



Universidad Veracruzana

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ZONA XALAPA**

“Criterios básicos para normar los recortes de perforación generados por la industria petrolera en el estado de Veracruz”

TRABAJO RECEPCIONAL

Que para obtener el diploma de:

**ESPECIALISTA EN
DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN AMBIENTAL**

Presenta:

I.A. José Humberto Alarcón Sierra

Nombre del director

Dra. Tania García López

Nombre del co-director

Dr. Eduardo Castillo González

Xalapa, Ver., Julio 2014



Universidad Veracruzana

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS ZONA XALAPA

“Criterios básicos para normar los recortes de perforación generados por la industria petrolera en el estado de Veracruz”

TRABAJO RECEPTACIONAL

Que para obtener el diploma de:

ESPECIALISTA EN DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN AMBIENTAL

Presenta:

I.A. José Humberto Alarcón Sierra

Nombre del director

Dra. Tania García López

Nombre del co-director

Dr. Eduardo Castillo González

Xalapa, Ver., Julio 2014



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias
Químicas

COORDINACIÓN DE POSGRADOS

Asunto: Autorización de impresión

A el C.
JOSÉ HUMBERTO ALARCÓN SIERRA
Presente

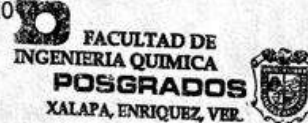
Circuito Aguirre Beltrán
S/N
Zona Universitaria
C.P. 91000
Xalapa, Veracruz
México

Teléfonos:
(52) 228 141-10-33

Correo Electrónico
berthemandez@uv.mx

Comunico a Usted que toda vez que ha sido revisado y aprobado su Trabajo de Tesis titulado: "**Criterios básicos para normar los recortes de perforación generados por la industria petrolera del Estado de Veracruz.**" y estando de acuerdo con los Catedráticos que integran el Jurado de la revisión escrita, de que es aceptable en forma y fondo para su correspondiente Examen de la Especialización en Diagnóstico y Gestión Ambiental (2013 – 2014) Campus Xalapa, autorizo que proceda la impresión de dicho trabajo.

ATENTAMENTE
"Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz"
Xalapa, Ver. a 01 de Julio de 2014



M.C. Bertha Ma. Rocío Hernández Suárez
Coordinadora

Resumen

Palabras clave: Recortes de perforación, manejo, criterios básicos, industria petrolera.

Es sabido que las actividades petroleras y en específico la de perforación de pozos genera grandes volúmenes de los residuos de manejo especial denominados recortes de perforación, cuyo manejo, eficiente y responsable, requiere de transporte especializado y de la infraestructura adecuada para su disposición.

Veracruz es uno de los estados con más actividad petrolera en el país por lo que la generación de residuos de perforación resulta en una cantidad importante y no se tiene una normatividad que los regule debido a que su presencia en el ambiente puede causar la contaminación de suelos y aguas.

El objetivo del presente trabajo es proponer criterios básicos que deben ser normados en el manejo de los recortes de perforación generados en el estado de Veracruz. De esta forma se cumple con lo establecido en la LGPGIR como facultad de las entidades federativas.

Para realizar este trabajo se propuso una metodología de dos fases: en la primera se describió la situación actual del manejo de los recortes de perforación a través de las bases técnicas y legales existentes en un contexto nacional e internacional y en la segunda fase se describieron las características de los recortes de perforación y se contrastaron con los resultados de la fase anterior para generar los criterios que deben ser normados para un manejo adecuado.

Se propuso transitar del uso de fluidos de perforación de base aceite a los de base sintética. Se marcaron lineamientos que deben seguir el transporte, almacenamiento y disposición final de estos residuos. Se sugirió un método de tratamiento para ser aplicado los recortes. Se incluyó también la forma en que la SEDEMA debe vigilar que el manejo siga los criterios establecidos.

Este trabajo constituye un instrumento eficiente para la posterior generación de normas jurídicas que regulen el manejo de los recortes de perforación para que este sea adecuado y orientado hacia la sustentabilidad.

Índice

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 10 |
| 2. Antecedentes | 12 |
| 2.1 Contexto internacional del manejo de recortes de perforación..... | 12 |
| 2.1.1 Venezuela | 13 |
| 2.1.2 Estados Unidos de América | 15 |
| 2.1.3 Holanda | 17 |
| 2.1.4 Canadá..... | 18 |
| 2.1.5 Noruega | 20 |
| 2.2 Manejo de los recortes de perforación en México | 21 |
| 2.2.1 Clasificación de los recortes de perforación | 23 |
| 2.2.2 Recolección interna y almacenamiento temporal | 24 |
| 2.2.3 Transporte, tratamiento y disposición final..... | 25 |
| 2.3 Manejo de los recortes de perforación en el estado de Veracruz | 26 |
| 3. PEMEX y los recortes de perforación | 30 |
| 4. Planteamiento del Problema | 38 |
| 5. Objetivos | 39 |
| 5.1 Objetivo General..... | 39 |
| 5.2 Objetivos Particulares | 39 |
| 6. Justificación | 40 |
| 7. Recortes de perforación. Generación y efectos | 41 |
| 7.1 Definición y composición de los recortes de perforación..... | 41 |
| 7.2 Proceso de generación..... | 45 |
| 7.3 Impactos ambientales de los recortes de perforación..... | 48 |
| 7.3.1 Aceite en forma libre | 49 |
| 7.3.2 Aceite diesel | 51 |
| 7.3.3 Metales pesados..... | 52 |
| 8. Metodología..... | 54 |

| | |
|---|----|
| 9. Criterios que deben ser atendidos para normar el manejo de los recortes de perforación | 57 |
| 9.1 Generación | 57 |
| 9.2 Almacenamiento | 58 |
| 9.3 Transporte | 60 |
| 9.4 Tratamiento | 61 |
| 9.4.1 Físicos | 61 |
| 9.4.2 Fisicoquímicos | 63 |
| 9.4.3 Térmicos | 64 |
| 9.4.4 Biológicos..... | 65 |
| 9.5 Disposición final..... | 67 |
| 10. Conclusiones | 71 |
| Bibliografía | 73 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación de las actividades realizadas por PEMEX en el país (PEMEX, 2012)..... | 30 |
| Figura 2. Generación de residuos peligrosos de PEMEX, de 2006 a 2011 (INECC, 2012) | 32 |
| Figura 3. Residuos peligrosos generados por PEMEX al 2006 (INECC, 2012)..... | 33 |
| Figura 4. Generación de RME en subsidiarias de PEMEX (Escamilla, 2012) | 36 |
| Figura 6. Proceso de perforado (OGP, 2003) | 46 |
| Figura 7. Revestimiento del pozo a diferentes profundidades (OGP, 2003)..... | 47 |
| Figura 8. Estructuras de hidrocarburos policíclicos | 51 |
| Figura 10. Presas para almacenaje de recortes de perforación..... | 59 |
| Figura 11. Transporte de contenedores con residuos peligrosos o no peligrosos | 60 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Limitaciones de residuos de perforación de la EPA | 17 |
| Tabla 2. Limitaciones de residuos de perforación en Holanda..... | 18 |
| Tabla 3. Limitaciones de residuos de perforación en Canadá..... | 19 |
| Tabla 4. Acciones implementadas para los recortes de perforación en Noruega.. | 21 |
| Tabla 5. Datos de RME en Veracruz..... | 28 |
| Tabla 6. Residuos peligrosos y de manejo especial generados por PEMEX | 31 |
| Tabla 7. Comparación de residuos generados por PEMEX de 2006 al 2012 | 33 |
| Tabla 8. Generación de recortes por etapa de la perforación | 37 |
| Tabla 9. Parámetros contaminantes de los residuos de perforación | 49 |
| Tabla 10. Características de las emulsiones de recortes para ser inyectadas | 68 |
| Tabla 11. Ventajas y desventajas de la aplicación de recomendaciones | 69 |

1. Introducción

El petróleo es una sustancia aceitosa de color oscuro que, por sus compuestos de hidrógeno y carbono, se le denomina hidrocarburo; se presenta parcialmente en estados líquido y gaseoso. En el primer caso, es un aceite al que también se le llama crudo; en el segundo, se le conoce como gas natural. La única manera de saber realmente si hay petróleo en el sitio donde la investigación geológica propone que se podría localizar un depósito de hidrocarburo es, mediante la perforación de un hueco o pozo (Mérida, 2011).

