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las alternativas de tratamiento de las sustancias químicas peligrosas utilizadas durante la perforación? Para responder correctamente, se deben establecer las alternativas de tratamiento de las sustancias químicas peligrosas en los lodos de perforación, mediante la verificación de la normativa nacional que regula la disposición de las sustancias químicas peligrosas. Para lograr este propósito, primero se debe identificar la composición química de los lodos de perforación, a través del estudio de algunos estudios de caso, internacionales y nacionales, para en una segunda fase propiciar una clasificación de las sustancias químicas peligrosas presentes en los lodos de perforación identificadas.

Este estudio propone analizar los datos de sustancias químicas presentes en los lodos de perforación, a través de la revisión de estudios de caso, internacionales y nacionales, aplicando una metodología que permita además la valoración cualitativa de las alternativas de tratamiento de las sustancias químicas peligrosas de los lodos de perforación, de acuerdo con la reglamentación normativa colombiana.

Se revisaron fuentes secundarias de información, como revistas indexadas, libros, monografías y páginas web oficiales que permitan conocer experiencias internacionales y nacionales sobre las sustancias químicas presentes en los lodos de perforación. Esta información se sistematizó en una base de datos desarrollada en Excel, donde se escogieron aleatoriamente tres sustancias por cada uso y se categorizaron las sustancias de acuerdo a la NFPA 704. Posteriormente se revisaron sus hojas de seguridad respectivas y se conoció su información ambiental y método de disposición y se escogió los tratamientos más adecuados para estas sustancias.

En el primer capítulo se identifica la composición de los lodos mediante la caracterización de los mismos, empezando por su definición y funciones, el sistema

de circulación de los lodos, los tipos de lodos, los aditivos usados en la preparación de los lodos y los aditivos escogidos para este trabajo. En el segundo capítulo se clasifican las sustancias químicas peligrosas comenzando a hablar primero sobre los sistemas de etiquetado, la clasificación NFPA de las sustancias químicas, la aproximación metodológica para clasificar estas sustancias y la clasificación propuesta. Finalmente, en el tercer capítulo se valoran las alternativas de tratamiento consideradas para las sustancias químicas clasificadas mediante el uso de la información ecología y las consideraciones de disposición, la normativa vigente en Colombia, los tratamientos usados y finalmente la valoración de las alternativas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer las alternativas de tratamiento actuales de las sustancias químicas peligrosas en los lodos de perforación, mediante la verificación de la normativa nacional que regula la disposición de las sustancias químicas peligrosas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la composición química de los lodos de perforación a través del estudio de algunos estudios de caso internacionales y nacionales.
- Clasificar las sustancias químicas peligrosas presentes en los lodos de perforación identificadas a partir de los estudios de caso internacionales y nacionales consultados.
- Valorar las alternativas de tratamiento de las sustancias químicas peligrosas de los lodos de perforación, de acuerdo con la reglamentación normativa colombiana.

1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS DE PERFORACIÓN Y SU COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA

1.1 LODO DE PERFORACIÓN

La perforación de pozos petroleros es una de las primeras actividades que se realiza en el proceso para encontrar petróleo y es la más importante en el proceso de búsqueda del crudo, ya que esta es la que nos permite llegar a donde se encuentra depositado el petróleo.

Uno de elementos claves para lograr que la perforación se realice de manera segura, para el ambiente y los trabajadores, es el lodo de perforación ya que según Lyons¹ este debe cumplir entre otras funciones, las siguientes:

- Enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación.
- Limpiar la broca y el fondo de pozo.
- Suspender los sólidos y transportar los cortes y desprendimientos a la superficie.
- Estabilizar el pozo y controlar presiones subsuperficiales.
- Asistir en la recolección de datos geológicos subsuperficiales y evaluación de formación.

Según el mismo autor, aparte de las funciones anteriormente descritas, el fluido de perforación debe cumplir con algunas consideraciones ambientales que permitan la manipulación de estas sustancias químicas en aquellas áreas en las que van hacer utilizadas. Además, se debe asegurar técnicamente que estas sustancias no sean corrosivas para la tubería de perforación ni para las operaciones de completamiento. Más importante aún, es que el fluido de perforación no impacten negativamente las formaciones productoras de los yacimientos que están siendo perforados.

Las funciones descritas por el autor, son algunas de las más obvias de un fluido de perforación. Asimismo, es importante que se apliquen adecuadamente al momento de la aplicación de los fluidos de perforación, ya que es la clave para perforar exitosamente los distintos yacimientos que por sus condiciones únicas resultan diferentes en cada caso de perforación iniciada.

Por último, es indispensable terminar este apartado con la definición del fluido de perforación, para lo cual se utiliza la planteada por el American Petroleum Institute (API), que resulta ser la definición más técnica y clara que se tiene: “un fluido de perforación es definido como un fluido circulante usado en la perforación rotaria para

¹ LYONS, William. Working Guide to Drilling Equipment and Operations. [s.l.] Elsevier Inc., 2010. p.2-4

realizar una o todas de las varias funciones requeridas en las operaciones de perforación”².

1.2 SISTEMA DE CIRCULACIÓN DEL LODO DE PERFORACIÓN

El sistema de circulación del lodo de perforación es como su nombre lo indica el medio por el cual circula el lodo durante la perforación de un pozo, y el proceso que lleva a cabo es como lo describe Reis a continuación:

La mayoría de los pozos de petróleo y gas son perforados empujando una broca contra la roca y rotándola hasta que la roca se desgasta. Una plataforma de perforación y su sistema son diseñados para controlar como la broca presiona contra la roca, como los cortes resultantes son removidos del pozo por el fluido de perforación y como los cortes son luego removidos del fluido de perforación para que este pueda ser reutilizado.

Durante la perforación, el fluido es inyectado en la sarta de perforación y a través de pequeños agujeros en la broca. La broca y los agujeros son diseñados para permitir que el fluido limpie y aleje los cortes de la broca. El fluido, con los cortes suspendidos, entonces fluye de vuelta a la superficie en el anular entre la sarta de perforación y la formación. En la superficie los cortes son separados del fluido, los cortes que contienen algo de líquido retenido son colocados en pozos para su posterior tratamiento y disposición. El fluido separado es reinyectado en la sarta de perforación para levantar más cortes.³

La anterior descripción nos dice lo que sucede en el pozo, pero ya en superficie el lodo pasa por una serie de equipos que se encargan de mantener el flujo en óptimas condiciones para que cumpla a cabalidad sus funciones, tal como una operación de explotación lo describe a continuación:

La principal función del sistema de circulación es mantener el fluido de perforación en un circuito cerrado (superficie – fondo del pozo – superficie). El sistema de bombas triplex es el más usado, ya que se pueden obtener altas eficiencias volumétricas y son de fácil operación y mantenimiento. Otra unidad importante dentro del sistema de circulación, es el sistema de control de sólidos, que se encarga de retirar tanto los sólidos de baja y alta gravedad específica, de acuerdo con las características que se deseen para el fluido de perforación (lodo pesado o no pesado). Está compuesto principalmente por: zarandas vibratorias, desarenador, desarcillador, desgasificador y limpiador de lodo.⁴

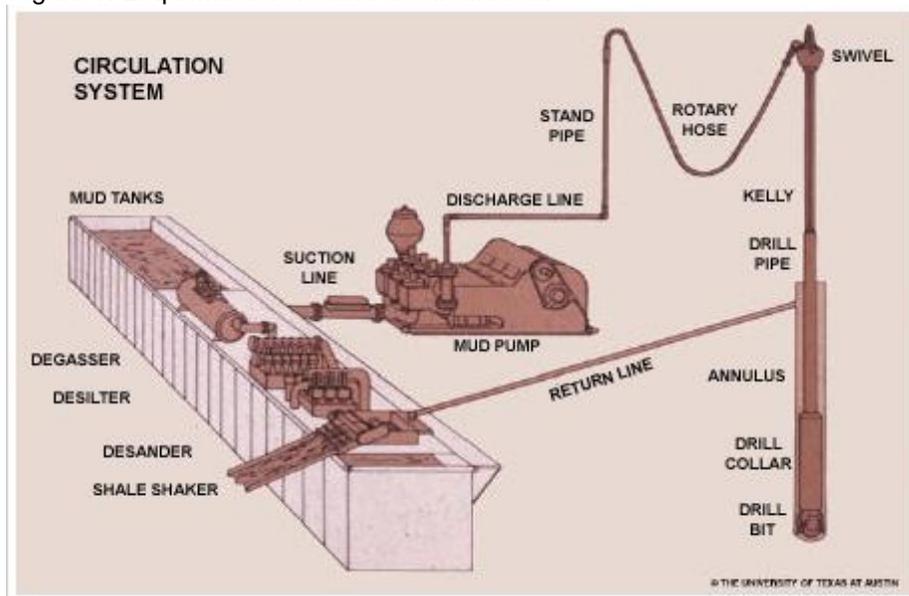
² FINKS, Johannes. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. [s.l] Elsevier Inc. 2015. p.1

³ REIS, John C., Drilling and production operations En: Environmental Control in Petroleum Engineering. Gulf Professional Publishing. 1996. p. 19-20

⁴ THORNELOE ENERGY. Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Perforación Exploratoria San Antonio. [CD-ROM] Bogotá D.C, 2010. Cap. 2. p. 60

El proceso del sistema de circulación del lodo, anteriormente descrito, se puede observar de manera detallada en la Figura 1, la cual consta de la maquinaria correspondiente a cada sección del sistema. El proceso inicia en los tanques de lodo, pasando por la línea de succión hacia la bomba de lodo que la impulsa hacia la línea de descarga y de allí se dirige hacia la tubería, manguera rotaria, manivela, Kelly, Kelly, collar de perforación y finalmente alcanza la broca por donde sale y llega al final del pozo. Una vez el fluido encuentra el fondo del pozo, comienza su retorno a la superficie por el espacio anular y la línea de retorno que lleva el lodo a la zaranda, desarenador, desarcillador y degasificador y, por último, de vuelta a los tanques de lodo donde comienza de nuevo el proceso. El sistema descrito anteriormente es el más básico, ya que dependiendo de las necesidades del pozo este puede tener varios equipos en superficie, por ejemplo, aquel necesario para la remoción de partículas más grandes o más pequeñas.

Figura 1. Esquema del sistema de circulación.



Fuente: OSHA. Mud circulation system [citado en: 1 de septiembre de 2016].
 Disponible en:
https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/drilling/mud_system.html

1.3 CATEGORIZACIÓN DE LOS LODOS

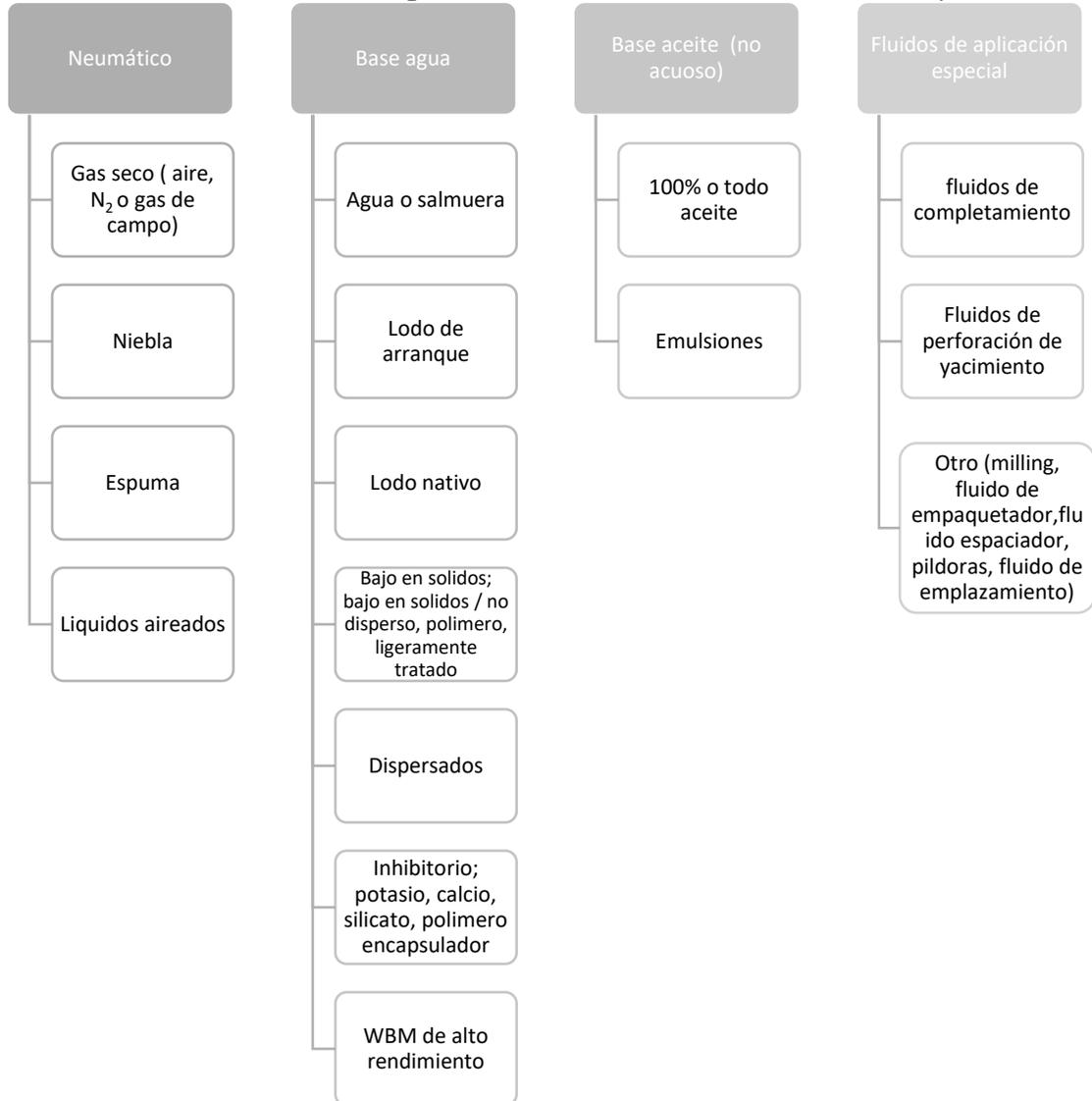
Los lodos de perforación son diseñados para adaptarse a las condiciones del pozo de manera que ayuden a controlar los factores anteriormente mencionados, para esto existen diferentes configuraciones de diseño, que suelen dividirse principalmente según la base con la que están elaborados. Para Scott *et al*; las distintas divisiones son:

- Fluidos neumáticos, que usan aire comprimido o gas, espuma y lodos aireados;

- WBM (lodo base agua), que usan agua o salmuera como la base del fluido y
- NAF's (fluidos no acuosos), que usan aceite u otro fluido de base no acuosa llamado OBM (lodo base aceite) o SBM (lodo base sintética)

Dentro de cada una de estas tres categorías generales, hay variaciones numerosas en las propiedades de los fluidos y productos que pueden ser usados dependiendo de las prácticas en un área y el proveedor de los fluidos de perforación.⁵

Gráfico 1. Clasificación general de los fluidos de perforación.