Latinoamérica es una región destacada en cuanto a la producción de hidrocarburos de origen fósiles. Países como Venezuela, Colombia, Argentina, Ecuador y México son importantes productores petroleros a nivel internacional.

En México, cerca del 88% de la energía primaria que se consume proviene del petróleo. Llega cada día en una gran variedad de formas. Es la principal fuente de insumos para generar energía eléctrica, permite la producción de combustibles para los sectores de transporte e industrial. Además, es materia prima de una gran cantidad de productos como telas, medicinas o variados objetos de plástico (INEGI, 2013).

Es sabido que las actividades petroleras y en específico la de perforación de pozos, genera grandes volúmenes de los residuos denominados recortes de perforación, cuyo manejo, eficiente y responsable, requiere de transporte especializado y de la infraestructura adecuada para su disposición (DOF, 2008).

Veracruz es uno de los estados con más actividad petrolera en el país por lo que la generación de residuos de perforación resulta en una cantidad importante y no se tiene una normatividad que los regule debido a que su presencia en el ambiente puede causar la contaminación de suelos y aguas.

En el presente estudio se hará un análisis de los criterios técnicos y legales que pueden fungir como sustento en la elaboración de una norma que establezca la manera en que los residuos de perforación deben ser manejados desde su generación, tratamiento, almacenaje temporal, transporte, hasta su disposición final.

Con esto se puede lograr que se genere información actual y real acerca del manejo de los recortes de perforación y que se comience a orientar hacia la sustentabilidad generando así beneficios ambientales, sociales y económicos.

2. Antecedentes

Uno de los efectos colaterales en la búsqueda de hidrocarburos es la acumulación de escombros que se remueven durante las operaciones de exploración y/o explotación de pozos petroleros; hasta los años ochenta poca era la atención brindada en la eliminación de los recortes y el exceso de los fluidos de perforación y a los efectos que estos pueden ocasionar al medio ambiente. Habitualmente estos materiales eran desechados por la borda en operaciones marinas o se sepultaban en localizaciones terrestres (Mérida, 2011).

Hasta la década de 1980, poca era la atención brindada a los recortes y al exceso de fluidos de perforación. Habitualmente estos residuos se desechaban por la borda en las operaciones marinas o se sepultaban durante la perforación en las localizaciones terrestres (Geehan *et al.*, 2007).

2.1 Contexto internacional del manejo de recortes de perforación

En el mundo, gran cantidad de países tiene yacimientos petroleros dentro de sus territorios o explotan los de otros países menos desarrollados. Todos estos países, tanto en América como en otros continentes, generan también recortes de perforación y los regulan según sus propias circunstancias.

Durante la transición de los 80's a los 90's, la concientización global ambiental aumentó y la industria del petróleo y el gas, junto con sus reguladores, comenzaron a comprender y apreciar el impacto ambiental potencial de los residuos de perforación (Geehan *et al.*, 2007).

Organismos internacionales como el ARPEL (Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe) ha publicado documentos

como "Tratamiento y eliminación de desperdicios de exploración y producción" en el cual describe el proceso para tratamiento y eliminación de los residuos generados incluyendo recortes de perforación, lodos de perforación, cementos, desperdicios químicos y metálicos así como los que describe como "basura general" compuestos de papel, cartón, plásticos (ARPEL, s.f.).

Otros países petroleros de América Latina como Colombia ha emitido, a través de su Ministerio de Medio Ambiente, una guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas en los que incluye todo el manejo al que deben ser sometidos los residuos generados, incluyendo los recortes, desde 1999 (Buitargo y Cárdenas, 1999).

2.1.1 Venezuela

Este es uno de los principales productores petroleros de América Latina. Cuenta con un marco legal que regula todas las actividades petroleras dentro de su territorio que se desprende desde la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.

De manera específica, la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela en su Capítulo IX de los Derechos Ambientales, consagra los postulados del desarrollo sustentable como marco referencial o principio rector de todas las actividades que realicen el Estado y los particulares en materia de gestión ambiental, social y económica. En tal sentido, establece como deber fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, el clima, la capa de ozono y las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley (Zamora & Ramos, 2009).

Venezuela también se encuentra incluido en una gran cantidad de convenios internacionales de carácter ambiental, entre los que destacan el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación del cual su objetivo es regular los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos, reduciendo al mínimo su generación,

asegurando su manejo ambientalmente racional y promoviendo la cooperación internacional en ese campo y el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes que tiene por objeto proteger la salud humana y el ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes, de conformidad con el principio de precaución consagrado en el numeral 15 de la Declaración de Río.

Las Regulaciones Ambientales que se aplican en las operaciones de extracción de Petróleo y Gas de instalaciones localizadas en tierra, contienen las normas, guías y permisos de descarga que rigen para el almacenamiento, tratamiento y disposición de desechos no peligrosos generados en los campos petroleros durante la perforación de pozos y en la producción de petróleo y gas; así como en la construcción, operación, monitoreo y clausura de los fosos usados para el almacenamiento temporal de residuos no peligrosos generados en los campos petroleros (INE, 1995).

Este país realiza todas las actividades petroleras a través de la empresa Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) la cual cuenta con la Gerencia de Ambiente e Higiene Ocupacional, cuya función es desarrollar una política ambiental en la cual define orientaciones para regular y hacer frente a las situaciones que se derivan de los procesos y acciones llevadas a cabo por la empresa, en el marco del aprovechamiento sustentable de los recursos energéticos derivados del gas y del petróleo. A partir de estas orientaciones, las prioridades se establecen en torno al manejo de los recursos naturales, la evaluación y la minimización de los impactos negativos generados por los procesos de la industria sobre los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad, los recursos hídricos, los suelos y el aire, así como la prevención y el manejo de los pasivos ambientales (Zamora y Ramos, 2009).

Para hacer cumplir dicha política se crea el Comité Técnico de Normalización de Ambiente de PDVSA (CTNA), dedicado a la elaboración y revisión de normas, mejores prácticas y procedimientos que establezcan soluciones técnicas y uniformes en los procesos de la industria, cuyo cumplimiento garantizará la protección de la salud de los trabajadores, las instalaciones y el ambiente. Para

ello se proyecta desarrollar una normativa interna para las actividades. Actualmente, el CTNA trabaja en la elaboración de las normas para el manejo de rípios y fluidos residuales de perforación, manejo de aceites usados, manejo de catalizadores gastados y manejo de aguas de producción. También pretende crear una normativa que desarrollará los lineamientos para elaborar los estudios ambientales y socio-culturales en las áreas de influencia de la industria petrolera, como instrumento que impulse la conservación y protección de los ecosistemas, agua, biodiversidad y el control de los impactos generados por las actividades de la industria de los hidrocarburos (Zamora y Ramos, 2009).

Venezuela adopta las limitaciones para el permiso de descarga con respecto a residuos generados en la extracción de petróleo y gas que propone la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos.

2.1.2 Estados Unidos de América

2.1.2.1 Agencia de Protección Ambiental (EPA). Regulaciones Federales 40, 1991.

Las reglamentaciones para la protección del medio ambiente están contenidas en el código de regulaciones federales 40 de la Agencia de Protección Ambiental y en su parte 435 incluye fuentes puntuales de contaminación durante las operaciones de extracción de petróleo y gas de manera global (efluentes y residuos) sin hacer un enfoque específico a fuentes de residuos peligrosos. Dicha parte está conformada de diferentes incisos correspondiendo el "A" a la subcategoría afuera de la costa, el "C" dentro de la costa (en tierra) y el "D" a la zona costera.

Estas regulaciones de aplicación federal junto con las guías de limitaciones de los efluentes y estándares de cumplimiento para nuevas fuentes de generación de contaminantes son las que conforman las normas federales para este tipo de actividades.

También se tiene la publicación de los permisos de descarga del Sistema Nacional de Eliminación de las Descargas Contaminantes cuya Dirección recae en cada uno de los Estados de la Unión Americana.

Las limitaciones vigentes de los efluentes de las fuentes puntuales dentro de la subcategoría "extracción afuera de la costa" de petróleo y gas, que fueron expedidas en Abril/1979 están basadas en los alcances de la mejor tecnología de control práctica (BPT) por sus siglas en inglés. Respecto al control de los residuos generados, básicamente prohíbe la descarga de hidrocarburos en el drenaje de cubierta, lodos y recortes de perforación.

2.1.2.2 Categoría extracción de petróleo y gas. Subcategoría instalaciones afuera de la costa. Guía de las limitaciones de efluentes y cumplimiento de estándares. Nivel: Propuesta. EPA, 40 CFR, 435.

Su objetivo es establecer valores límites de los efluentes, residuos incluyendo lodos y recortes de perforación, de las fuentes puntuales dentro de la subcategoría extracción afuera de la costa de petróleo y gas, basados en estándares para nuevas

Prohíbe las descargas de: lodos de perforación de emulsión inversa (adicionados con diesel); recortes de perforación (contaminados con fluidos de emulsión inversa); desechos sanitarios y desechos domésticos conteniendo sólidos flotantes.

Limita la descarga de: fluidos de perforación conteniendo aceite mineral, cadmio, mercurio, toxicidad y flujo de descarga ; recortes de perforación conteniendo aceite mineral, hidrocarburos en forma libre, cadmio, mercurio, toxicidad y flujo de descarga; fluidos de tratamiento, terminación y reparación de pozos con hidrocarburos en forma libre y desechos domésticos sólidos ; descargas diversas, por ejemplo, de la unidad de desalado de agua de mar para usarse como agua de suministro; fluido utilizado en el preventor de reventones y aguas no contaminadas de lastre.

Requerimientos de monitoreo para: fluidos de perforación (inventario de fluidos de perforación, volumen y contenido de hidrocarburos); recortes de perforación (volumen); drenaje de cubierta (volumen); agua de formación (flujo, toxicidad, bioacumulación y radiactividad); arena producida (peso) ; fluidos de tratamiento,

terminación y reparación de pozos (volumen); desechos sanitarios (flujos); desechos domésticos (observación de sólidos flotantes).

En la tabla 1 se resumen los contaminantes y limitaciones para los principales residuos que son generados en las operaciones involucradas en la extracción de petróleo y gas, tanto para actividades costa afuera como en tierra. Dichas limitaciones se basan en el alcance de la mejor tecnología más práctica de control disponible (BPT). Asimismo, de los límites basados en la mejor tecnología económicamente alcanzable (BAT), se incorpora el parámetro de toxicidad.

Tabla 1. Limitaciones de residuos de perforación de la EPA

| Residuo | Parámetros | Límites |
|---------------------------------|---------------|---|
| Lodos y recortes de perforación | Aceite libre | Ninguna descarga. |
| | Aceite diesel | En cantidades detectables ninguna descarga |
| | Cadmio | 1 mg/kg |
| | Mercurio | 1 mg/kg |
| | Toxicidad | Mínimo 96-hr LC50 de la fase de partículas suspendidas que será de 3% en volumen. |

2.1.3 Holanda

Su normatividad describe la situación predominante con respecto al impacto de las actividades de perforación en el ambiente.

El principal impacto ambiental de la explotación de petróleo y gas en Holanda, está asociado con la descarga de recortes conteniendo residuos de lodos de perforación y el agua de formación conteniendo hidrocarburos. Contiene limitaciones en el uso de lodos base aceite (INE, 1995).

En la tabla 2 se indican las limitaciones para residuos de estas actividades.

Tabla 2. Limitaciones de residuos de perforación en Holanda

| Residuo | Parámetro contaminante | Limitaciones |
|---|------------------------|---|
| Recortes contaminados con lodos base aceite | Grasas y aceites | No mayor del 10% en base seca |
| Lodos de perforación base aceite | Aceites libres | Dependen de las características geológicas en los pozos desviados |

2.1.4 Canadá

Existen guías para el tratamiento y disposición de residuos en instalaciones de explotación y producción de petróleo fuera de la costa en Canadá, las cuales son una serie de recomendaciones para el tratamiento de los residuos en este tipo de instalaciones. Son referidas como "Guías para el tratamiento de residuos fuera de la costa ", y fueron realizadas con objeto de proporcionar a los operadores de plataformas de perforación, explotación y operación en la costa canadiense, los apoyos técnicos para dar cumplimiento a los requerimientos que afectan sus actividades en relación con las disposiciones del Acta de Conservación y Producción de Petróleo y Gas y los permisos de la legislación establecida e implementada en los acuerdos regionales del petróleo (INE, 1995).

Los fundamentos generales de estas guías son lograr que cualquier descarga de sustancias usadas o resultantes de actividades de la explotación y producción de petróleo y gas afuera de la costa no cause efectos adversos al medio ambiente.

El objetivo de las guías es asegurar que los desechos de las instalaciones de exploración y producción fuera de la costa, sean tratados y dispuestos en el medio ambiente de una manera aceptable. Donde los niveles para un parámetro en particular son recomendados, los operadores deben estar familiarizados con la tecnología más práctica disponible.

La combinación de corrientes de aguas residuales no se debe realizar como un medio de dilución para alcanzar los niveles recomendados en las guías, para ser congruentes con lo indicado en las mismas. Durante las operaciones de mantenimiento de los sistemas de tratamiento o de cualquier otro equipo que contribuya a la descarga de cualquier instalación, el operador responsable de la misma deberá conocer todas las acciones posibles con objeto de minimizar la descarga de los desechos sin tratar.

Lo más relevante del contenido de estas guías se encuentra resumido en la tabla 3:

Tabla 3. Limitaciones de residuos de perforación en Canadá

| Residuo | Parámetro contaminante | Limitaciones |
|--|------------------------|--|
| Recortes de perforación con lodos base agua | Ninguno | Deben ser recuperados en el equipo de control de sólidos y descargados en mar abierto abajo del nivel del agua |
| Recortes de perforación contaminados con lodos base aceite o petróleo de la formación | Hidrocarburos libres | Se prohíbe su descarga. Deben ser recuperados y transferirlos a tierra para una disposición adecuada. |
| Lodos de perforación base agua. | Ninguna restricción | Pueden descargarse sin tratamiento |
| Fluidos de tratamiento de pozos (operaciones de terminación, estimulación y mantenimiento de pozos y fracturación de la formación) | Hidrocarburos totales | La descarga puede realizarse una vez que se han tratado para reducir la concentración de hidrocarburos totales a menos de 15 mg/l. Los fluidos conteniendo ácidos fuertes deben neutralizarse antes de su disposición |

| | | |
|------------------------------|----------------------|--|
| Combustibles gastados | Hidrocarburos libres | Se deben transportar a tierra en contenedores seguros para su disposición apropiada o incinerados |
| Sustancias químicas sin usar | | No se permiten descargar excepto cuando se requiera por seguridad de la instalación y del personal |

Asimismo, estipula las siguientes limitaciones:

- El caso de ser necesario el uso del lodo base aceite, éste debe ser del tipo de baja toxicidad.
- En los recortes de perforación, el contenido de hidrocarburos no debe de exceder de 100 g/kg de recorte en base seca.
- Se prohíbe el uso de fluidos base diesel.