Fuente: SCOTT, Paul et.al. Drilling Fluids. En: IADC Drilling Manual. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS. 12. ed. [s, l]. 2015. p.5

⁵ SCOTT, Paul et.al. Drilling Fluids. En: IADC Drilling Manual. INTERNACIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS. 12. ed. [s, l]. 2015. p.5

El gráfico 1 muestra los diferentes componentes básicos de los lodos que pueden existir dentro de cada categoría general de los fluidos de perforación y además se incluyen los fluidos de aplicación especial, que como su nombre lo indica son fluidos utilizados en situaciones específicas de la perforación.

En Colombia y en el mundo los lodos más utilizados son los lodos base agua, debido especialmente a su bajo costo y amplio rango de aplicaciones en los diferentes tipos de perforaciones que puedan existir, como se puede observar en el Cuadro 1. Igualmente, se puede observar que estos presentan menos restricciones a nivel ambiental, lo que los convierten en la mejor opción a la hora de preparar un lodo de perforación. Sergei *et al* presentan otras razones por las cuales los lodos base agua son una mejor opción a la hora de escoger un lodo.

Las soluciones más ambientalmente seguras son las soluciones de agua con el uso de materiales amigables con la naturaleza: polisacáridos biodecompuestos, sus éteres y polvos de lodo. Cuando se usan tales soluciones se debe prestar atención particular a los inhibidores de arcillas aplicados, surfactantes y aditivos lubricantes necesitados para un servicio libre de fallas. Cuando se usan soluciones base aceite se debe prestar atención a la importancia de los aceites utilizados para hacer la mezcla. Es preferible usar composiciones desaromatizadas que, en caso de derrames, hagan menos daño al ambiente en comparación con las soluciones donde el combustible diésel, aceites minerales de baja viscosidad y mezclas de combustible diesels con petróleo y aceite son usadas como la fase de hidrocarburo.⁶

Cuadro 1. Clasificación de los sistemas de los fluidos de perforación.

Tipo de lodo	Componentes principales	Características generales
<i>acuoso</i>		
Agua dulce simple	Agua dulce	Bajo costo, aplicaciones en tierra, perforación rápida en formaciones estables, necesita espacio para el asentamiento de sólidos, se pueden usar floculantes.
Agua de mar simple	Agua de mar	Bajo costo, aplicaciones offshore
Lodo de arranque	Agua, bentonita	Bajo costo, hoyo superficial
Agua salada	Agua de mar, salmuera o agua salada saturada; arcilla de agua salada, almidón, polímero celulósico	Costo moderado, perforaciones de sal y reparación de pozos

⁶ PILGUN, Sergei et al. Environmentally Compatible Drilling Fluids. 2013.[s.l.] p.1

Cuadro 1. (Continuación)

Tipo de lodo	Componentes principales	Características generales
Cal o yeso	Agua fresca o salobre; bentonita, cal o yeso, lignosulfonato	Costo moderado, perforación de esquisto; mantenimiento simple, alta temperatura, tolerancia a la sal, anhidrita, cemento
Lignito o lignosulfonato (con cromo o libre de cromo)	Agua fresca o salobre; bentonita, caustica, lignito o lignosulfonato	Costo moderado, perforación de esquisto; mantenimiento simple, alta temperatura, tolerancia a la sal, anhidrita, cemento
Potasio	Cloruro de potasio; acrílico, polímero bio o celulósico, algo de bentonita	Costo moderado, estabilidad del hoyo; baja tolerancia a los sólidos perforados, cemento y sales bivalentes.
No acuosas		
Aceite	Petróleo crudo aguado (oxidado); crudo asfáltico, jabón, agua 2 -5%	Costo moderado, completamiento de pozo de baja presión y reparaciones de pozo, yacimientos superficiales de baja presión; agua usada para incrementar la densidad y capacidad de llevar los cortes; pueden aplicar fuertes restricciones ambientales
Asfáltico	Aceite diésel; asfalto, emulsionantes, agua 2 – 5%	Costo moderado, cualquier aplicación a 600°F (315.6°C); pueden aplicar fuertes restricciones ambientales
Emulsión invertida	Aceite diésel, mineral o mineral de baja toxicidad; emulsionantes, arcilla organofílica, resinas modificadas y jabones, salmuera 5 – 40%	Alto costo, cualquier aplicación hasta al menos 450°F (232.2°C), mantenimiento bajo, restricciones ambientales
Sintético	Hidrocarburos sintéticos o esterres, otros productos iguales a la emulsión invertida	Costo más alto, cualquier aplicación hasta al menos 450°F (232.2°C), mantenimiento bajo

Fuente. Adaptado de ASME SHALE SHAKER COMITEE. Drilling Fluids Processing Handbook. Gulf Professional Publishing. 2005. p. 18-19

1.4 ADITIVOS USADOS EN LOS LODOS

Los fluidos de perforación como se mostró anteriormente pueden tener diferentes bases y diferentes composiciones, estas dependerán principalmente de los aditivos que requieran para la perforación. “La clasificación general de los aditivos de los fluidos de perforación mostrada

abajo es basada en las definiciones de la Asociación internacional de Contratistas de Perforación (IADC)”⁷

- Aditivos de alcalinidad o control de pH son productos diseñados para controlar el grado de acidez o alcalinidad de un fluido de perforación. Estos aditivos incluyen cal, soda caustica y bicarbonato de soda.
- Bactericidas reducen el recuento de bacterias de un fluido de perforación. Paraformaldehído, soda caustica, cal y almidón son comúnmente usados como preservativos.
- Removedores de calcio son químicos usados para prevenir y superar los efectos contaminantes del anhídrido y yeso, ambas formas de sulfato de calcio que pueden arruinar la efectividad de casi cualquier lodo tratado químicamente. Los removedores de calcio más comunes son soda caustica, carbonato de sodio, bicarbonato de soda y ciertos polifosfatos.
- Inhibidores de corrosión tales como la cal hidratada y sal amina son añadidos frecuentemente al lodo y a los sistemas aire-gas. Lodos que contienen un adecuado porcentaje de coloides, ciertos lodos de emulsión y lodos aceitosos exhiben, en ellos mismos, excelentes propiedades inhibitorias de corrosión.
- Antiespumantes son productos diseñados para reducir la acción de la espuma, particularmente la que ocurre en lodos de agua salobre y agua salada saturada.
- Emulsionantes son usados por crear una mezcla heterogénea de dos líquidos. Estos incluyen lignosulfonatos modificados, ciertos agentes tenso activos, productos aniónicos y no iónico (negativamente cargado y no cargado).
- Reductores de filtrado, o pérdida de fluido, tales como las arcillas de bentonita, carboximetil celulosa de sodio (CMC) y almidón pre-gelatinizado sirven para cortar la pérdida de fluido, una medida de la tendencia de la fase líquida de un fluido de perforación a pasar hacia la formación.
- Floculantes son usados a veces para incrementar la fuerza gel. Sal (o salmuera) cal hidratada, yeso y tetrafosfatos de sodio pueden ser usados para causar que las partículas coloidales de una suspensión se agrupen en grupos de “flocks”, causando que los sólidos se asienten.
- Agentes espumantes son más a menudo los químicos que también actúan como surfactantes (agentes tenso activos) para espumarse en la presencia de agua. Estos espumantes permiten la perforación con aire o gas a través de formaciones productoras de agua.
- Materiales de pérdida de circulación (LCM) incluyen casi todos los productos posibles usados para detener o retardar la pérdida de fluidos circulando a la formación. Esta pérdida debe ser diferenciada de la pérdida normal de líquido de filtración y de la pérdida de sólidos del lodo de perforación al revoque de filtración (el cual es un proceso continuo en hoyo abierto).
- Lubricantes de presión extrema son diseñados para reducir el torque reduciendo el coeficiente de fricción y por tanto incrementa los caballos de poder en la broca. Ciertos aceites, polvo de grafito y jabones son usados para este propósito.
- Inhibidores de control de esquistos tales como yeso, silicato de sodio, lignosulfonatos de cromo, así como la cal y sal son usados para controlar derrumbe por hinchamiento o desintegración hidratada de esquistos.
- Agentes tenso activos (surfactantes) reduce la tensión interfacial entre las superficies en contacto (por ejemplo, agua-aceite, agua-sólido, agua-aire); estos pueden ser emulsionantes, de-emulsionantes, floculantes o defloculantes, dependiendo de las superficies involucradas.

⁷ LYONS. Op.cit. p.18

- Adelgazantes y dispersantes modifican la relación entre la viscosidad y el porcentaje de sólidos en un lodo de perforación y pueden utilizarse también para variar la fuerza de gel y mejorar la bombeabilidad. Taninos (quebracho), varios polifosfatos y materiales ligníticos son escogidos como adelgazantes o como dispersantes, porque la mayoría de estos químicos también remueven sólidos por precipitación o secuestrante y por reacciones de defloculación.
- Viscosificante tal como bentonita, CMC, arcillas de atapulguita, sub-bentonita y fibras asbestos son empleados en los fluidos de perforación para asegurar una tasa alta de viscosidad con respecto a los sólidos.
- Materiales de peso, incluyendo la barita, componentes de plomo, óxidos de hierro y productos similares poseídos de extraordinariamente altas gravedades específicas, son usados para controlar las presiones de formación, revisar encuevamiento, facilitar sacar la tubería de perforación seca en viajes de ida y vuelta y ayuda en combatir algunos tipos de pérdida de circulación. Los aditivos de lodos de perforación más comunes comercialmente disponibles son publicados anualmente por World Oil. El listado incluye nombres y descripciones de más de 2000 aditivos de lodo.⁸

1.5 ADITIVOS MÁS USADOS

Revisando la literatura se clasificaron los productos químicos de acuerdo a su uso y de ellos se seleccionó una muestra representativa que se muestra en el Cuadro 2. Esta muestra representa aproximadamente el 10% de todos los aditivos disponibles a nivel mundial.

Cuadro 2. Aditivos más usados según su uso.

Uso	Producto y/o químico
Aditivo de control de alcalinidad	Soda caustica, Bicarbonato de sodio, Carbonato de calcio, Oxido de magnesio, Carbonato de sodio, Cal, Hidróxido de calcio
Aditivo para control de filtración	Drispac, Pac, Dispac superlo, Pac-R, Pac-L, Dextrid, Permaloid, Impermex, Lmco loid, My-Lo-Jel saturated, Saltwater milstarch, Cellex regular and Hi-Vis, Duratone, HT, Polímero orgánico de alto peso molecular, Lmco CMC regular and HI-Vis, CMC, Magco CMC reg and Hi-vis, Milchem CMC reg and Hi-vis, SP-101, SP-425, IE Pac, Polisafe, Resinex, Chemtrol-X, CC-16
Aditivo para control de shale	Cloruro de calcio, Cloruro de potasio, Lmco IE pac, Lignito de potasio, XKB-lig, Lmco Poli RX, Polímero de bajo peso molecular, mil-temp
Agente tensoactivo	Aminoalcohol, Alquil poli glucósidos, Md

⁸ LYONS. Op.cit. p.18-19

Continuación. Cuadro 2

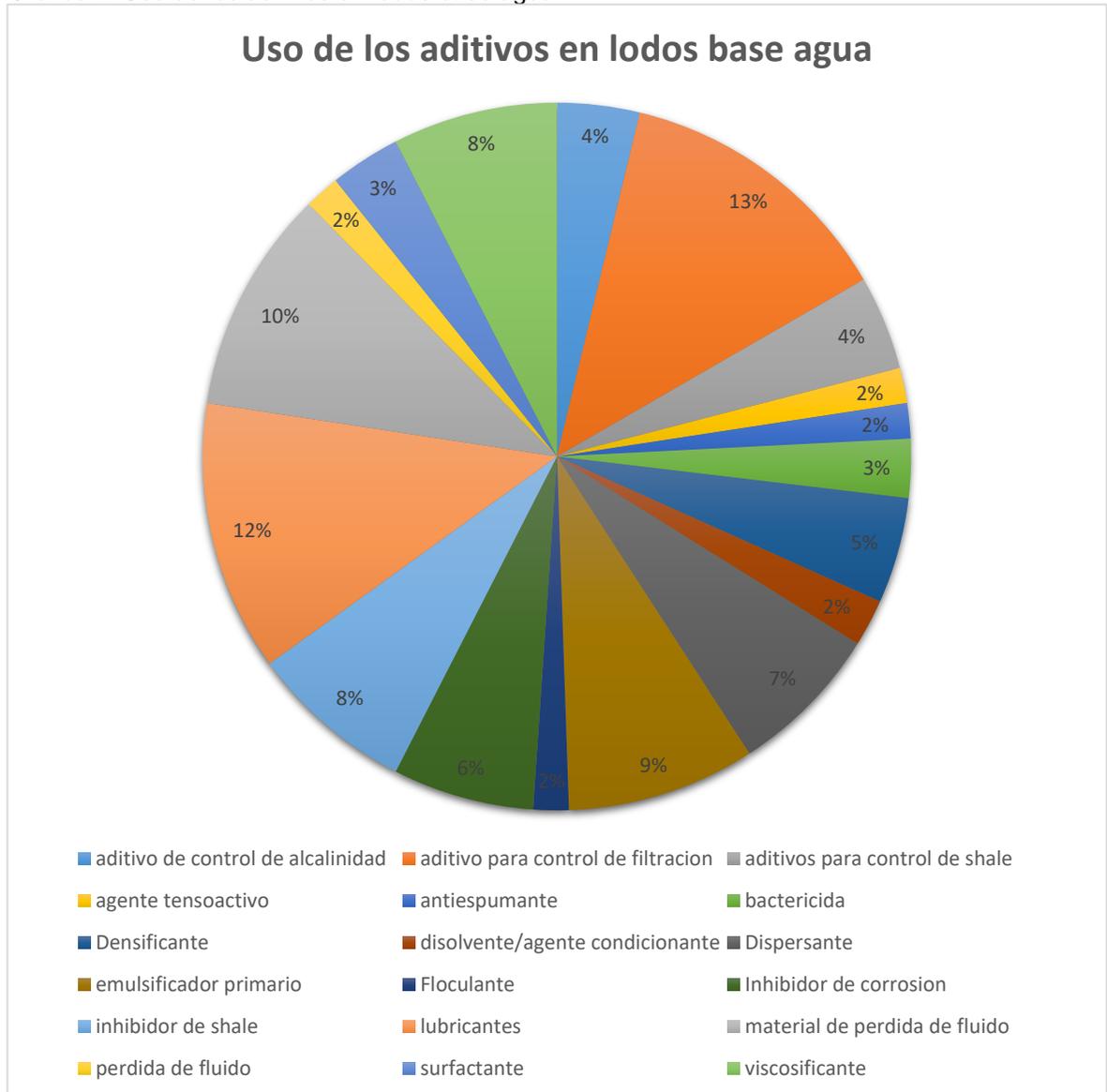
Uso	Producto y/o químico
Antiespumante	Estearato de aluminio, Foamfree, Ld-8
Bactericida	Paraformaldehído, Bara Cor A, Brine Pac, X-Corr, X-cide 102
Densificante	Ilmenita, Óxido de zinc, Oxido de zirconio, Tetra oxido de manganeso, Gypsum, Barita, Galena, Hematita, NaCl
Disolvente/agente condicionante	Lignito caustizado, Barathin plus, Tanino modificado, Copolimero de vinilo sulfonado
Dispersante	SAPP, Acido pirofosfato de sodio, Tannex, Lmco QBT, Q-broxin, OMC, Tann A thin, Caustilig, Spersense, Ligcon, Uni-cal, Tetra fosfato de sodio, Lignito
Emulsificador primario	Invermul, Omnivert E, Kenol-S, Oil-faze, Carbo-tec-L, Emulsificador anionico, EZ mul, Special additive 58, Ken-Cal-L, SE-11, Carbomul, Aceite soluble Driltreat, Sulfonato surfactante, Sulfcote
Floculante	Imco thin, Super floc, Barafloc
Inhibidor de corrosión	Amina, Ami-tec, Aquatec, KD-40, Coat 415, Imco x-corr, Permafilm, Sulfito de sodio, Bisulfito de amonio, Carbonato de zinc, Óxido de hierro
inhibidor de shale	Anhidrita, Acetato de potasio, Carbonato de potasio, Almidón carboximetil, hidróxido de potasio, Almidón hidroxipropil, PHPA, Silicato de potasio, Silicato de sodio, Sodio poli(acrilato), Alplex, Clay-trol, New drill plus, Protectomagic
Lubricantes	Disulfuro de molibdeno, Grafito polarizado, Oleofinas, PAO, Parafinas, Fosfolípidos, Polibuteno, Poliolester, Sulfonato de calcio, Baroid asphalt, D-D, Dos-3, Lubri-sal, Milchem MD, Mil-free, Pave-A-hole, Pipe lax, Shale gard, Stabil-hole, Borax, Aquamagic, Bio-spot, Penetrex
Material de perdida de fluido	Celofan, Polisacárido fibroso, Cascara de nuez, Cell-o-seal, Hojuelas de celofán, Jel flake, Lmco flakes, Lmco myca, Lmco plug, Magco –mica, Micatex, Milflake, Milmica, Mil-plug, Nut-plug, Wall-nut, Mica, Chek loss, Kwik seal M
Perdida de fluido	Bio-lose, Lc-lube, Soluflake
Surfactante	Brinegel, Con Det, Detergente, Dicromato de sodio, Freepipe, Surf cote