2.1.5 Noruega

La eliminación de recortes contaminados con aceite es considerado por las Autoridades Ambientales de Noruega, como el problema más serio de contaminación en las operaciones normales de Exploración y Explotación de Petróleo y Gas (NOIA, 2001).

En 1991 se emitieron nuevas leyes para regular este tipo de descargas (tabla 4), lo cual reducirá sustancialmente dicha descarga y se hará en función de lo siguiente (INE, 1995):

Tabla 4. Acciones implementadas para los recortes de perforación en Noruega

| Corriente | Acción |
|----------------------------|--|
| Recortes de la perforación | <ul style="list-style-type: none">• Incremento en el uso de lodos de perforación que no contengan aceite mineral.• Transporte de los recortes contaminados con aceite a tierra para su limpieza y/o disposición.• Mejorar la eficiencia de los equipos de limpieza |

Las Autoridades Ambientales en Noruega han establecido requerimientos cada vez más estrictos para la disposición de los residuos de perforación contaminados con hidrocarburos.

Hasta abril de 1992, el límite superior fue del 10% en el recorte. Este límite ha sido reducido al 6% para campos de extracción existentes y debe ser reducido al 1% para 1993. Para nuevos campos en desarrollo, el límite ha sido establecido en 1% (INE, 1995).

2.2 Manejo de los recortes de perforación en México

En México, es poco lo que se ha investigado y normado con respecto a estos residuos.

En 1995, el entonces Instituto Nacional de Ecología (INE) en conjunto con el Instituto Mexicano del Petróleo presentó un anteproyecto de norma oficial mexicana para regular el manejo de los residuos provenientes de la extracción de petróleo y gas. En él se presenta un diagnóstico de la situación de esa época del manejo de los residuos generados en las actividades de exploración y producción de petróleo y gas y establece criterios en cuanto al manejo integral de los mismos en todas sus etapas desde la generación hasta la disposición temporal y final

(INE, 1995). Este anteproyecto nunca llegó a ser publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF).

Para el año 2004, en el DOF se publica la norma NOM-115-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004) actualizando la realizada en 1998 y que establece las especificaciones en materia de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación y mantenimiento de pozos petroleros terrestres para exploración y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas o terrenos forestales. En ella se mencionan los recortes de perforación en los numerales 4.3.7 y 4.3.8 estableciendo que para todo su manejo éstos deben transportarse en góndolas o presas metálicas y que debe seguir la normatividad aplicable a la materia. Cabe mencionar que no existe tal normatividad ya que en años posteriores a la publicación de esta norma los recortes de perforación fueron reclasificados de peligrosos a residuos de manejo especial.

En el año 2007 se publica la NOM-149-SEMARNAT-2006 (DOF, 2007) que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación, mantenimiento y abandono de pozos petroleros en las zonas marinas mexicanas. En esta norma se estipula que los lodos base aceite recuperados de la perforación de pozos petroleros así como los recortes de perforación impregnados con los mismos no deben verterse al mar y que deben ser transportados vía marítima en los mismos contenedores en los que fueron recolectados que deben estar diseñados para prevenir derrames y soportar golpes, deben contar con la identificación del residuo y no debe ser llenado a más del 90% de su capacidad total.

En el 2008 se publica el proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-153-SEMARNAT-2006 (DOF, 2008), que establece las especificaciones ambientales para la inyección de recortes de perforación en formaciones receptoras. En este proyecto de norma se mencionan las características de permeabilidad y de ubicación se deben tener los pozos seleccionados para la inyección de recortes de perforación así como las características de los mismos recortes. De ser aceptada

esta sería la única norma que sugiere un proceso de disposición final adecuada de los recortes de perforación. .

2.2.1 Clasificación de los recortes de perforación

En México, la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) contempla tres tipos de residuos: sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos; para los cuales distribuye la competencia de cada uno entre los tres niveles de gobierno (DOF, 2003).

De competencia municipal son considerados los residuos sólidos urbanos (RSU) los cuales la ley define como “Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”

En cuanto al estado, la ley le da competencia en materia de residuos de manejo especial (RME) definidos como “aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”

Para la competencia federal, la Ley reserva los residuos peligrosos (RP) los cuales “son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley”.

Los recortes de perforación no son residuos generados en casa habitación o de características domiciliarias por lo que no pueden ser clasificados como RSU.

Debido a su naturaleza, los recortes de perforación base aceite (emulsión inversa) podrían llegar a ser considerados como RP, sin embargo para poder clasificarlos como tal existe la NOM-052-SEMARNAT-2005 (DOF, 2006) que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Dentro de lo decretado en esta norma no se encuentran los recortes de perforación base aceite. Aunado a esto, entre diciembre de 2002 y abril de 2003, Petróleos Mexicanos (PEMEX) obtuvo el total de Constancias de No Peligrosidad de los recortes de perforación impregnados con lodos de emulsión inversa para los proyectos: Burgos, Marina, Sur, y Veracruz-Altamira-Poza Rica.

Por definición, entonces, los recortes de perforación son considerados RME. Por tal motivo, como lo establece la LGPGIR, es facultad de las entidades federativas "formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de residuos de manejo especial, acordes al Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y el de Remediación de Sitios Contaminados con éstos "

2.2.2 Recolección interna y almacenamiento temporal

Siguiendo con las etapas de recolección interna y almacenamiento temporal. Para tal efecto se debe recurrir nuevamente a la NOM-115-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004), que del apartado 4.3.5 al 4.3.8 menciona que todos los residuos generados, seas cual sea su estado, deben almacenarse de forma temporal en contenedores con tapa, enfatizando que los recortes de perforación base aceite deben manejarse conforme a la normatividad vigente y ser recolectados en góndolas o presas metálicas. Según la norma, nunca se debe dar disposición final en el sitio del proyecto a los residuos y líquidos industriales y material sobrante de las actividades de perforación o mantenimiento de pozos petroleros.

Existe también el caso cuando las perforaciones de pozos se encuentran en zonas marinas. En tal caso la norma aplicable es la NOM-149-SEMARNAT-2006 (DOF, 2007) que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación, mantenimiento y abandono de pozos

petroleros en las zonas marinas mexicanas. De una manera muy sencilla es su apartado 5.2.3 menciona que "los lodos base aceite recuperados de la perforación de pozos petroleros, así como los recortes de perforación impregnados con los mismos no deben verterse al mar", y en el 5.2.8 se menciona que "se debe destinar un área para los contenedores con los residuos generados en las plataformas de perforación marina durante las actividades de perforación y mantenimiento de pozos petroleros. La capacidad de captación instalada debe ser suficiente para los residuos conforme se generen". Estos residuos deben ser transportados por el mar en los mismo contenedores en que fueron colectados y los cuales deberán estar cerrados y diseñados para evitar que se derrame su contenido y soporte caídas y golpes.

Cabe mencionar que a nivel estatal, nivel de gobierno a quien le compete, no existe una norma que regule estos dos aspectos de la gestión de los residuos.

2.2.3 Transporte, tratamiento y disposición final

Las etapas finales de la gestión de residuos son la recolección o transporte externo y la disposición final, aunque también pueden verse involucrados tratamientos realizados a los residuos antes de ser confinados. Con respecto al transporte la Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (GO, 2004) menciona en su artículo 26 que el transporte de residuos sólidos urbanos, de manejo especial o peligrosos, cuando este sea a través del territorio del Estado, se realizará con previa autorización de las autoridades estatales y municipales correspondientes y tomando en cuenta las condiciones necesarias para el transporte, las medidas de seguridad en el transporte y las mejores rutas de transporte, dependiendo de los lugares de salida y destino de los residuos.