Viscosificador

Atapulguita, Bentonita, Carbo-Gel, Duovis, Lmco Ken-gel, Lmco XC, Salt water gel, Super-Col, HEC, Goma xantica, Lignosulfonato, Perflow D.I.F, Xanplex, Sepiolita

En el gráfico 2 se observa la información contenida en el cuadro 2, en el que se resaltan los porcentajes de compuestos definidos para cada uno de los aditivos usados en los lodos base agua. Como se puede observar los porcentajes de los compuestos químicos que hacen parte de cada tipo de aditivos, son relativamente bajos, exceptuando los aditivos para control de filtración y los lubricantes, cuyo porcentaje es mayor al 10%.

Gráfico 2. Uso de los aditivos en lodos base agua.



La mayoría de la información obtenida de los aditivos constituyentes de los lodos de perforación, se basa en la guía de manejo ambiental dada por el Ministerio de Ambiente (62%). Esto permitió tener una mayor referencia con respecto a los aditivos utilizados en Colombia. Conjuntamente se consultaron cinco fuentes complementarias que dieron cuenta del 38% restante de los aditivos base agua. Por lo tanto, a partir del análisis del gráfico 3 se extrae que la Guía De Manejo Ambiental Para Proyectos De Perforación De Pozos De Petróleo Y Gas, establecida por el ministerio del medio ambiente en 1999 produjo con alta refinación la composición de los lodos utilizados en Colombia, que hasta la fecha se mantiene vigente. Esta información se presenta en el gráfico 3.

Gráfico 3. Fuentes consultadas.



2. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS DE LOS LODOS

2.1 SISTEMAS DE ETIQUETADO

Los sistemas de etiquetado actuales son diferentes de acuerdo a la normatividad de cada uno de los países y al sistema que hayan adoptado. Estos sistemas se utilizan para etiquetar los distintos de los productos químicos existentes en el mundo. A continuación, se mencionan los sistemas más utilizados en el mundo:

La información acerca de los químicos y peligros es proporcionada por el proveedor en varias formas. Estas incluyen las hojas de datos de seguridad o SDS* (antes conocidas como MSDS* o hojas de datos de seguridad del material); etiquetas de producto, etiquetas de transporte, etiquetas de la Asociación Nacional de Protección del fuego (NFPA*) u otras etiquetas usadas en el transporte y las etiquetas del Sistema de Información de Materiales Peligrosos (HMIS*).

La naturaleza peligrosa de los productos químicos debe ser identificada adecuadamente por etiquetas pegadas permanentemente. Los requerimientos para el etiquetado están dados en la regulación aplicable las cuales varían dependiendo del lugar de perforación y la supervisión regulatoria. Estas agencias incluyen la Organización marítima internacional (IMO), Seguridad ocupacional y administración de salud (OSHA), Centro canadiense para la salud ocupacional y seguridad (CCOHS) y el Trabajo, salud y seguridad (WHS); sin embargo, la mayoría de las jurisdicciones están adoptando el estándar de etiquetado del Sistema Globalmente Armonizado.⁹

El sistema globalmente armonizado es uno de los más comunes, como se mencionó anteriormente, por tal razón es necesario conocer más acerca de él.

Las Naciones Unidas han patrocinado un estándar global de clasificación y etiquetado de químicos llamado el Sistema Globalmente Armonizado (SGA*). Este sistema SGA tiene formatos estándar para las hojas de seguridad y etiquetas de los productos. El SGA contempla el riesgo relacionado a los peligros físicos, de salud y ambientales. La información en las hojas de seguridad y etiquetas de producto debe ser usada para determinar el manejo seguro, almacenamiento y procedimientos de disposición además del equipo de protección personal requerido.

Las categorías de peligro del SGA están clasificadas del 1 al 5, siendo 1 un peligro severo y 5 indica un peligro mínimo. Debe tenerse en cuenta que el formato de números del SGA es opuesto al del sistema NFPA 704 y al HMIS II, ya que estas van de 0 a 4 con 4 siendo un peligro severo y 0 peligro mínimo.¹⁰

⁹ SCOTT. Op. cit., p.16

¹⁰ SCOTT. Op. cit., p.A1

*Se va a referir de aquí en adelante con las siglas mencionadas

Como se mencionó anteriormente, la información relevante a las propiedades de los productos químicos y su manejo se proporciona en las hojas de seguridad de cada uno de ellos, por eso es importante conocer la estructura de estas y la información que contiene. Esta información se ve claramente expresado por el IADC Drilling manual:

Las hojas de seguridad son la fuente más exhaustiva de información acerca de un producto químico. Las hojas de seguridad incluyen información acerca de las propiedades físicas y peligros a la salud, rutas de exposición, precauciones para el manejo seguro, almacenamiento, uso y disposición, procedimientos de emergencia y primeros auxilios además de información adicional. La información en una hoja de seguridad debería ser revisada y considerada antes de manejar o aplicar un producto o cuando se responde a una exposición accidental o situación de emergencia.¹¹

Las hojas de seguridad tienen 16 secciones estándar:

Sección 1. Identificación del químico y su proveedor.

Sección 2. Identificación de peligros.

Sección 3. Composición / información de los ingredientes.

Sección 4. Medidas de primeros auxilios.

Sección 5. Medidas de control de fuego.

Sección 6. Medidas de emisión accidental.

Sección 7. Manejo y almacenamiento.

Sección 8. Controles de exposición / protección personal.

Sección 9. Propiedades físicas y químicas.

Sección 10. Estabilidad y reactividad.

Sección 11. Efectos de salud / información toxicológica.

Sección 12. Información ecológica (no es obligatoria)

Sección 13. Consideraciones de disposición (no es obligatoria)

Sección 14. Información de transporte (no es obligatoria)

Sección 15. Información regulatoria (no es obligatoria)

Sección 16. Otra información, incluyendo fecha de la preparación de la hoja de seguridad o última revisión.¹²

Los pictogramas usados en el SGA se muestran en la Figura 2, “estos son símbolos gráficos usados para comunicar información específica acerca de los peligros de un químico. También se usan en el empaque o las etiquetas del contenedor y en las muestras de laboratorio o lugar de trabajo. Estos pictogramas se caracterizan por tener el borde de color rojo.”¹³

Como se observa en la misma figura, los pictogramas denotan el tipo de sustancia que se está manejando, pueden ser explosivas, inflamables, comburentes, corrosivas o un gas bajo presión y muestran los peligros a la salud como son la toxicidad aguda en categorías del 1 al 4, cancerígeno o mutágeno y si tiene daños al medio ambiente acuático.

¹¹ *Ibíd.* p. A1

¹² *Ibíd.* p. A3

¹³ *Ibíd.* p. A3

Figura 2. Pictogramas de peligro del SGA.



Fuente: CONSEJO COLOMBIANO DE SEGURIDAD. El Sistema Globalmente Armonizado, herramienta de información sobre los peligros de los productos químicos. [Sitio web]. [s, l]. [Citado en: 01 de septiembre de 2016] Disponible en: http://ccs.org.co/salaprensa/index.php?option=com_content&view=article&id=572:sga&catid=319&Itemid=855

2.2 CLASIFICACIÓN NFPA DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS

La clasificación NFPA al ser uno de los sistemas más comunes y debido a la facilidad que provee para poder clasificar las sustancias de acuerdo a diferentes parámetros, será el sistema que se utilice en este trabajo para la clasificación de las sustancias, pero antes se debe conocer acerca del sistema. Scott *et al*, lo definen como:

Uno de los sistemas de etiquetado más comunes es el sistema NFPA 704, también conocido como el diamante NFPA 704, este provee información básica para el personal de emergencia que responde al fuego o derrame y aquellos que planean las respuestas de emergencia. En ocasiones también se usan en el empaque de producto y para señales afuera de las áreas de almacenamiento de los materiales peligrosos. La información en el diamante también es útil para los trabajadores que usan y manejan estos materiales.

La etiqueta NFPA 704 tiene cuatro cuadrantes, la sección superior roja indica peligro de inflamabilidad, la sección izquierda azul indica riesgo de salud, la sección derecha amarilla indica peligro de reactividad/inestabilidad y la sección inferior blanca indica peligros especiales. Se proporciona una clasificación numérica en cada sección para indicar la severidad del peligro, con un 4 indicando el peligro más severo y un 0 indicando que no hay peligro.¹⁴

¹⁴ Ibid. p. A9

En la Figura 3 se detalla la etiqueta NFPA de acuerdo a la salud, inflamabilidad, reactividad y los casos especiales que pueden presentarse con las sustancias químicas, como ya se mencionó, esta información es relevante a la hora de manipular las sustancias químicas para evitar riesgos y daños a la salud de quienes las manipulan y al ambiente. También se presenta el significado de cada uno de los significados de los números y caracteres especiales en cada uno de los cuatro cuadrantes.

Figura 3. Esquema Diamante NFPA 704.



Fuente: SCOTT, Paul el.at. Drilling Fluids. En: IADC Drilling Manual. INTERNACIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS. 12. ed. [s, l]. 2015. p. A10

2.3 APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE CLASIFICACIÓN

La metodología llevada a cabo para realizar la clasificación de las sustancias se desarrolló de la siguiente manera:

- Se realizó un compilado de sustancias y productos usados en los lodos de perforación, de acuerdo a la bibliografía consultada, ya que se debían conocer para poder realizar una clasificación pertinente.
- Se clasificaron estas sustancias de acuerdo a su uso en los diferentes aditivos que conforman los lodos de perforación, ya que era la forma más sencilla de agrupar los diferentes productos y sustancias que se usan en los lodos de perforación.
- Se tomó una muestra de 3 sustancias aleatorias por cada uno de los tipos de uso de los aditivos, ya que este fue el número más bajo de sustancias químicas encontradas por uso con el que se contaba.
- Con base en las sustancias seleccionadas se buscaron las hojas de seguridad de cada uno de los componentes y se anotaron los valores de la NFPA 704 respecto a salud, inflamabilidad, reactividad y casos especiales. Además se anotó la información ecológica y las consideraciones de disposición expuestas en las secciones 12 y 13 de las hojas de seguridad.
- Finalmente se ordenaron de acuerdo al mayor valor por salud, inflamabilidad y reactividad y se tomaron las sustancias más peligrosas de acuerdo a cada categoría.

2.4 CLASIFICACIÓN PROPUESTA

La clasificación propuesta de las sustancias químicas en este trabajo, se basó en la norma NFPA 704. Es de aclarar que estas sustancias fueron previamente clasificadas de acuerdo con el uso del aditivo en el lodo de perforación. Este procedimiento de clasificación y selección utilizado facilitó la identificación de las sustancias más peligrosas. Específicamente, la clasificación se realizó por medio de los parámetros expuestos en la norma NFPA 704, los cuales se refieren a los peligros a la salud, inflamabilidad y reactividad, además que considera casos especiales, que como se puede observar en la Tabla 1, solamente se encontró una sustancia química a la que se le deben considerar medidas especiales.

Tabla 1. Clasificación NFPA 704 de las sustancias químicas peligrosas de los lodos de perforación.

#	Composición del fluido	Nombre científico	Uso	NFPA 704			
				Salud	Inflamabilidad	Reactividad	Casos especiales
1	carbonato de calcio	carbonato de calcio	aditivo de control de alcalinidad	0	0	0	
2	carbonato de sodio	carbonato de sodio	aditivo de control de alcalinidad	2	0	0	
3	cal	oxido de calcio	aditivo de control de alcalinidad	3	0	2	W (reacciona de manera inusual con el agua)
4	Pac	poli cloruro de aluminio	aditivo para control de filtración	1	0	0	
5	Dispac superlo	carboximetilcelulosa de sodio	aditivo para control de filtración	0	2	0	
6	CMC	carboximetilcelulosa	aditivo para control de filtración	2	1	0	
7	cloruro de calcio	cloruro de calcio	aditivo para control de shale	2	0	1	
8	mil-temp	-	aditivo para control de shale	1	1	0	
9	cloruro de potasio	cloruro de potasio	aditivo para control de shale	1	0	0	
10	amino alcohol	amino alcohol	agente tensoactivo	0	0	0	
11	Alquil poli glucósidos	Alquil poli glucósidos	agente tensoactivo	0	0	0	
12	md	tripolifosfato de sodio	agente tensoactivo	1	0	0	
13	estearato de aluminio	estearato de aluminio	antiespumante	2	1	0	
14	foamfree		antiespumante	1	0	0	
15	Id-8	estereato de aluminio	antiespumante	1	1	0	
16	Paraformaldehído		bactericida	2	1	0	

Continuación. Tabla 1

#	Composición del fluido	Nombre científico	Uso	NFPA 704			
				Salud	Inflamabilidad	Reactividad	Casos especiales
17	Brine Pac		bactericida	2	2	0	
18	x-cide 102	glutaraldehído	bactericida	3	1	0	
19	barita	sulfato de bario	Densificante	1	0	0	
20	galena	sulfato de plomo	Densificante	2	1	0	
21	hematita	óxido de hierro	Densificante	1	0	0	
22	ligcon	lignito cauzizado	disolvente/agente condicionante	1	0	0	
23	barathin plus	lignito de cromo	disolvente/agente condicionante	1	1	0	
24	Desco	tanino modificado	disolvente/agente condicionante	2	2	0	
25	Q-broxin	lignosulfonato de ferrocromo	Dispersante	0	1	0	
26	lignito	lignito	dispersante	1	1	0	
27	carbomul	amidoamina y aceite mineral	emulsificador primario	1	1	0	
28	invermul		emulsificador primario	2	1	0	
29	EZ mul		emulsificador primario	1	1	0	
30	polyfloc	acrilamida, alcohol	Floculante	2	1	0	
31	barafloc		Floculante	0	0	0	
32	super floc	polímero orgánico	Floculante	2	1	0	
33	KD-40		Inhibidor de corrosión	1	1	0	
34	bisulfito de amonio	bisulfito de amonio	Inhibidor de corrosión	2	0	0	
35	carbonato de zinc	carbonato de zinc	Inhibidor de corrosión	0	0	0	

Continuación. Tabla 1

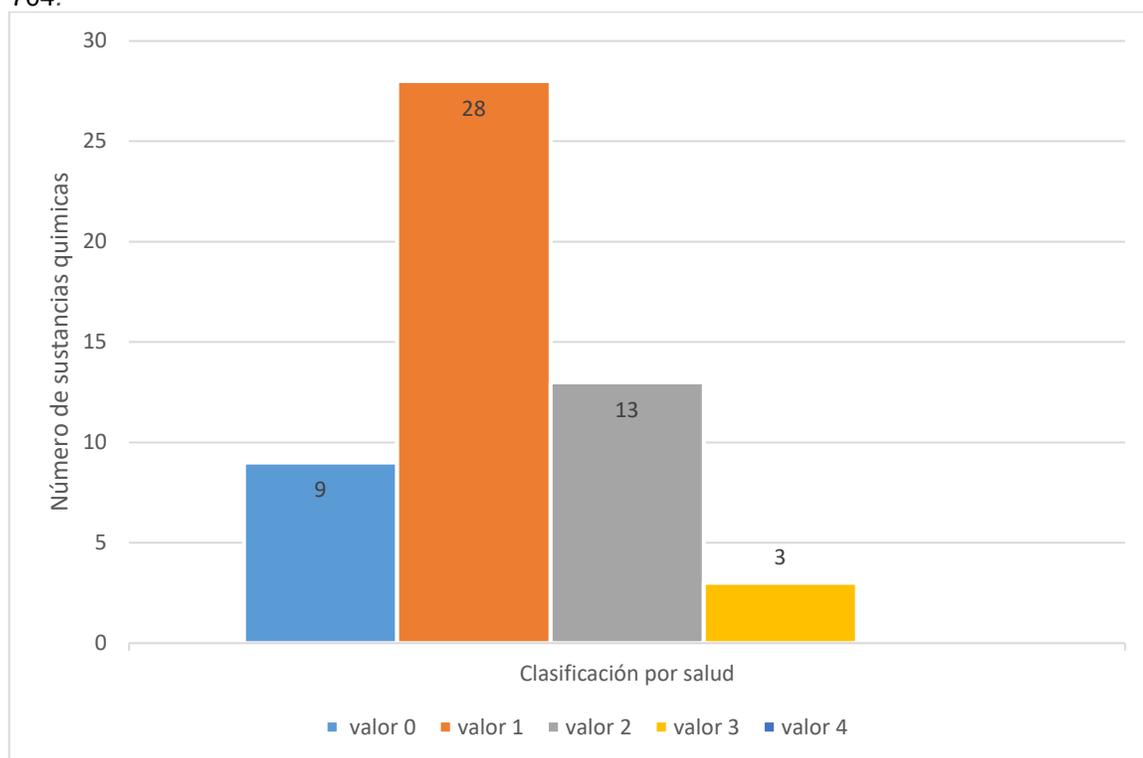
#	Composición del fluido	Nombre científico	Uso	NFPA 704			
				Salud	Inflamabilidad	Reactividad	Casos especiales
36	PHPA	PHPA	inhibidor de shale	0	1	0	
37	silicato de sodio	silicato de sodio	inhibidor de shale	1	0	0	
38	new drill plus		inhibidor de shale	1	1	0	
39	borax	borato de sodio	lubricantes	1	0	0	
40	penetrex	oleato de sorbitán	lubricantes	1	1	0	
41	bio-spot	glicol tripropileno	lubricantes	1	0	0	
42	Wall-nut		material de pérdida de fluido	1	0	0	
43	nut-plug		material de pérdida de fluido	1	1	0	
44	mica	mica	material de pérdida de fluido	1	0	0	
45	lc-lube		pérdida de fluido	1	0	0	
46	soluflake		pérdida de fluido	1	0	0	
47	bio-lose		pérdida de fluido	0	1	0	
48	dicromato de sodio	dicromato de sodio	surfactante	3	0	0	
49	con Det		surfactante	1	0	0	
50	surf cote		surfactante	2	2	0	
51	atapulguita	atapulguita	viscosificador	1	0	0	
52	bentonita	bentonita	viscosificador	1	0	0	
53	goma xantan		viscosificador	1	1	0	

Nota: La información de la NFPA se tomó de las hojas de seguridad de cada una de las sustancias.

2.4.1 Clasificación por salud

Como se puede ver en el gráfico 4 la mayoría de las sustancias no presentan un peligro grave a la salud más allá de leves irritaciones en ojos y piel, también se puede observar que no existen productos con valor de riesgo 4. Los productos y sustancias que presentaron el mayor riesgo fueron Cal, X-cide 102 y dicromato de sodio con valor de riesgo 3 lo que significa que pueden causar heridas serias o permanentes.

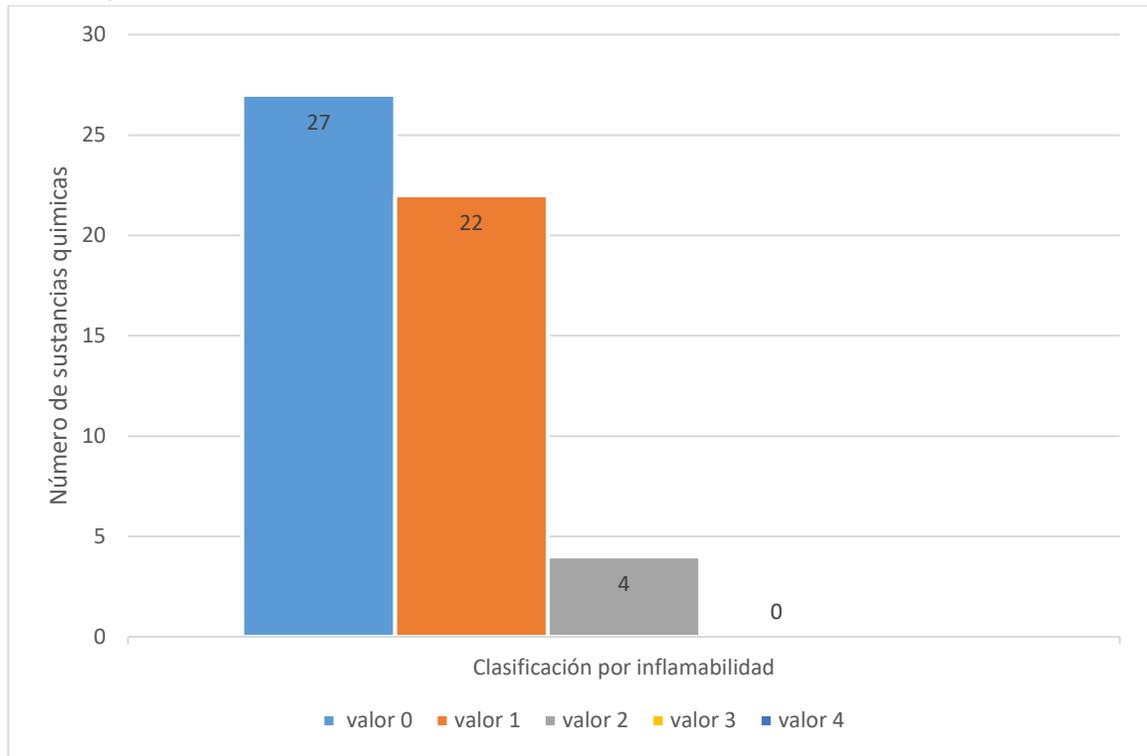
Gráfico 4. Distribución de las sustancias por grado de peligrosidad a la salud, según norma NFPA 704.



2.4.2 Clasificación por inflamabilidad

En el gráfico 5 se puede observar que la mayoría de los productos y sustancias no presentan inflamabilidad en condiciones de temperatura y presión normales, también se puede ver que el mayor valor que se presenta es de riesgo 2 y no hay sustancias de valor de riesgo más alto 3 y 4, por inflamabilidad. Los productos y sustancias que presentaron el valor de riesgo mayor fueron Dispac superlo, Brine pac, Desco y Surf cote con un valor de riesgo de 2, lo que significa que debe ser calentado moderadamente o expuesto a temperaturas altas en condiciones ambientales para incendiarse.

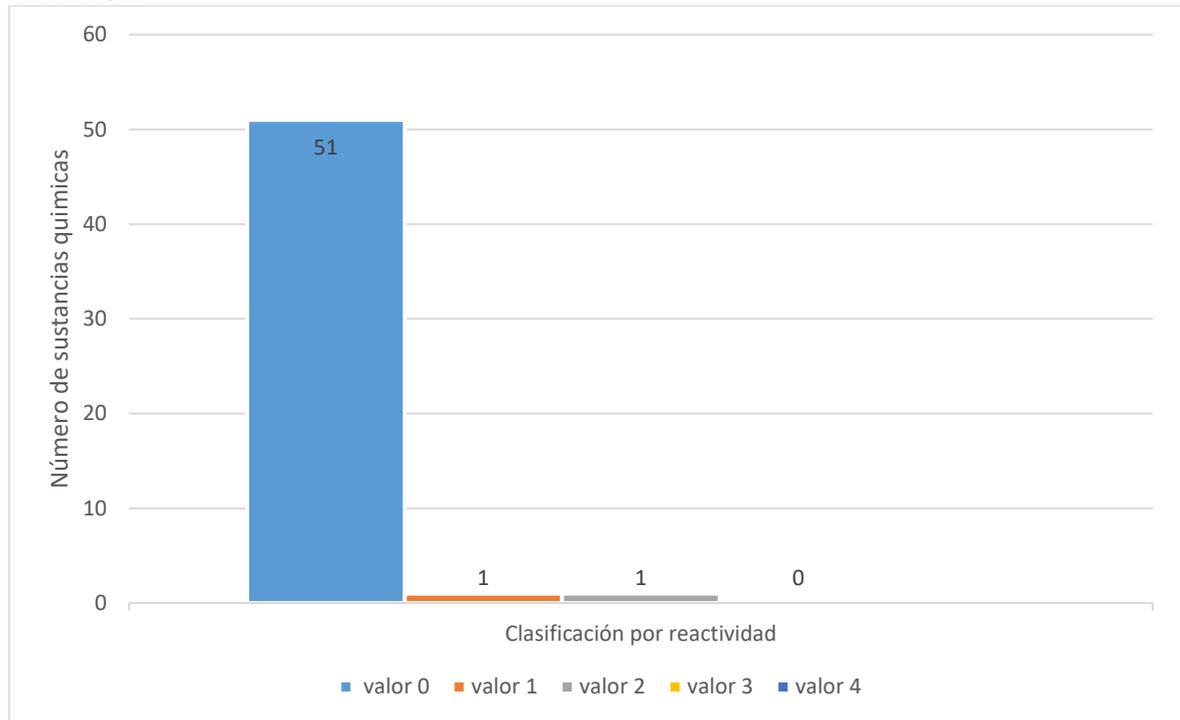
Gráfico 5. Distribución de las sustancias por grado de peligrosidad por inflamabilidad, según norma NFPA 704.



2.4.3 Clasificación por reactividad

En el gráfico 6 se puede observar que solo existen 2 productos que tienen un valor de reactividad diferente de 0. Los productos y sustancias que presentaron el mayor riesgo fueron cal con un valor de 2 y cloruro de calcio con un valor de 1 lo que significa que son sustancias que fácilmente se someten a cambios químicos violentos a presiones y temperaturas elevadas y que son sustancias normalmente estables que pueden volverse inestables a presiones y temperaturas elevadas, respectivamente.

Gráfico 6. Distribución de las sustancias por grado de peligrosidad por inflamabilidad, según norma NFPA 704.



2.4.4 Clasificación por riesgos especiales

En la clasificación por riesgos especiales el único producto que posee estos comentarios es la cal ya que presenta la W que indica que reacciona con el agua de manera inusual o peligrosa. Esto significa que casi todos los productos y sustancias no tienen riesgos especiales de acuerdo con la NFPA 704.

3. TRATAMIENTO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS CLASIFICADAS

3.1 INFORMACIÓN ECOLÓGICA Y CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

Debido a que la clasificación desarrollada mediante el uso de la norma NFPA 704 no es suficiente para determinar el tipo de tratamiento que se le debe realizar a las sustancias químicas, se debe conocer las condiciones ambientales, de manejo y disposición de las sustancias químicas y productos peligrosos ya que estos pueden tener efectos adversos sobre el ambiente. Para esto se busca en las hojas de seguridad¹⁵ respectivas, como se presentó en el capítulo 2, la información ecológica que se presenta de manera opcional en la sección 12 de dichas hojas. En esta sección se provee la información relevante para evaluar el impacto ambiental de los químicos si fueran liberados al medio ambiente y en la sección 13 se presentan además las consideraciones de disposición que provee la hoja de seguridad para realizar prácticas adecuadas de disposición, reciclaje o reclamación de los químicos junto con los contenedores y prácticas de manejo seguro ambientalmente.

Teniendo en cuenta esta información, se hizo una clasificación por colores de acuerdo a la información ecológica y al impacto ambiental que puedan causar las sustancias químicas analizadas en la tabla 1. Las de color verde son las que no poseen ningún riesgo, las de color naranja pueden conllevar un riesgo en el futuro, las amarillas tienen un riesgo de eco toxicidad en algún nivel y las de color rojo son las peligrosas para el medio ambiente. Ya que esta sección es opcional en las hojas de seguridad, existen productos que no presentaron dicha información. Además, se presenta la información dada por los proveedores acerca de las consideraciones que se deben tener a la hora de disponer los químicos y los métodos más apropiados. Toda esta información está contenida en el Cuadro 3

¹⁵ SCOTT et al.Op.cit p. A8

Cuadro 3. Información sobre toxicidad ambiental y disposición de las sustancias contenida en las secciones 12 y 13 respectivamente.