En cuanto al tratamiento y disposición final la misma ley en la Sección Dos, del Capítulo Segundo del Título Segundo establece que la "reutilización, reciclado, remanufactura, tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial se llevará a cabo conforme a lo que establezca esta Ley, la

legislación federal de la materia, las Normas Oficiales Mexicanas y las normas técnicas ambientales, así como las disposiciones que establezcan los municipios", así como una serie de requisitos y prohibiciones que se deben cumplir para tal efecto. Es necesario recalcar que no hay un método sugerido para esta etapa de la gestión, ni existen normas técnicas que regule los métodos que pueden ser utilizados y, por supuesto, tampoco se hace mención de algún tratamiento específico para recortes de perforación.

A nivel federal el único método que pretende ser normado es el de inyección de recortes de perforación en formaciones receptoras a través del PROY-NOM-153-SEMARNAT-2006. Dicho proyecto establece el tratamiento al que deben someterse los recortes para posteriormente ser inyectados, lo cual sería su disposición final.

En México se han realizado estudios acerca del tratamiento de los recortes de perforación con métodos fisicoquímicos como Zegarra *et al.* (s.f.) del Instituto Mexicano del Petróleo que trataron los residuos de perforación en columnas de suelo (lisímetros).

También se les han aplicado métodos biológicos como Mérida y Rodríguez (2011) que trataron los recortes con un consorcio bacteriano adicionados con ácidos húmicos como surfactantes, y como Pozzo (2000) que utilizaron una metodología de biodegradación con bioaumentación.

2.3 Manejo de los recortes de perforación en el estado de Veracruz

Como se mencionó antes, los recortes de perforación son catalogados como RME ya que sus características no permiten que sean considerados como RSU y se ha comprobado su no-peligrosidad; debido a esto, son residuos de competencia estatal. Son los gobiernos de los estados los que están obligados a asegurar su manejo integral.

Para el territorio del estado de Veracruz se ha decretado la Ley 62 Estatal de Protección Ambiental (GO, 2011) que en su artículo 6 fracción VII le confiere al ejecutivo estatal la capacidad de emitir los criterios y Normas Técnicas Ambientales en materia de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos, caso de los recortes de perforación.

De la misma manera Veracruz cuenta con la Ley 847 para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial (GO, 2004). En su artículo 21 se obliga a los generadores de RME a obtener un registro ante la autoridad competente así como a realizar un reporte bienal y mantener una bitácora donde se asienten los datos acerca de la generación y modalidades de manejo a las que sujetaron sus residuos.

Actualmente, la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz (SEDEMA) es la dependencia que regula ambientalmente a las industrias ubicadas en el estado a través de su Dirección de Prevención y Control de la Contaminación y Evaluación Ambiental.

Debido a la falta de un instrumento de regulación que establezca las bases para el manejo integral de los recortes de perforación que la Ley establece que el ejecutivo estatal puede crear, actualmente la información con la que se cuenta en esta materia es muy escasa, sólo se cuenta con ciertos datos de la generación, pero falta información en cuanto su tratamiento y disposición final.

En la tabla 5 se presentan datos en cuanto a residuos de manejo especial en el estado de Veracruz, dicha información fue proporcionada por la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA):

Tabla 5. Datos de RME en Veracruz

| Concepto | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 p |
|--|------|------|------|------|------|--------|
| Residuos de manejo especial (RME) | | | | | | |
| Empresas registradas como generadoras | 15 | 9 | 67 | 216 | 119 | 183 |
| Empresas autorizadas para el transporte | 3 | 10 | 53 | 132 | 27 | 35 |
| Empresas autorizadas en una o más de las etapas que comprenden el manejo integral de los RME | 3 | 6 | 7 | 10 | 5 | 19 |
| Informes de manejo integral | - | - | 135 | 98 | 41 | 103 |
| Planes de manejo de Residuos 2 | - | - | - | 2 | 6 | 12 |
| 2/ publicación y entrada en vigor de la NOM-161-SEMARNAT-2011, por lo que se agrega el registro de planes de manejo de residuos. | | | | | | |
| p/ Cifras proyectadas a Noviembre 2014. | | | | | | |
| Fuente: Secretaría de Medio Ambiente. | | | | | | |

Como se puede observar en la tabla, la SEDEMA cuenta con información acerca del número de generadores de RME sin embargo no tiene un dato concreto de cuantos de éstos generan recortes de perforación, por ejemplo empresas que le prestan sus servicios a PEMEX. Es también destacable que este último no presenta reportes ante la autoridad estatal sobre su generación de residuos.

En cuanto a planes de manejo, ninguna parte de los números que se presentan corresponde a recortes de perforación debido a que la norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 (DOF, 2013a) que establece los criterios para

clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo no los contempla dentro de los listados que contiene por lo que los generadores no están obligados a elaborar un plan de manejo para los recortes de perforación.

En sus lineamientos internos PEMEX incluye la elaboración de un plan de manejo para los recortes de perforación el cual debe ser entregado a cada uno de los prestadores de servicios que intervienen en alguna fase del manejo de estos residuos, sin embargo, debido a la falta de organización en la información recibida en la SEDEMA, no se tuvo acceso a los planes de manejo mencionados en la tabla anterior para determinar si uno de ellos pertenece a los recortes de perforación.

Toda esta situación implica que tampoco se tiene un conocimiento certero acerca de si los recortes de perforación reciben algún tratamiento o si su disposición final es adecuada.

3. PEMEX y los recortes de perforación

En México quien desarrolla toda la cadena productiva de la industria del petróleo es la paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX). Para tal efecto, sus operaciones se dividen en cuatro grandes organismos subsidiarios (figura 1):

- ↯ Exploración y producción
- ↯ Refinería
- ↯ Gas y petroquímica básica
- ↯ Petroquímica

De estos cuatro, es en PEMEX Exploración y Producción (PEP) en la que se realizan las actividades de perforación y explotación de pozos donde se generan los recortes de perforación.



Figura 1. Ubicación de las actividades realizadas por PEMEX en el país (PEMEX, 2012)

La figura anterior muestra la presencia tan fuerte que tiene PEMEX en el estado de Veracruz, sobre todo en sus extremos norte y sur donde limita con los estados de Tamaulipas y Tabasco respectivamente.

Dentro de las principales actividades que se llevan a cabo en PEMEX, se encuentran la perforación y el mantenimiento de pozos, durante las cuales se tiene necesidad de adquirir materiales y equipos para cumplir con eficiencia y eficacia los objetivos de la empresa. En estas actividades se generan diferentes tipos de residuos como se muestran en la tabla 6, los cuales deben ser manejados correctamente para prever afectaciones o deterioro al ambiente, así como un riesgo a la salud (PEMEX, 2013).

Tabla 6. Residuos peligrosos y de manejo especial generados por PEMEX

| Residuos peligrosos | | | |
|---|---|---|---|
| Pemex Exploración (PEP) | Pemex Refinación (PR) | Pemex gas y petroquímica básica (PGPB) | Pemex Petroquímica (PPQ) |
| Residuos sólidos impregnados de hidrocarburos | Lodos aceitosos o sedimentos de hidrocarburos | Residuos sólidos impregnados de hidrocarburos | Clorohidrocarburos pesados |
| Lodos aceitosos o sedimentos de hidrocarburos | Álcalis | Catalizadores agotados | Diesel contaminado |
| Productos caducos | Residuos sólidos impregnados de hidrocarburos | Carbón activado agotado | Aceite recuperado de plata de tratamiento |
| Residuos de manejo especial | | | |
| Recortes de perforación | Artículos y envases de plástico | - | - |
| | Envases metálicos | - | - |
| | Lodos de tratamientos de aguas residuales | - | - |

El principal problema que presentan los lodos de recortes de perforación y/o extracción base aceite es el alto contenido de contaminantes orgánicos (hidrocarburos) y la inadecuada disposición de estos, considerando el riesgo asociado de los mismos. PEMEX en el 2003 reportó que hubo un incremento del 25.3% de estos residuos pasando de 380 mil toneladas en el 2002 a 480 toneladas en el 2003 (Mérida, 2011).

En la figura 2 se presentan datos reportados en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) acerca de la generación de residuos peligrosos por parte de PEMEX del año 2006 al 2011 (INECC, 2012).

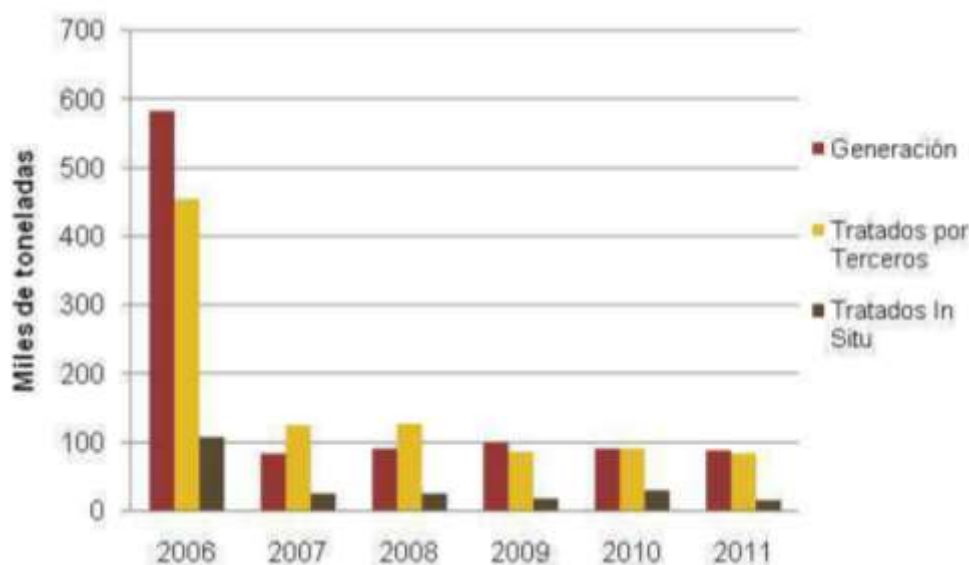


Figura 2. Generación de residuos peligrosos de PEMEX, de 2006 a 2011 (INECC, 2012)

Se puede observar una gran diferencia entre los años 2006 y 2007, esto debido a que hasta el año 2006 los recortes de perforación aún eran considerados peligrosos. A pesar de no tener datos concretos de la cantidad en que los recortes son generados esta gráfica nos muestra un panorama de la cantidad considerable que representan (arriba de las 400 mil toneladas), como se muestra en la figura 3 en la que se muestra la generación de residuos peligrosos generados por PEMEX tomando los recortes de perforación como hasta el año 2006.

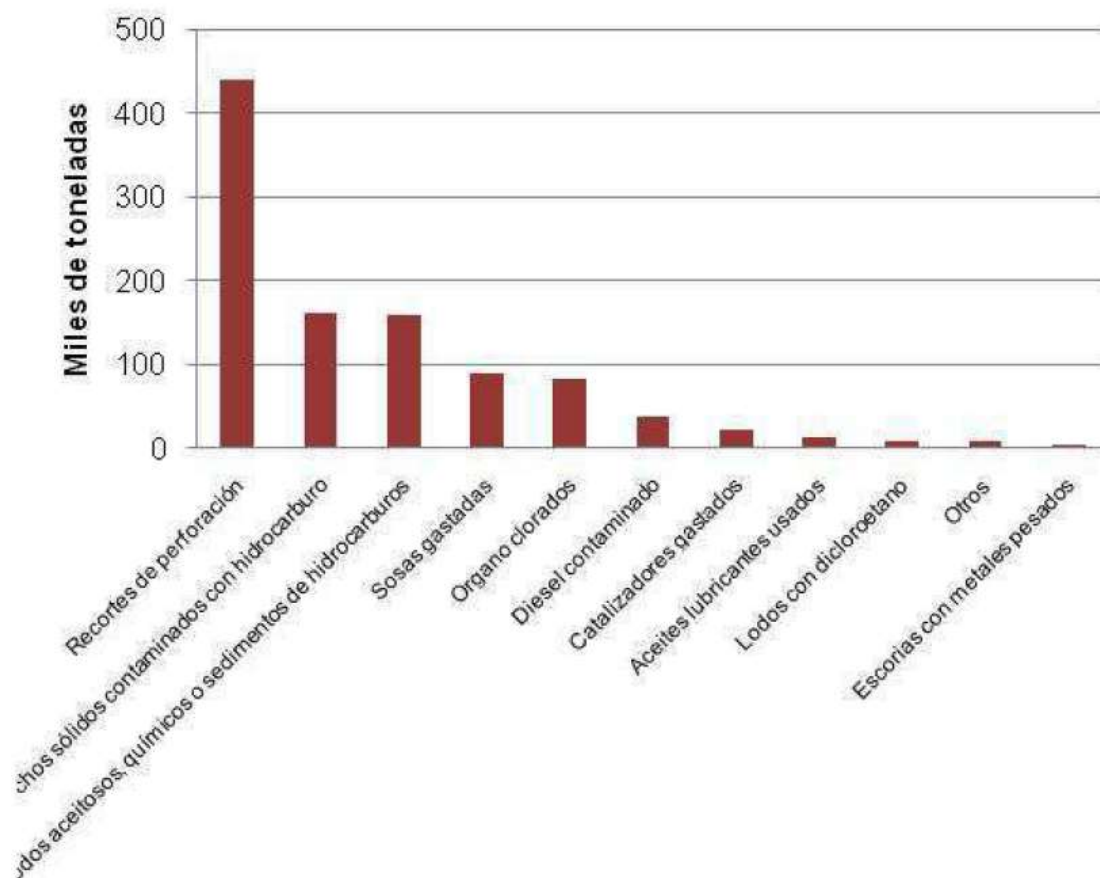


Figura 3. Residuos peligrosos generados por PEMEX al 2006 (INECC, 2012)

En la tabla 7 se muestra una comparación de los datos presentados por PEMEX en cuanto a sus residuos generados elaborada por la SEMARNAT (INECC, 2012):

Tabla 7. Comparación de residuos generados por PEMEX de 2006 al 2012

| Consideraciones | Generación en toneladas (2006-2012) |
|--|-------------------------------------|
| Con recortes de perforación y aceites gastados reportados como peligrosos solo en el año 2006 | 1'029,380 |
| Sin recortes de perforación y considerando los aceites gastados como peligrosos en todo el período | 638,382 |
| Diferencia | 390,998 |

PEMEX cuenta con empresas contratistas que se encargan de una o varias fases del manejo de los recortes de perforación (transporte, tratamiento, disposición final) fuera de sus instalaciones. Dichas empresas deben respetar la política establecida por PEMEX en cuanto a seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental (SSPA); para ésto la dirección corporativa de operaciones creó el “anexo SSPA” (PEMEX, 2011) que establece las obligaciones de seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental de los proveedores o contratistas que realicen actividades en instalaciones de PEMEX y organismos subsidiarios, tanto técnicos como administrativos. Estipula que los contratistas debes demostrar que todo su personal así como el de sus subcontratistas deben conocer y ser actualizados en el contenido del anexo SSPA así como ser capacitados en temas como riesgo y seguridad, primeros auxilios, uso de extintores, sobrevivencia en el mar, la LGEEPA, la LGPGIR, etc. Establece requerimientos de seguridad física, seguridad industrial, salud en el trabajo y de protección ambiental. Este último apartado incluye las autorizaciones y permisos en materia ambiental con que se debe contar, estudios de impacto y riesgo ambiental, requerimientos en cuanto a descarga de agua residual, cuidado de la atmósfera y suelo, ruido, planes de contingencia, auditorías ambientales, seguro contra daños ambientales y residuos. Para los residuos de manejo especial, categoría a la que pertenecen los recortes de perforación, establece que deben almacenarse en recipientes adecuados a su clasificación, contar con una bitácora mensual para registrar la generación y manejo, que su transporte debe respetar la normatividad vigente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Secretaría de Marina (SEMAR) o la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) así como las normas de referencia (NRF) establecidas por PEMEX.