#	Composición del fluido	Nombre científico	Ambiental	Eliminación de desechos.
1	carbonato de calcio	carbonato de calcio	El producto en sí y sus productos de degradación no son tóxicos. A largo plazo, productos de degradación pueden surgir y alterar el medio ecológico.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
2	carbonato de sodio	carbonato de sodio	No presenta peligro significativo para el medio ambiente.	No se encuentra registrado como residuo peligroso. Debe eliminarse de acuerdo a las normas.
3	cal	óxido de calcio	Nocivo para la vida acuática debido al incremento temporal del pH del agua, lo que afecta a los organismos vivos sensibles a estos cambios bruscos. Al hidratarse se convierte en hidróxido de calcio y este al absorber el anhídrido carbónico del ambiente se transforma en carbonato de calcio que es un material presente en la naturaleza y puede incorporarse al estrato suelo, aportando calcio a éste.	El polvillo residual se puede neutralizar con una solución diluida de ácido clorhídrico para ajustar a pH 7 y luego depositarlo en relleno sanitario autorizado. Otros métodos autorizados por la normatividad.
4	Pac	policloruro de aluminio	Aporta aluminio, que es inconveniente en suelos con fines agrícolas.	No es un desecho peligroso, puede disponerse en un relleno sanitario.
5	CMC	carboximetilcelulosa	los productos de la degradación son más tóxicos.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
6	Dispac superlo	carboximetilcelulosa de sodio	Se espera que sea fácilmente biodegradable.	Disponer de acuerdo a la normativa. Reciclar si es posible.
7	cloruro de potasio	cloruro de potasio	Cuando se disuelve en agua, se eleva el nivel de salinidad lo que puede ser dañino para especies animales y vegetales acuáticas que no toleren elevados niveles de sal. Puede provocar efectos adversos sobre el medio acuático.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.

Continuación. Cuadro 3

#	Composición del fluido	Nombre científico	Ambiental	Eliminación de desechos.
8	mil-temp	-	Información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
9	cloruro de calcio	cloruro de calcio	Eco toxicidad en el agua (CL 50): 100 mg /196 horas de pescado.	Cualquier cantidad que no pueda salvarse por recuperado o reciclado debe manejarse en una instalación de eliminación de residuos apropiada y aprobada. Debe manejarse de acuerdo a la normatividad.
10	amino alcohol	amino alcohol	El daño depende de la cantidad liberada. Trucha arcoíris LC50 =150 mg B/1. La preparación en soluble en agua por tanto es móvil por lixiviación.	Evite que los desechos entren en el drenaje. Mantener en contenedores y disponer de acuerdo a la normativa.
11	Alquil poli glucósidos	Alquil poli glucósidos	No se esperan problemas cuando se maneja de manera apropiada.	Disponer de acuerdo a la normativa. Reciclar si es posible.
12	md	tripolifosfato de sodio	eco toxicidad agua EC 50 = 276.61 mg /L	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
13	foamfree		Información no disponible.	No es considerado peligroso. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
14	Id-8	estereato de aluminio	Información no disponible.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
15	estearato de aluminio	estearato de aluminio	Información no disponible.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
16	Paraformaldehído		Es peligroso para la vida acuática aun en bajas concentraciones.	Se puede realizar incineración controlada del producto.

Continuación. Cuadro 3

#	Composición del fluido	Nombre científico	Ambiental	Eliminación de desechos.
17	x-cide 102	glutaraldehído	Información no disponible.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
18	Brine Pac	-	Eco toxicidad aguda en agua para hidróxido de amonio, isopropanol e hidracina, con exposiciones entre 48 y 96 horas.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
19	barita	sulfato de bario	No es considerado peligroso para el ambiente.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
20	hematita	óxido de hierro	No es considerado peligroso para el ambiente.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
21	galena	sulfato de plomo	Los productos de la degradación son más tóxicos.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
22	ligcon	lignito cautizado	Información no disponible.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
23	barathin plus	lignito de cromo	Información no disponible.	Llevar a relleno sanitario. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
24	Desco	tanino modificado	no es fácilmente degradable, peligroso para la vida acuática y con efectos de larga duración	No debe entrar en el drenaje, cursos de agua o suelo. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
25	Q-broxin	lignosulfonato de ferrocromo	eco tóxico en peces y dafnias	Llevar a relleno sanitario. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.

Continuación. Cuadro 3

#	Composición del fluido	Nombre científico	Ambiental	Eliminación de desechos.
26	lignito	-	información no disponible	Llevar a relleno sanitario. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
27	carbomul	amidoamina y aceite mineral	eco toxicidad agua LC50 2200ug/L peces 35 a 75 mm con exposición de 4 días	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
28	EZ mul	-	Eco toxicidad en peces y crustáceos. Es fácilmente biodegradable, no es considerada bioacumulante o toxica	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
29	invermul	-	eco toxicidad en peces, microorganismos, invertebrados y algas	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
30	barafloc	-	información no disponible	Llevar a relleno sanitario. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
31	polyfloc	acrilamida, alcohol	eco toxicidad en dafnia magna	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
32	super floc	polímero orgánico	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
33	carbonato de zinc	carbonato de zinc	eco toxicidad en peces 0,1 mg/L, bioacumulación de zinc, peligro en obtención de agua potable en caso de infiltración en aguas subterráneas, difícil de eliminar	Deben ser tratados por un procesador autorizado. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
34	bisulfito de amonio	bisulfito de amonio	no tiene efectos sobre el ambiente pues su descomposición genera productos que se encuentran en los suelos y agua	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.

Continuación. Cuadro 3

#	Composición del fluido	Nombre científico	Ambiental	Eliminación de desechos.
35	KD-40	-	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
36	silicato de sodio	silicato de sodio	no es considerado peligroso para el ambiente	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
37	PHPA	-	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
38	new drill plus	-	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
39	borax	borato de sodio	El producto en sí y sus productos de degradación no son tóxicos. A largo plazo, productos de degradación pueden surgir y alterar el medio ecológico.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
40	bio-spot	glicol tripropileno	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
41	penetrex	oleato de sorbitán	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
42	wall-nut	-	información no disponible	Llevar a relleno sanitario. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
43	mica	-	El producto en sí y sus productos de degradación no son tóxicos. A largo plazo, productos de degradación pueden surgir y alterar el medio ecológico.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.

Continuación. Cuadro 3

#	Composición del fluido	Nombre científico	Ambiental	Eliminación de desechos.
44	nut-plug	-	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
45	lc-lube	-	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
46	soluflake	-	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
47	bio-lose	-	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
48	con Det	-	eco toxicidad en peces, microorganismos, invertebrados y algas, no es considerada persistente, bioacumulante ni toxica	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
49	dicromato de sodio	dicromato de sodio	Puede filtrarse en aguas subterráneas. Puede bioacumularse en cierta medida. Se espera que sea toxico para la vida acuática.	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
50	surf cote	-	eco toxicidad aguda en agua para hidróxido de amonio, isopropanol e hidracina, con exposiciones entre 48 y 96 horas	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
51	ata pulguita	ata pulguita	información no disponible	Llevar a relleno sanitario. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
52	bentonita	bentonita	información no disponible	Llevar a relleno sanitario. Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.
	goma xantan	goma xantan	información no disponible	Recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas.

Nota: La información ambiental y de eliminación de desechos fue tomada de las secciones 12 y 13.

3.2 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA

La normatividad que rige a Colombia en cuanto a las sustancias peligrosas comienza por¹⁶ la aprobación del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables por medio del decreto Ley 2811 en 1974 con la que se dio inicio a la gestión ambiental en el país. Posteriormente, con el Código Sanitario Nacional de 1978 se establecieron los lineamientos generales en materia de regulación de la calidad del agua y del aire, así como el manejo de los residuos sólidos. Luego:

En 1991 con la Constitución Política Nacional se estableció un conjunto importante de derechos y deberes del estado, las instituciones y los particulares en materia ambiental, enmarcado los principios del desarrollo sostenible. Este mandato constitucional propicio la expedición de la ley 99 de 1993 donde se definen los principios de la gestión ambiental del país, se crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y el Ministerio del Medio Ambiente.¹⁷

Se crearon una variedad de leyes, decretos y resoluciones con el fin de apoyar la gestión ambiental y regular las sustancias peligrosas en el país, entre las que se encuentran:

- Ley 55 de 1993 que aprobó el convenio número 170 y la recomendación 177 sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo, adoptados por la 77ª Reunión de la Conferencia General de la OIT en Ginebra en el año de 1990.
- Ley 336 de 1996 que provee las disposiciones generales para los modos de transporte.
- Ley 253 de 1996 por el cual se aprueba el Convenio de Basilea
- Ley 430 de 1998 por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 1541 de 1978 por el cual se reglamenta la parte III del libro II del decreto ley 2811 de 1974 <<De las aguas no marítimas>> y parcialmente la ley 23 de 1973
- Decreto 1875 de 1979 por la cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación de medio marino y otras disposiciones.
- Decreto 353 de 1991 por el cual se reglamenta la ley 26 de 1989 que dicta algunas disposiciones sobre la distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo y se modifica parcialmente el decreto 283 de 1990.
- Decreto 901 de 1997 por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen tarifas de estas.
- Decreto 321 de 1999 por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia Contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.
- Decreto 1609 de 2002 por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.

¹⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL DE COLOMBIA. Guías para Manejo Seguro y Gestión Ambiental de 25 Sustancias Químicas. 2003. p. 418

¹⁷ Ibíd. p. 18

- Resolución 2309 de 1986 por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título III de la parte 4 del libro 1 del Decreto Ley número 2811 de 1974 y de los títulos I, III y XI de la Ley 1979, en cuanto a Residuos Especiales.
- Resolución 0031 de 1991 en la cual se dispone el control de algunas sustancias peligrosas.
- Resolución 189 de 1994 por la cual se dictan regulaciones para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos.
- Resolución 0001 de 1995 en la cual se dispone el control de algunas sustancias peligrosas.
- Resolución 0001 de 1996 en la cual se dispone el control de algunas sustancias peligrosas.
- Resolución 0004 de 1996 en la cual se dispone el control de algunas sustancias peligrosas.
- Decreto 4741 de 2005 por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.¹⁸
- Resolución 0631 del 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.¹⁹

En Colombia las normas pertinentes al manejo ambiental están basadas en la norma estadounidense Louisiana 29B. Esta norma estadounidense es la pionera de los de las reglamentaciones dadas a todas las actividades industriales que afectan el medio ambiente. Específicamente en el reglamento de Louisiana en su título 43, parte XIX, orden estatal 29B. Capítulo 3 están contemplados todos aquellos criterios y parámetros tenidos en cuenta para el manejo y disposición final de todos los residuos ocasionados por actividades de la industria, pertinentes al control de la contaminación, almacenamiento in situ, tratamiento y disposición de residuos de las actividades de exploración y producción petrolera que se generan en la perforación y producción de petróleo y gas.²⁰

3.3 TRATAMIENTOS

Los métodos de tratamiento utilizados para el manejo de los fluidos de perforación han ido cambiando a medida que se hacen más regulaciones acerca de la disposición de estos fluidos al medio ambiente. En 1981 se tenían los siguientes

¹⁸ Ibíd. p. 419-423

¹⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17, marzo, 2015) por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C. 2015.

²⁰ CASTELBLANCO, Iván y NIÑO, Jhon. Manejo y Tratamiento Actual de Residuos Aceitosos en la Industria Petrolera Colombiana. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería. Departamento de Ingeniería de Petróleos. 2011. p.50

métodos de disposición de los fluidos utilizados, según lo documentan Nesbitt y Sanders:

- Expulsión directa de fluidos.
- Encapsulación de pozo y sólidos.
- Bombear en formaciones seguras.
- Remoción a sitios de disposición designados.
- Separación de líquidos limpios de sólidos limpios con reúso de líquidos.
- Incineración.
- Procesamiento por microorganismos.
- Destilación, extracción líquida y tratamiento químico.
- Control de sólidos.²¹

Más adelante se comenzó a darle una dirección enfocada a la minimización de residuos, como lo evidencian Page y Chilton, orientada a:

- La remoción de químicos peligrosos de las corrientes de lavado,
- el reciclado de químicos comúnmente usados, particularmente los solventes,
- la sustitución de químicos peligrosos comúnmente usados con compuestos menos peligrosos,
- el reciclado de desechos de oficina y
- la educación y programas de conciencia.²²

En 1998, Page en colaboración con Twynam y Burt, mejoro su método para el manejo de desechos, donde además de incluir los procesos anteriores añade otros como:

- Utilizar los principios de prevención de las 5R como la base para el diseño. Estas son reducir, reusar, reciclar, recuperar y residuo.
- Estandarizar el diseño del sistema de control de sólidos.
- Planeación temprana.
- Manejo de operaciones mejoradas.
- Manejo preventivo de lodos.
- Programas de mantenimiento.
- Educación a los empleados.
- Establecer objetivos comunes.²³

En el año de 1999 el ministerio del medio ambiente propuso los lineamientos para la gestión ambiental de los lodos de perforación con la Guía Para Perforación De Pozos De Petróleo Y Gas, mostrados en la Figura 4. Aquí solo se muestran los

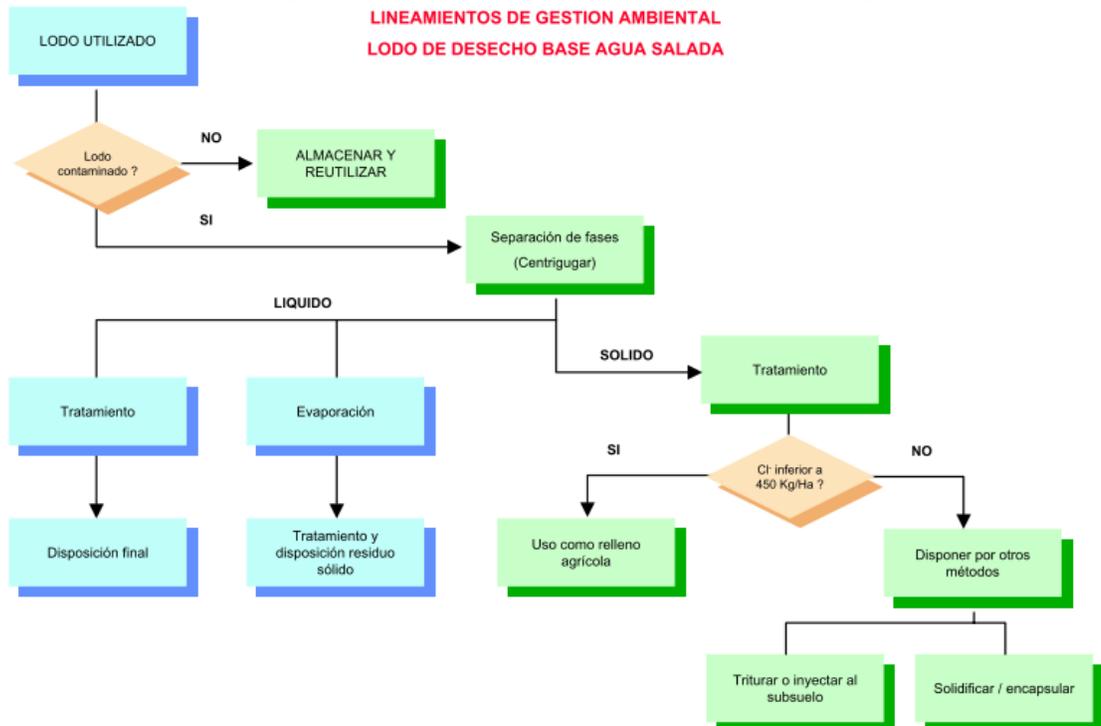
²¹ NESBITT, Lyle y SANDERS, Joe. Drilling Fluid Disposal. Journal of Petroleum Technology. 1981. P. 2379-2380

²² PAGE, W.B y CHILTON, D.J. An Integrated Approach to Waste Minimization. Society of Petroleum Engineers, Inc. 1991. p. 417

²³ PAGE, W.B *et al.* Minimizing Environmental Impact: An Integrated Approach to Waste Management. Society of Petroleum Engineers, Inc. 1998. p. 2-3

lineamientos con respecto a los lodos base agua, ya que son estos los lodos de mayor uso y con mayor relevancia en Colombia. Como se puede ver en la figura, el lodo de mayor problema es el lodo base agua salada, cuyo tratamiento y disposición se realiza a todo el lodo en forma general. Sin embargo, como se ha venido mostrando en este trabajo, existe una gran cantidad de sustancias químicas que se le agregan a los lodos y por lo que la guía debería encargarse de dar también los lineamientos generales y específicos para su tratamiento y disposición respectiva.

Figura 4. Lineamientos de gestión ambiental para lodos de desecho base agua salada



Fuente: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas. Bogotá. 1999. p.138

Los criterios para definir el manejo ambiental de ripios y lodos, dados en la misma guía, son los siguientes:

Para el manejo de ripios

- Inyección por el anular, una vez terminados los trabajos de perforación.
- Inyección en pozos no productores o abandonados
- Como relleno de las piscinas de lodos
- Solidificación
- Biodegradación

En el evento de contar con una o más opciones de igual importancia ambiental, se escogerá la más favorable. Si el pozo es declarado productor, la inyección por el anular puede no ser una alternativa.

Opciones de manejo de lodos

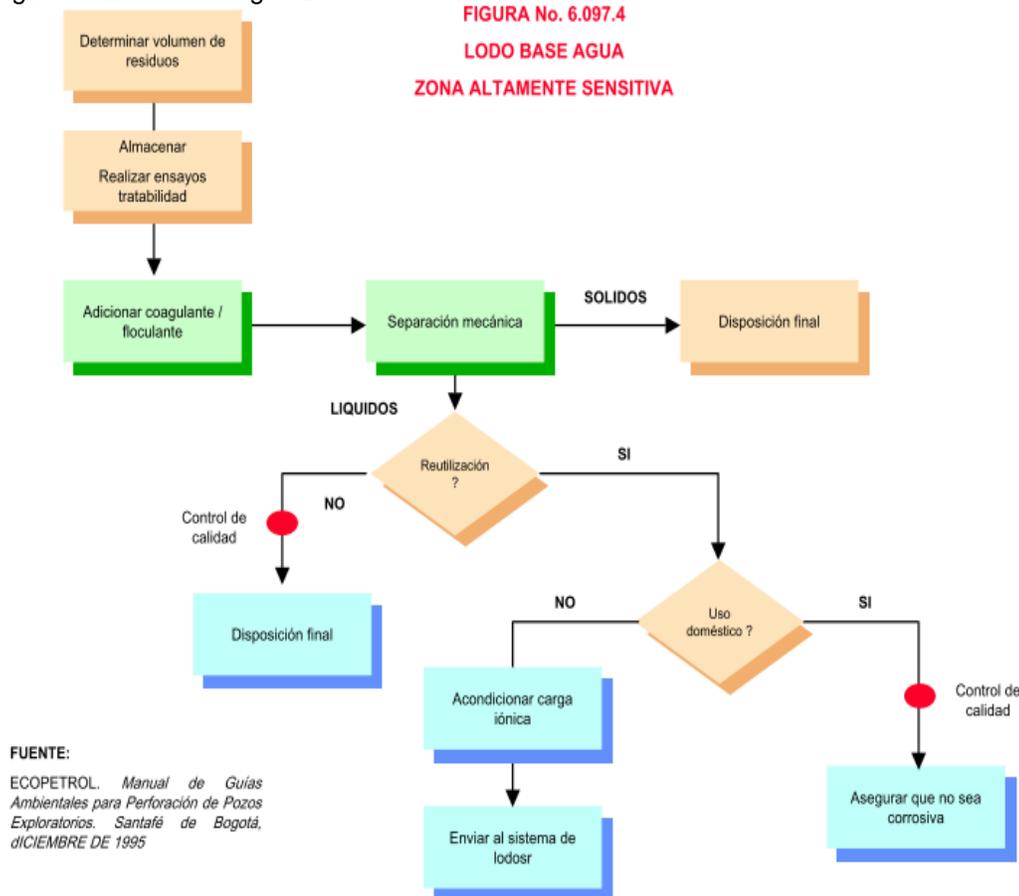
- Máxima reutilización del material en la perforación
- Descarga sobre piscinas cuando no sea posible la reutilización
- Tratamiento

Manejo de piscinas

- envío a piscinas
- tratamiento y vertimiento al ambiente²⁴

Las figuras 5, 6 y 7 muestran el manejo ambiental de los residuos de lodos comúnmente utilizados y también relaciona los tratamientos recomendados en función de la sensibilidad ambiental de las áreas donde se está trabajando y en las cuales se van a realizar las descargas. En la figura 5 se muestra el procedimiento para las zonas altamente sensitivas, estas son las zonas a las que mayor atención debería prestársele a la hora de disponer los residuos, ya que son las más vulnerables ante cualquier tipo de descarga que se pueda presentar.

Figura 5. Lodo base agua zona altamente sensitiva.

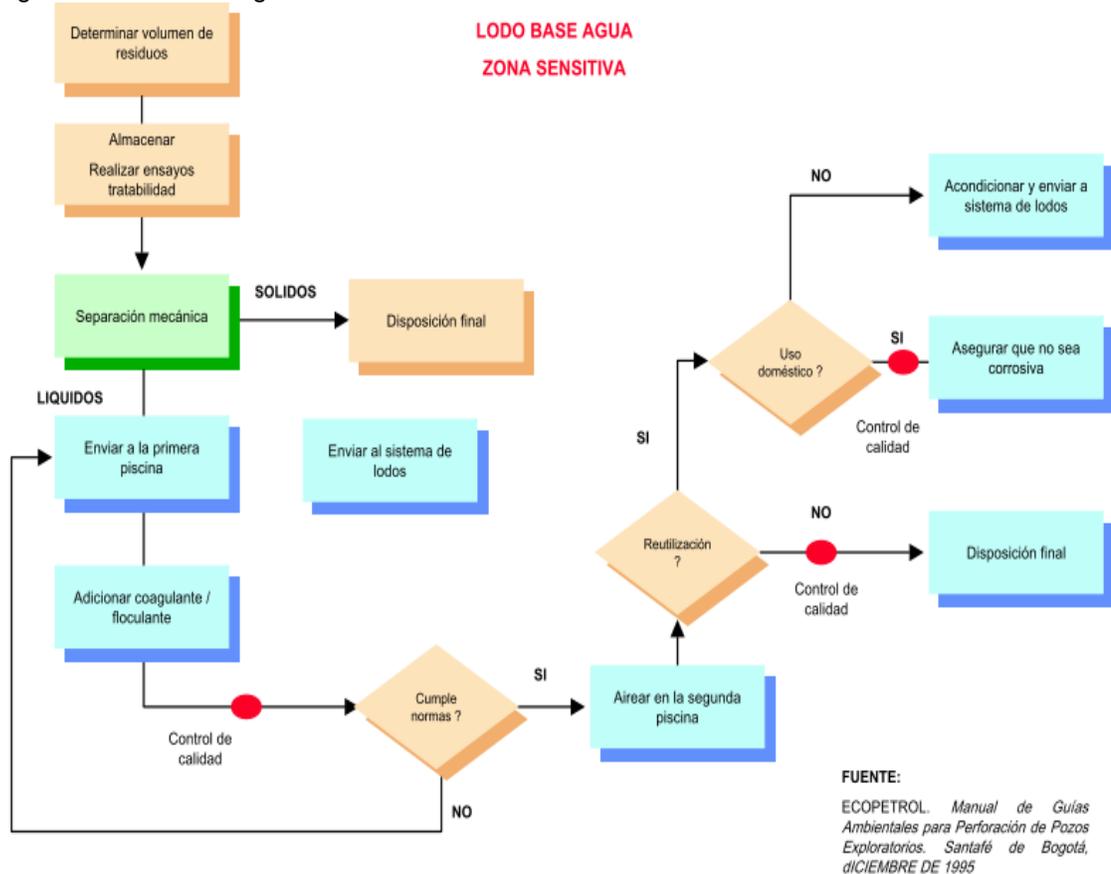


Fuente: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas. Bogotá. 1999. p.155

²⁴ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas. Bogotá. 1999. p.149

La figura 6 muestra los lineamientos a tener en cuenta para las zonas sensitivas, estas al igual que las altamente sensitivas son de cuidado especial a la hora de disponer residuos en ellas, aunque son un poco más seguras ambientalmente para la disposición de los desechos.

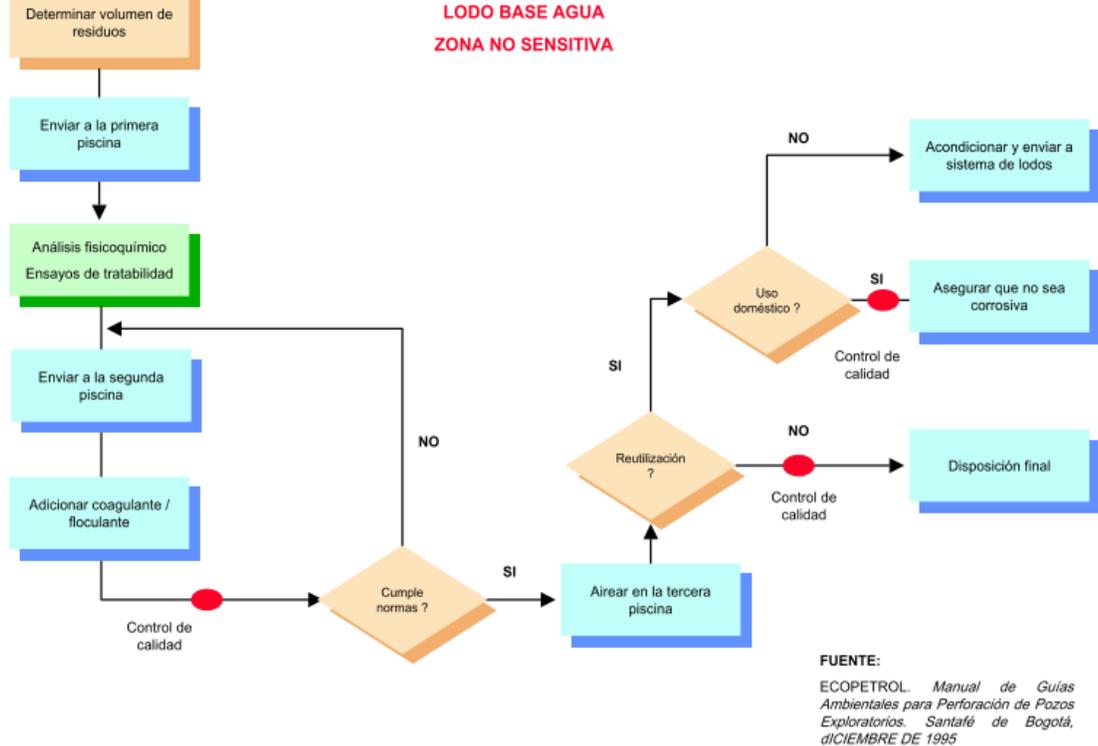
Figura 6. Lodo base agua zona sensitiva.



Fuente: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas. Bogotá. 1999. p.156

La figura 7 muestra los lineamientos a tener en cuenta para las zonas no sensitivas, estas zonas no presentan sensibilidad ambiental, o lo que es lo mismo, no se consideran de interés especial. Sin embargo se deben considerar los tratamientos correspondientes para evitar que se puedan presentar impactos ambientales que afecten la zona donde se van a disponer los residuos.

Figura 7. Lodo base agua zona sensitiva.



Fuente: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas. Bogotá. 1999. p.157

Para el 2007, como exponen Puder y Veil²⁵, los métodos deben decidirse según su costo y el tipo de residuo a tratar, pero como se puede ver en la Tabla 2 y 3, los métodos no difieren ampliamente de los expuestos por Nesbitt y Sanders, mencionados anteriormente.

También se puede observar que, aunque los tratamientos son los mismos para cada uno de los casos, los costos pueden variar de acuerdo al tipo de residuo que se está tratando. Lastimosamente no se tienen todos los valores correspondientes, ya que estos datos fueron obtenidos de las compañías que realizan la disposición de los residuos, lo cual hace que se dificulte realizar una comparación de datos para suelos contaminados con hidrocarburos.

²⁵ PUDER, M y VEIL, J. Options, Methods, and Costs for Offsite Commercial Disposal of Exploration and Production Wastes. SPE Projects & Facilities Construction. 2007. p. 2

Tabla 2. Costos comerciales de disposición fuera del sitio para suelos contaminados.

TABLE 1—OFFSITE COMMERCIAL DISPOSAL COSTS FOR CONTAMINATED SOILS			
Method	\$/bbl	Units \$/yd ³	\$/ton
Bioremediation		20–120	50
Burial/Landfill	6.67–22	18	2.50–250 68–80/drum
Burial/Pit	1–8	10–36	
Salt Cavern	2–15		
Surface Discharge			
Evaporation	8.50		45
Injection			
Solids Injection	5–10.50		
Land Application	12	7.50–25	55–100
Recycling		8–45	15
Thermal Treatment			35–1,100
Other Treatment	6–15	25–50	

Source: Puder and Veil (2006a)
The shaded cells indicate that no data were provided by the disposal companies.

Fuente: PUDER, M y VEIL, J. Options, Methods, and Costs for Offsite Commercial Disposal of Exploration and Production Wastes. SPE Projects & Facilities Construction. 2007. p. 2

Tabla 3. Costos comerciales de disposición para lodos base agua y cortes.

TABLE 6—OFFSITE COMMERCIAL DISPOSAL COSTS FOR WATER-BASED MUDS AND CUTTINGS			
Method	\$/bbl	Units \$/yd ³	\$/ton
Bioremediation	40	20	
Burial/Landfill	2.61–22	16–18	2.50–250
Burial/Pit	1–17	30	
Salt Cavern	2–15		
Surface Discharge			
Evaporation	0.85–20		
Injection	0.50		
Solids Injection	5–10.50		
Land Application	0.50–12	7.50–34	55–100
Recycling	5		
Thermal Treatment			380–900
Other Treatment	6–15		

Source: Puder and Veil (2006a)
The shaded cells indicate that no data were provided by the disposal companies.

Fuente: PUDER, M y VEIL, J. Options, Methods, and Costs for Offsite Commercial Disposal of Exploration and Production Wastes. SPE Projects & Facilities Construction. 2007. p. 5

Clements *et al*²⁶ hacen una comparación de las opciones de manejo de desechos en diferentes países, como se puede ver en la Tabla 4. Además, se puede observar que para el 2010 los métodos más comunes son el cultivo del suelo contaminado (landfarming), tratamiento biológico y enterramiento. Para Colombia se podría tomar como referencia los países latinoamericanos que estos autores toman en cuenta, como lo son Brasil, Argentina, México, Perú y Venezuela.

Tabla 4. Comparación de las opciones de manejo de desechos de una sección cruzada de países, estados y provincias.