Existe la NRF-040-PEMEX-2005 que establece el manejo de residuos en plataformas marinas de perforación y mantenimiento de pozos. Como el nombre lo indica, sólo se refiere a los pozos explotados fuera de costa, dejando de fuera los pozos excavados en tierra (PEMEX, 2013).

En cuanto a los recortes de perforación específicamente, PEMEX ha publicado también la norma de referencia NRF-261-PEMEX-2010. En ella se describen los requisitos técnicos y documentales mínimos que deben cumplir los prestadores del servicio o contratistas que lleven a cabo el manejo integral de recortes de perforación impregnados con fluidos de control base aceite, generados durante el proceso de perforación y mantenimiento de pozos petroleros terrestres y marinos de PEMEX Exploración y Producción (PEP), en apego a las regulaciones y buenas prácticas nacionales e internacionales, con el fin de maximizar el aprovechamiento integral de los fluidos, optimizar la separación de sólidos y con ello brindar un manejo seguro de los recortes (PEMEX, 2010). Establece que los contratistas deben solicitar a PEP un plan de manejo que cumpla con las especificaciones de la LGPGIR, que los trabajadores de las empresas contratistas deben estar capacitados, que los vehículos utilizados para el transporte de los mismos deben estar adaptados para la actividad y los recipientes en los que deben ser transportados, que deben llenarse bitácoras que contengan la información acerca de la recepción y descarga de los recortes de perforación durante todo su manejo y que el contratista debe contar con todos los permisos emitidos por la autoridad competente para la realización de estas actividades, entre otras cosas.

Como se observa, esta norma de referencia contempla todos los aspectos del manejo de los recortes y de ser llevada a cabo fielmente, es una herramienta que permite que dicho manejo sea adecuado e integral. Sin embargo esta norma no contempla el flujo de información hacia las autoridades ambientales y al no ser emitida por éstas, los contratistas pueden o no cumplir con todas las especificaciones establecidas, siendo PEMEX el único organismo encargado de verificar el cumplimiento de esta norma.

3.1 Recortes de perforación en PEP

De acuerdo a la regionalización de sus actividades elaborada por Pemex Exploración - Producción, estas se dividen en tres:

 Región Marina Noreste

- ↗ Región Marina Suroeste
- ↗ Región Sur
- ↗ Región Norte.

La Región Marina (noreste y suroeste) se ubica en la denominada Sonda de Campeche, los campos de la Región Sur, se encuentran distribuidos en los estados de Tabasco y Chiapas, y la Región Norte, aunque con menor aportación comprende diversos estados de la república Mexicana desde la parte central hasta la frontera con los Estados Unidos de Norteamérica, pero sus principales campos productores se localizan en los estados de Tamaulipas y Veracruz (PEMEX, 2014).

En cuanto a los RME, esta es la subsidiaria de PEMEX que más los genera como muestra la figura 4.

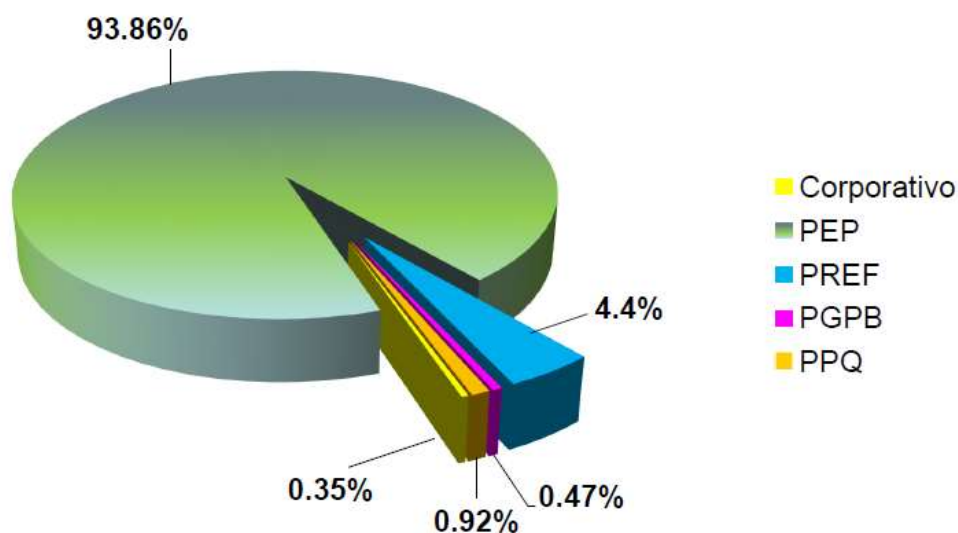


Figura 4. Generación de RME en subsidiarias de PEMEX (Escamilla, 2012)

En la tabla 8 se muestra una generación promedio de recortes por etapa de la perforación.

Tabla 8. Generación de recortes por etapa de la perforación

| Etapa | Volumen (m³) |
|--------------|--|
| 1 | 300-350 |
| 2 | 250 – 300 |
| 3 | 200 - 250 (impregnados con emulsión inversa) |
| 4 | 100-200 |

En 2011 la producción total de petróleo crudo fue de 2550 miles de barriles diarios (mbd) (PEMEX, 2012).

4. Planteamiento del Problema

En el estado de Veracruz no se cuenta con la información completa y confiable del número de generadores ni la cantidad generada de recortes de perforación.

La industria petrolera tiene una presencia muy fuerte en el estado y, a pesar de tener protocolos establecidos para la realización de sus procesos, no se puede asegurar con certeza que todas las compañías que prestan el servicio le dan un manejo adecuado a los recortes generados debido a que no existe ninguna norma que permita su regulación por parte de la autoridad gubernamental competente.

Al no existir tal normatividad, las autoridades estatales ambientales no tienen un control sobre estos residuos y se incumple con las facultades que asigna la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) a las entidades federativas.

Los recortes de perforación pueden estar constituidos por sustancias que pueden dañar de forma severa el medio ambiente y que de la misma forma pueden implicar daños a la salud de la población que interactúe con agua y/o suelo contaminados.

Todo esto puede resultar en pérdidas económicas tanto para el estado, como para PEMEX y sus contratistas.

Por todo esto es necesario establecer criterios para normar los recortes de perforación con los que se pueda asegurar un manejo adecuado e integral de los mismos.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Proponer los criterios básicos para normar los recortes de perforación generados por la industria petrolera en el estado de Veracruz.

5.2 Objetivos Particulares

- Obtener información acerca del actual manejo de los recortes de perforación.
- Realizar una revisión de las bases técnicas y la legislación vigente que sustentan el manejo de los recortes de perforación.
- Analizar los puntos que deben ser normados en el manejo de los recortes de perforación y el sustento de los mismos.

6. Justificación

Al establecer los criterios técnicos y legales que deben regir el manejo de los recortes de perforación se permitirá que el estado de Veracruz a través de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) instaure lineamientos sobre los cuales deben ser manejados los recortes de perforación para la generación de una norma y con esto cumplir con lo establecido en la LGPGIR en cuanto a las facultades asignadas a las entidades federativas.