Table 1 – Comparison of Waste Management Options from a Cross Section of Countries, States and Provinces (x indicates options are allowed)								
Country/State	Landfarming/ Biological Treatment	Landspreading	Incineration/ Thermal	Injection	Stabilization/ Solidification	Burial	Landfill	Reuse
Alaska				x				
Alberta	x	x				x	x	
Angola			x					
Argentina	x	x	x	x		x		x
Arkansas	x	x	x	x			x	x
Bangladesh	x							
Brazil	x	x	x	x			x	x
British Columbia	x	x				x		
California		x		x		x	x	x
China					x	x		
Colorado	x	x		x		x	x	x
Germany				x			x	
India						x		
Louisiana	x	x	x	x	x	x	x	x
Mexico			x	x			x	x
New Zealand	x	x		x		x	x	x
Nigeria	x	x	x	x	x		x	x
Peru	x	x						
Romania			x				x	
Saskatchewan	x	x				x		
Texas	x	x		x			x	x
Trinidad						x		x
Uganda					x	x		
Venezuela	x	x				x		
West Virginia				x		x		
Oklahoma	x	x		x	x	x	x	x
Pennsylvania	x	x				x	x	
Russia			x	x	x	x	x	x

Fuente: CLEMENTS et al. Global Practices and Regulations for Land Application and Disposal of Drill Cuttings and Fluids. 2010. p.5

En el 2013, se publicó un documento donde se habla del manejo integral de los recortes de perforación en el estado de Tabasco en México. Allí se comentan las tecnologías autorizadas para tratar estos residuos, que además están combinados con algunos residuos de los químicos utilizados en la perforación. En el cuadro 4 se muestran las tecnologías y el tipo de proceso por el que pasan los residuos provenientes de lodos base agua, ya que estos son los relevantes para el tema. Estos tipos de procesos se dividen en cuatro tipos según:

- Tratamiento físico. Procesos que mediante concentración y/o cambio de fase, se modifican los constituyentes peligrosos a una forma más conveniente para su manejo posterior.

²⁶ CLEMENTS et al. Global Practices and Regulations for Land Application and Disposal of Drill Cuttings and Fluids. 2010. p.5

- Tratamiento químico. Procesos en donde los constituyentes peligrosos son modificados mediante reacciones químicas. En algunos casos, equivale a una neutralización del peligro; en otros casos excepcionales, el residuo podrá seguir siendo peligroso, pero en una forma más apropiada para su posterior manejo.
- Tratamiento biológico. Las modificaciones o disminución de la concentración se realizan mediante la acción de bacterias propias del suelo, y se aplica tanto para residuos peligrosos como no peligrosos.
- Tratamiento térmico. Proceso en el que se usa alta temperatura para la destrucción de tóxicos, principalmente orgánicos²⁷

Cuadro 4. Tratamiento para los recortes de perforación en el estado de Tabasco.

TECNOLOGÍAS	TIPO DE PROCESO
Tratamiento “in situ” u “on site” de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua y base aceite) mediante la centrifugación y oxidación química.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso químico
Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua y base aceite) por medio de la técnica de estabilización química.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua y base aceite) por medio de la técnica de oxidación química.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluidos base agua y base aceite, tierra y materiales semejantes a suelo contaminados y/o impregnados por lodos y recortes de perforación con fluidos base agua y base aceite) mediante el proceso de degradación de contaminantes mediante las fases física-oxidación, química-degradación bioquímica, aplicada en tres modalidades de tratamiento “Ex Situ”, “On Site” e “In Situ”.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso químico • Proceso biológico
Tratamiento “in situ” u “on site” de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua y base aceite) mediante la degradación bioquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico • Proceso biológico
Tratamiento ex situ de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua, base aceite, lodos provenientes del tratamiento de aguas aceitosas y sanitarias) mediante la biorremediación y lavado de suelos.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso biológico
Tratamiento residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua) mediante métodos físico, químico y biológico.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso químico • Proceso biológico
Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua) por medio de la técnica de lavado.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico
Tratamiento ex situ de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua) por medio del proceso de deshidratación.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico

²⁷ MÉNDEZ, René et al. Manejo Integral de los Recortes de Perforación de la Industria Petrolera en Tabasco. En: Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Julio- diciembre 2013. Vol.2, Num.4. p 13-14

Continuación. Cuadro 4

TECNOLOGÍAS	TIPO DE PROCESO
Tratamiento ex situ de residuos de manejo especial (recortes de perforación impregnados con fluidos base agua y base aceite, lodos sedimentados resultantes del tratamiento de aguas residuales sanitarias y lodos sedimentados del tratamiento de aguas industriales aceitosas) mediante la tecnología de lavado de suelos y degradación biológica.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso biológico
Tratamiento de residuos de manejo especial in situ y ex situ (lodos y recortes de perforación impregnados con fluidos base agua, base aceite y suelos contaminados con estos residuos) por medio de la técnica de bioestimulación/degradación.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
Tratamiento ex situ e in situ de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua y base aceite), suelos contaminados con recortes base agua y base aceite.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua) por medio de las técnicas de oxidación química y desmenuzación.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico

Fuente: VILLEGAS. Análisis de la aplicabilidad potencial de las tecnologías para el tratamiento de los residuos de manejo especial a las condiciones específicas del Estado de Tabasco. Citado por MÉNDEZ, René et al. Manejo Integral de los Recortes de Perforación de la Industria Petrolera en Tabasco. En: Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Julio- diciembre 2013. Vol.2, Num.4. p 14-16

Además de los tratamientos regulares, existen como tratamientos alternativos, como:

- Material de construcción^{28,29}: Este es un tratamiento alternativo que se ha estudiado en Taiwán y Brasil, pero que aún necesita de más estudios ya que las variaciones en los cortes de perforación dependiendo de la geología o profundidad de perforación hacen que la fuerza de los ladrillos cambie.

- Uso de oxidación con ozono³⁰ para mejorar el tratamiento del agua de perforación, ya que ayuda a reducir biológicamente el carbono total orgánico (TOC) en más de un 46% después de un pretratamiento por coagulación, lo que mejora la biodegradabilidad de las aguas residuales.

3.4 VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS

Una vez se clasificaron las sustancias, se tomaron aquellas que mostraron un nivel toxicológico alto para hacer un análisis del tratamiento más adecuado que cumpla con las condiciones ambientales seguras estipuladas en la normativa colombiana. Estas condiciones ambientales seguras son aquellas que se refieren al manejo ambiental de los lodos que se especifica en la Guía De Manejo Ambiental Para

²⁸ CHEN, Ta-Lin et al. An Innovative Utilization of Drilling Wastes as Building Materials. 2007. p.5

²⁹ VAQUEIRO, R.L.C. et al. The Use of Drilling Cuttings as Building Materials in Baiano, Brazil. 2006. p.8

³⁰ WANG, Yanming et al. Improvement of Biodegradability of Oil Field Drilling Wastewater Using Ozone. Ozone: Science and Engineering. 2004. Vol. 26. Núm. 3. p.315.

Proyectos De Perforación De Petróleo Y Gas. Sin embargo, esta guía no establece un lineamiento para el manejo de cada sustancia en particular, sino que hace recomendaciones generales sobre la forma general de proceder para la disposición final del lodo.

A continuación, se plantea una descripción general de las herramientas que se pueden utilizar para mejorar el manejo de las sustancias peligrosas analizadas:

- Identificar las sustancias químicas que presentan el peligro más alto para la salud, por inflamabilidad y reactividad, (Tabla 1)
- Consultar las hojas de seguridad de cada sustancia, para establecer las características de manejo de acuerdo a las secciones relevantes de las hojas de seguridad, y establecer en forma detallada las sustancias que presentan el peligro más alto para el ambiente (cuadro 3)
- Relacionar la información de la tabla 1 y el cuadro 3 para las sustancias más peligrosas reportadas por este trabajo, como se muestra en la tabla 5.
- Evaluar el tipo de tratamiento adecuado para cada una de las sustancias examinadas en el numeral anterior, de acuerdo con sus riesgos ambientales y las propiedades de la sustancia química.

Oxidantes: Oxido y dicromatos

Base débil: amonio

Sales: sulfato, cloruros

Aromático: nafta

Aldehído: glutaraldehido

Estos cinco grupos que agrupan los contaminantes químicos, presentan diferentes niveles de ecotoxicidad en el agua según las respectivas hojas de seguridad analizadas. Por lo cual se requiere un tratamiento de los residuos líquidos antes del vertimiento o disposición de los lodos en piscinas que impidan flujos de agua, al mantenerse contenidos y por evaporación se obtenga al final del proceso un lodo seco. De acuerdo con este tratamiento establecido por la Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Petróleo y Gas, se hacen las siguientes precisiones:

- Para Colombia no se ha actualizado o no existe un tratamiento específico para los lodos base agua, solo se presentan los lineamientos para los lodos base agua salada y base aceite.
- Las empresas están interesadas en hacer la recirculación del agua en el pozo, mediante un sistema de circuito cerrado que acondiciona un tratamiento de las aguas de producción para remover principalmente los sulfatos y cloruros del agua, por tratamiento terciario, mientras que los otros compuestos se eliminan mediante procesos de separación mecánica.
- No se debe permitir ningún vertimiento, sino que aquella agua que no puede ser recirculada debe ser almacenada en contenedores y ser dispuesta en rellenos especializados.

Tabla 5. Relación de la clasificación NFPA 704 y las hojas de seguridad.

Nombre de la sustancia	Composición/información de ingredientes	Clasificación NFPA 704			Clasificación por hoja de seguridad	Tratamiento
		Salud	Inflamabilidad	Reactividad	Ambiente	
X-cide	glutaraldehido	3	1	0	información no disponible	recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas
Cal	Oxido de calcio	3	0	2	Nocivo para la vida acuática debido al incremento temporal del pH del agua, lo que afecta a los organismos vivos sensibles a estos cambios bruscos. Al hidratarse se convierte en hidróxido de calcio y este al absorber el anhídrido carbónico del ambiente se transforma en carbonato de calcio que es un material presente en la naturaleza y puede incorporarse al estrato suelo, aportando calcio a éste.	El polvillo residual se puede neutralizar con una solución diluida de ácido clorhídrico para ajustar a pH 7 y luego depositarlo en relleno sanitario autorizado. Otros métodos autorizados por la normatividad

Continuación. Tabla 5

Nombre de la sustancia	Composición/información de ingredientes	Clasificación NFPA 704			Clasificación por hoja de seguridad	Tratamiento
		Salud	Inflamabilidad	Reactividad		
Dicromato de sodio	Dicromato de sodio	3	0	0	Puede filtrarse en aguas subterráneas. Puede bioacumularse en cierta medida. Se espera que sea toxico para la vida acuática.	recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas
Dispac superlo	Sodio carboxymetilcelulosa	0	2	0	se espera que sea fácilmente biodegradable	Disponer de acuerdo a la normativa. Reciclar si es posible
Brine pac	Compuesto cuaternario de amonio, amina grasa oxialquilada, isopropanol, hidróxido de amonio, hidracina	2	2	0	eco toxicidad aguda en agua para hidróxido de amonio, isopropanol e hidracina, con exposiciones entre 48 y 96 horas	recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas

Nombre de la sustancia	Composición/información de ingredientes	Clasificación NFPA 704			Clasificación por hoja de seguridad	Tratamiento
		Salud	Inflamabilidad	Reactividad		
Desco	Tanino sulfonado o ester metilo, sulfato ferroso, acetato de cromo, silica cristalina	2	2	0	no es fácilmente degradable, peligroso para la vida acuática y con efectos de larga duración	No debe entrar en el drenaje, cursos de agua o suelo. recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas
Surf cote	Nafta (aromático pesado), dodecilbenzenosulfonato, N-butanol, glicol propileno y naftaleno	2	2	0	eco toxicidad aguda en agua para hidróxido de amonio, isopropanol e hidracina, con exposiciones entre 48 y 96 horas	recoger el material en contenedores adecuados para su uso o desecho y disponer de acuerdo a las normas
Cloruro de calcio	Cloruro de calcio	2	0	1	eco toxicidad en el agua (CL 50): 100 mg /196 horas de pescado	Cualquier cantidad que no pueda salvarse por recuperado o reciclado debe manejarse en una instalación de eliminación de residuos apropiada y aprobada. Debe manejarse de acuerdo a la normatividad

Nota: La información fue tomada de las respectivas hojas de seguridad.

- Los lodos deben ser tratados por alguno de los tipos de tratamiento mencionados anteriormente de acuerdo a sus características y factibilidad, se recomienda que no se utilicen para usos agrícolas puesto que aun contienen sustancias químicas que no lograron ser tratadas.
- Realizar una comparación entre tratamientos de los recortes y los lodos secos para facilitar la biodegradación de aquellos compuestos químicos que no pudieron ser eliminados por el tratamiento terciario y que aún persisten como solidos incorporados en los lodos. Una vez se establecen los químicos aún presentes luego del tratamiento de los lodos, se procede a la disposición final según las técnicas disponibles (cuadro 5) para su reutilización (por ejemplo, biorremediación o materiales de construcción) o su eliminación parcial o total a través de trituración o inyección al subsuelo o la solidificación y encapsulamiento. Algunas de las técnicas empleadas para la disposición final de los lodos se muestran en el cuadro 5 junto con los pros y contras de cada uno de ellas según las condiciones ambientales necesarias para su aplicación y su posible implementación en Colombia.

Cuadro 5. Pros y contras de las técnicas utilizadas para la disposición final de los lodos.

Disposición	Técnica	Pro	Contra
Eliminación	Celda temporal	<ul style="list-style-type: none"> - Puede acomodar 100% de los cortes y 100% de los vertimientos. - Una solución provisional mientras se identifica e implementa la mejor solución final. - Las celdas temporales futuras pueden ser diseñadas y construidas para los estándares de los vertederos para permitir la conversión a verederos en el futuro. 	<ul style="list-style-type: none"> - No es una solución permanente. - Permitido por un periodo temporal. - Requiere que los cortes sean pre -tratados antes de disponer en vertedero.
Eliminación	Vertedero permanente	<ul style="list-style-type: none"> - Puede acomodar el 100% de los cortes. - Técnicamente factible. - Adecuado para residuos heredados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere que los cortes sean pre- tratados antes de disponerlos.

Continuación. Cuadro 5

Disposición	Técnica	Pro	Contra
Eliminación	Caverna de sal	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser utilizada para el 100% de los recortes. - No necesita pre-tratamiento de los recortes. - Adecuado para residuos heredados. 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay información de su uso en Colombia - No hay legislación específica. - Sales son potencialmente móviles y pueden deteriorar la integridad de la caverna.
Eliminación	Reinyección de cortes	<ul style="list-style-type: none"> - No necesita pre-tratamiento de los recortes. - Los vertimientos no tratados de la perforación pueden ser usados para crear lodos para la inyección por lo cual se elimina la necesidad y costo de un tratamiento líquido. - Adecuado para residuos heredados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Procesos de licenciamiento pueden tomar mucho tiempo. - Necesita formaciones que puedan contener los fluidos inyectados.
Reutilización	Aplicación en tierra	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo potencial 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere de pre-tratamiento - No puede ser usado con cortes salados. - Necesita identificar las localizaciones potenciales.
Reutilización	Materiales de construcción	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo potencial 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere pre-tratamiento - No puede ser usado con cortes salados - Aun se debe mejorar la tecnología - Necesita ser verificado

Continuación. Cuadro 5

Disposición	Técnica	Pro	Contra
Eliminación	Forro de relleno sanitario	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo potencial 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere pre-tratamiento - No puede ser usado con cortes salados - Aun se debe mejorar la tecnología - Necesita ser verificado.
Reutilización	Biorremediación	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede realizar el manejo “in situ” o “ex situ” - Han sido utilizadas con éxito en la remediación de suelos, lodos, y aguas subterráneas contaminadas con petróleo, solventes, pesticidas y otros químicos orgánicos. - los tratamientos de biorremediación a menudo no requieren calor, relativamente requieren ingresos no muy costosos, como nutrientes, y usualmente no generan residuos que requirieran tratamiento adicional para disposición. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se considera eventos naturales que puedan afectar el sitio donde se realiza la biorremediación - Alta concentración de metales pesados, largas cadenas de hidrocarburos, o sales inorgánicas pueden ser microorganismos tóxicos. - La biorremediación es lenta a bajas temperaturas - La circulación de agua a través del suelo puede incrementar la movilidad del contaminante y necesitar tratamiento para aguas subterráneas - Estas técnicas, aun son experimentales, son
Eliminación	Incineración	<ul style="list-style-type: none"> - El proceso se lleva a cabo in-situ, es decir, se excava el suelo y se lleva a los incineradores - La cantidad de material que requiere eliminación es muy inferior a la cantidad inicial de material contaminado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sus costos pueden elevarse debido al transporte de material. - Los incineradores funcionan a temperaturas muy altas por lo cual se necesita una gran cantidad de energía en su funcionamiento.

Nota: La tabla fue adaptada de: GOGAN, Ray et al. Waste Management for Drillers. Society of Petroleum Engineers. 2010. p.10 y CASTELBLANCO, Ivan y NIÑO, Jhon. Manejo y Tratamiento Actual de Residuos Aceitosos en la Industria Petrolera Colombiana. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería. Departamento de Ingeniería de Petróleos. 2011. p.79-108

4. CONCLUSIONES

La mejor aproximación para identificar la composición química de los lodos de perforación fue la clasificación de acuerdo a los aditivos que se utilizan para conformar los fluidos de perforación. Se encontró que para cada uno de los aditivos se presenta un gran número de sustancias químicas utilizadas, lo cual hoy en día dificulta su identificación completa. Sin embargo, de acuerdo con algunas características de estas sustancias se lograron clasificar según el uso del aditivo químico en el lodo de perforación, pero no fue posible conocerlos todos debido a la alta cantidad de compuestos identificados.

La mayoría de los aditivos fueron tomados de la Guía ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas, lo que valida el trabajo realizado para su aplicación en Colombia.

La clasificación de las sustancias químicas se realizó por medio del sistema de etiquetado NFPA 704 ya que al ser una de las normas más usadas a nivel mundial, fue más fácil encontrarla referenciada en las hojas de seguridad de la mayoría de estas sustancias químicas seleccionadas. Además, se encontró que de las sustancias escogidas aleatoriamente la mayoría no presentaban mayor riesgo en aspectos de inflamabilidad, reactividad o efectos en la salud, y solo una tenía un riesgo especial (reactividad en el agua).

Los tratamientos usados para el manejo de los lodos de perforación no han cambiado mayormente en los últimos 35 años, los cuales solamente se han enfocado en el manejo de los lodos de perforación como un todo sin realizarse un tratamiento específico a las sustancias químicas peligrosas. Además, también se evidencio que en Colombia no se ha avanzado mucho en este tema, ya que no se encuentra una normatividad desarrollada ni tampoco se han dado especificaciones acerca del tratamiento específico que se debería realizar. Otro punto importante para recalcar es que los tratamientos usados solo estabilizan los elementos tóxicos mas no los remueven.

5. RECOMENDACIONES

El estudio se llevó a cabo con base en los lodos de perforación base agua debido a que estos son los más comunes, lo que significa que no deben dejarse de estudiar los otros tipos de lodo, por tanto, se recomienda revisarlos y realizar una futura investigación acerca de ellos.

En este trabajo se logró cumplir con uno de los propósitos de clasificación de las sustancias químicas, pero no se logró especificar cuáles sustancias químicas clasificadas representan el mayor riesgo de contaminación en los lodos dispuestos. Lo anterior debido a que se tomaron las sustancias aleatoriamente, por cual no se puede asegurar que estas sean las de mayor riesgo, ante esto se recomienda que se tome una segunda muestra para comparar los resultados con este estudio de manera que se pueda comprobar la eficacia de la metodología empleada.

Con respecto al sistema de clasificación empleado (NFPA 704), se recomienda que otro estudio similar a este sea realizado, clasificando los mismos compuestos aquí examinados mediante otro sistema de clasificación disponible, de tal forma que permita la comparación de las sustancias y los riesgos altos que presentan para la salud y el medio ambiente.

Con respecto a los sistemas de tratamiento identificados para la remoción o estabilización de las sustancias químicas consideradas más peligrosas, se recomienda que una segunda monografía aplique y ajuste el protocolo propuesto para el tratamiento de estas sustancias, el cual en esta monografía solamente fue planteado.

BIBLIOGRAFÍA

BAKER HUGHES.Bio-lose. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Bio-Lose.pdf>>

BAKER HUGHES.Bio-spot. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Bio-Spot_XPR.pdf>

BAKER HUGHES.Brine-pac. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Brine-Pac_3N1.pdf>

BAKER HUGHES.Carbo-mul. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Carbo-mul_HT.pdf>

BAKER HUGHES.Kd-40. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/KD-40.pdf>>

BAKER HUGHES.Lc-lube. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< http://www.shopbakerhughes.com/media/pdf/US-LA_ENGLISH_BHDF_10114532.pdf>

BAKER HUGHES.Ld-8. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/LD-8.pdf>>

BAKER HUGHES.Ligcon. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Ligcon.pdf>>

BAKER HUGHES.Md. [sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/MD_II.pdf>

BAKER HUGHES.Mil-temp. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Mil-Temp.pdf>>

BAKER HUGHES.New Drill plus. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/New-Drill_Plus.pdf>

BAKER HUGHES.Penetrex. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Penetrex.pdf>>

BAKER HUGHES.Solulflake. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Solulflake.pdf> >

BAKER HUGHES.Surf cote. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <https://s3.amazonaws.com/shopbakermssds/Surf-cote.pdf>>

CASTELBLANCO, Iván y NIÑO, Jhon. Manejo y Tratamiento Actual de Residuos Aceitosos en la Industria Petrolera Colombiana. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga. 2011. p. 177

CHEN, Ta-Lin et al. An Innovative Utilization of Drilling Wastes as Building Materials. 2007. p. 8

CLEMENTS et al. Global Practices and Regulations for Land Application and Disposal of Drill Cuttings and Fluids. 2010. p.5

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17, marzo, 2015) por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C. 2015.

CONNCOLL. Foam free. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: < https://www.conncoll.edu/media/website-media/offices/ehs/envhealthdocs/foam_free.pdf>

CORQUIVEN C.A. Paraformaldehido. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://www.corquiven.com.ve/PDF/MSDS-PARAFORMALDEHIDO.pdf>>

CPCHEM. Desco. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< http://www.cpchem.com/msds/100000013921_SDS_US_EN.PDF>

CPCHEM. Drispac. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< http://www.cpchem.com/msds/100000014007_SDS_US_EN.PDF>

CYTEC. Superfloc. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< http://www.sfm.state.or.us/CR2K_SubDB/MSDS/SUPERFLOC_C_1598.PDF>

FINKS, Johannes. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. [S, l] Elsevier Inc. 2015. p.61

GE WATER & PROCESS TECHNOLOGIES. Polyfloc ae1125. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< http://files.dep.state.pa.us/water/Wastewater%20Management/EDMRPortalFiles/Chemical_Additives/MSDS/240.pdf>

GTM. Dicromato de sodio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://www.gtm.net/images/industrial/d/DICROMATO%20DE%20SODIO.pdf>>

GTM. Estearato de aluminio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:<
<http://www.gtm.net/images/industrial/e/ESTEARATO%20DE%20ALUMINIO.pdf>>

GTM. Goma xantan. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:<
<http://www.gtm.net/images/industrial/g/GOMA%20DE%20XANTAN%20POLVO.pdf>>

ISSUU. Fluidos de control. Citado en: [04 de octubre de 2016]. Disponible en: <
<https://issuu.com/biliovirtual/docs/fluidos-de-control>>

JC PORTAL DRILLING SUPPLIES. Bentonita 3/8. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:<
<http://www.jcpds.com.mx/wp-content/uploads/2015/07/MSDS-BENTONITA3-8.pdf>>

J. R. SIMPLOT COMPANY. Aminoalcohol. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: <
<http://msds.simplot.com/datasheets/77343.pdf>>

KELLY SOLUTIONS. X-cide 102. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:<
http://www.kellysolutions.com/erenewals/documentsubmit/KellyData%5COK%5Cpesticide%5CMSDS%5C10707%5C10707-40%5C10707-40_X_cide_102_Industrial_Bactericide_4_12_2007_10_51_12_AM.pdf>

LYONS, William. Working Guide to Drilling Equipment and Operations. [S, l] Elsevier Inc., 2010. p.53

MÉNDEZ, René et al. Manejo Integral de los Recortes de Perforación de la Industria Petrolera en Tabasco. En: Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Julio- diciembre 2013. Vol.2, Num.4. p 20

MI. Nut plug. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:<
http://hydroresourcesrockymountain.weebly.com/uploads/3/6/9/9/3699574/nut_plug.pdf>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas. Bogotá. 1999. p.217

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL DE COLOMBIA. Guías para Manejo Seguro y Gestión Ambiental de 25 Sustancias Químicas. 2003. p. 441

MSDS DIGITAL. Barafloc. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:<
http://www.msdsdigital.com/system/files/BARAFLOC%C2%AE_2.pdf>

MSDS DIGITAL. Barathin-plus. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://www.msdsdigital.com/barathin-plus-msds-0>>

MSDS DIGITAL. Con det. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://www.msdsdigital.com/con-det%C2%AE-e-msds>>

MSDS DIGITAL. Ez mul. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://www.msdsdigital.com/ez-mul%C2%AE-nt-msds>>

MSDS DIGITAL. Invermul. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://msdsdigital.com/invermul%C2%AE-nt-msds>>

MSDS DIGITAL. Q-Broxin. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://msdsdigital.com/q-broxin%C2%AE-msds-0>>

MSDS DIGITAL. Wall nut. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://www.msdsdigital.com/wall-nut%C2%AE-coarse-msds>>

NESBITT, Lyle y SANDERS, Joe. Drilling Fluid Disposal. Journal of Petroleum Technology. 1981. p. 5

NEXTBAR. Atapulguita. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://NEXTBAR.net/seguridad/HSE018%20ATAPULGUITA.pdf>>

NEXTBAR. Barita. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://NEXTBAR.net/seguridad/HSE023%20BARITA.pdf>>

NEXTBAR. Hematita. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://NEXTBAR.net/seguridad/HSE112%20HEMATITA.pdf>>

NEXTBAR. Lignito. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://NEXTBAR.net/seguridad/HSE118%20LIGNITO.pdf>>

NEXTBAR. Silicato de sodio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://NEXTBAR.net/seguridad/HSE171%20SILICATO%20DE%20SODIO.pdf>>

OPS-OMS. Glosario de términos en salud ambiental. Citado en: [04 de octubre de 2016]. Disponible en: < <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/eco/030494/030494-02.pdf>>

OXIQUIM S.A. Carbonato de zinc. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:<http://www.asiquim.com/nwebq/download/HDS/Carbonato_de_zinc.pdf>

PAGE, W.B y CHILTON, D.J. An Integrated Approach to Waste Minimization. Society of Petroleum Engineers, Inc. 1991. p. 9

PAGE, W.B et al. Minimizing Environmental Impact: An Integrated Approach to Waste Management. Society of Petroleum Engineers, Inc. 1998. p. 10

PILGUN, Sergei et al. Environmentally Compatible Drilling Fluids. 2013. [s.l.] p.7

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Carbonato de calcio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/CaCO3.pdf>>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Carbonato de sodio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/Na2CO3.pdf>>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Cloruro de Calcio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/CaCl2.pdf>>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Cloruro de potasio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/KCl.pdf>>

PUDER, M y VEIL, J. Options, Methods, and Costs for Offsite Commercial Disposal of Exploration and Production Wastes. SPE Projects & Facilities Construction. 2007. p. 2

QUIMETAL. Bisulfito de Amonio. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< http://www.quimetal.cl/mantenedor/productos/PDF/c1d90f_hds_bisulfito%20de%20amonio.pdf >

REDRIVERSUPPLY. Phpa I. [sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en:< <http://www.redriversupply.us/usfiles/msds/nov/NOV%20PHPA%20L%20MSDS.pdf> >

REIS, John C., Drilling and Production Operations En: Environmental Control in Petroleum Engineering. Gulf Professional Publishing. 1996. p. 21

SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary en español. Citado en: [04 de octubre de 2016]. Disponible en: < <http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/c/cuttings.aspx> >

SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary en español. Citado en: [04 de octubre de 2016]. Disponible en: < http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/d/drilling_fluid.aspx >

SCIENCELAB.COM. Borax. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: <<http://www.SCIENCELAB.COM/msds.php?msdsId=9924967>>

SCIENCELAB.COM. Carboxymethyl cellulose sodium. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: <<https://www.SCIENCELAB.COM/msds.php?msdsId=9923316> >

SCIENCELAB.COM. Lead sulfide. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: < <http://gfxtechnology.com/MSDS-PbS.pdf> >

SCIENCELAB.COM. Mica. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: < <https://www.SCIENCELAB.COM/msds.php?msdsId=9926119> >

SCOTT, Paul et al. Drilling Fluids. En: IADC Drilling Manual. INTERNACIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS. 12. ed. [S, l]. 2015. p.65

SOPROCAL. Cal viva. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: <<http://www.soprocal.cl/soprocal/app/webroot/img/file/HDS%20OXIDO%20DE%20CALCIO.pdf>>

SULFOQUIMICA. Policloruro de Aluminio Líquido. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: <[http://www.sulfoquimica.com/uploads/fckeditor/MSDS-Policloruro-de-Aluminio-\(PAC\).pdf](http://www.sulfoquimica.com/uploads/fckeditor/MSDS-Policloruro-de-Aluminio-(PAC).pdf)>

THORNELOE ENERGY. Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Perforación Exploratoria San Antonio. [CD-ROM] Bogotá D.C, 2010. Cap. 2. p. 84

TRADE-CHEM. Alkylpolyglucoside. [Sitio web]. Citado en: [01 de junio de 2016]. Disponible en: < <http://www.trade-chem.com/products/MSDS/APG%20MSDS.pdf> >

VAQUEIRO, R.L.C. et al. The Use of Drilling Cuttings as Building Materials in Baiano, Brazil. 2006. p.9

WANG, Yanming et al. Improvement of Biodegradability of Oil Field Drilling Wastewater Using Ozone. Ozone: Science and Engineering. 2004. Vol. 26. Núm. 3. p. 9