Con estos criterios se podría generar información real y actual del manejo que reciben los recortes de perforación, desde su generación hasta su disposición final, teniendo así un control sobre los mismos que permita su regulación.

Con un control sobre estos residuos se puede evitar que se ocasionen daños severos en el medio ambiente y en la salud de la población cercana a los puntos de generación, tratamiento o disposición final de los recortes.

Establecer criterios sobre los cuales se base el manejo de los recortes pueden eliminarse no solamente retos en materia de logística y de seguridad, sino también lograr ahorros económicos, optimizando procesos y retribuyendo beneficios ambientales.

7. Recortes de perforación. Generación y efectos

7.1 Definición y composición de los recortes de perforación

La NOM-115-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004) los define en su apartado 3.16 como "Fragmentos de roca que se obtienen en el proceso de perforación; constituidos por minerales de las formaciones perforadas, entre otros, arcillas, cuarzo, feldespatos, carbonatos y otros compuestos calcáreos y de sílice que están impregnados con fluidos de perforación."

A su vez, define también a los fluidos de perforación en el apartado 3.6 como "Mezcla de productos químicos con propiedades físico-químicas controlables que, entre otras funciones, tiene la de acarrear los recortes de perforación, lubricar la barrena de perforación, limpiar y acondicionar el agujero del pozo y contrarrestar la presión del yacimiento."

Los recortes de perforación son residuos no peligrosos, consistentes en fragmentos de tierra y rocas, removidas del subsuelo durante la perforación. Estos recortes, por contacto durante su extracción, se impregnan con los lodos (fluidos) de perforación (base agua y aceite) utilizados en las actividades de perforación de pozos petroleros (Escamilla, 2012).

Los fluidos de perforación son aditivos utilizados entre otras cosas para controlar la presión hidrostática en el pozo, lubricar la barrena, eliminar la pedacería fina de la corteza del pozo o estabilizar la pared del mismo durante la perforación o mantenimiento. Sus principales componentes (figura 5) fundamentalmente son barita, arcillas, lignosulfonatos y lignitos, además de otros aditivos utilizados como la sosa, la caliza y algunos aditivos especializados (INE, 1995).

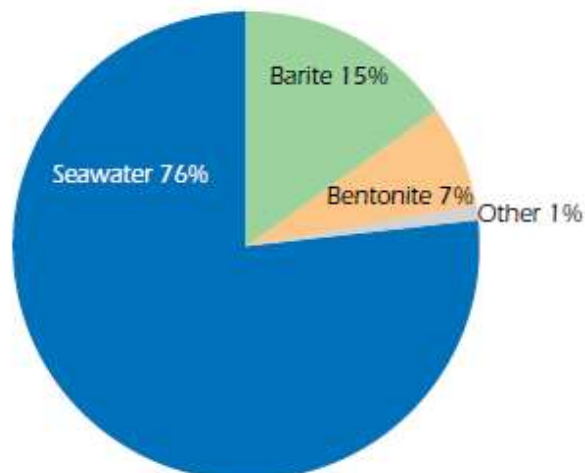


Figura 5. Composición de los recortes base agua (OGP, 2003)

A continuación se presenta una descripción de estos componentes, su función, así como los aditivos empleados.

Barita.

Es un mineral formado de sulfato de bario. Es un aditivo usado para incrementar la densidad del fluido de perforación (OGP, 2003). Es un mineral pesado, seco e inerte químicamente. Contiene 58.8 % de bario y 41.2 % de sulfato en peso. Comercialmente tiene un pureza del 92 % y contiene impurezas tales como sílica, óxido ferroso, caliza, dolomita y presencia de algunos metales pesados (cadmio, mercurio, plomo, zinc, etc.). Es insoluble en agua de mar y tiende a formar precipitados finos. Se usa como agente espesante para incrementar la densidad del fluido al nivel estimado para asegurar el control de presión del agujero. La cantidad dependerá de la densidad deseada del fluido (INE, 1995).

Arcillas.

La más utilizada es la bentonita, tiene una estructura cristalina que tiende a formar un gel en contacto con el agua, propiedad que le confiere dos beneficios en su desempeño: suspende los materiales sólidos y ayuda en la remoción de los

recortes de perforación. Sus propiedades adhesivas le dan a la bentonita la capacidad de formar en la pared del pozo una pasta filtrante impermeable al paso de fase líquida hacia la formación. Cuando ésta es extremadamente porosa, algunos de los aditivos que se adicionan para mejorar sus propiedades adhesivas son: Almidón (de maíz o papa), polímero polianiónico base celulosa, polímero de poliacrilonitrilo de sodio, copolímero de acrilamida y ácido acrílico, goma xantana y poliacrilatos de sodio (INE, 1995).

Lignosulfonatos.

Los lignosulfonatos son producidos en la industria de la pulpa y el papel, son considerados los mejores agentes dispersantes para fluidos de perforación base agua. Dichos agentes dispersantes son compuestos utilizados generalmente para mantener los lodos en estado fluido, ya que puede suceder que la arcilla presente espese demasiado al fluido (INE, 1995).

El agente dispersante más comúnmente utilizado es el lignosulfonato de ferrocromo, que contiene 2.6 % de hierro, 5.5 % de azufre y 3 % de cromo, dejando en la fase acuosa aproximadamente 1 ppm de cromo en su forma trivalente (OGP, 2003).

Lignitos.

Son aplicados con el mismo fin que los lignosulfonatos es decir, como agentes dispersantes. Son substancialmente menos solubles que los anteriores en agua de mar. Su uso más frecuente es en el adelgazamiento de los lodos preparados con agua dulce, reduciendo la pérdida de fluidos en la perforación y controlando la congelación de los fluidos de perforación a altas temperaturas. Este material es algunas veces acondicionado con sales de cromo, sodio o hidróxido de sodio.

Otros aditivos.

Algunos otros compuestos se usan para mejorar características específicas del fluido o bien para prevenir problemas durante la perforación y la protección del equipo, como pueden ser los casos y aditivos siguientes.

Lubricación: Los agentes lubricantes más comúnmente usados son el aceite mineral y aceite diesel u otros aceites lubricantes sintéticos, aunque también puede proporcionarse una adecuada lubricación mediante el uso de uno o más de los químicos siguientes: Estereato de aluminio, oleato de calcio, jabones de ácidos grasos, glicerol dioleato, glicerol monooleato, grafito, lanolina, alquilsulfato de sodio, sorbital éster sulfonato, aceite vegetal sulfonado y trietanolamina (INE, 1995).

Pérdida de circulación: Esta situación se refiere a la pérdida en su totalidad del fluido de perforación hacia la formación cuando esta es extremadamente porosa o cavernosa. Los materiales usados son, entre otros; cascara de nuez molida, mica, celofán reducido, tierra diatomacea, bagazo de caña, fibras vegetales, papel molido o picado y cortezas de semillas de algodón (INE, 1995).

Control de corrosión y depósitos: La corrosión de la tubería es un serio problema en el sector de perforación. La corrosión y desarrollo de depósitos son minimizados mediante la adición de inhibidores de corrosión al sistema de fluidos. Los tres principales aceleradores de la corrosión en estos casos son: Oxígeno, bióxido de carbono y ácido sulfhídrico; para su inhibición los aditivos empleados se componen de uno o más de los siguientes químicos: Sulfito de sodio, bisulfito de amonio, aminas, morfolina de alto peso molecular, zinc quelatado, sulfato de calcio, hidróxido de sodio, carbonato de zinc, óxido de zinc y fosfatos (INE, 1995).

Estos lodos pueden ser de tipo base agua que están compuestos de una mezcla de sólidos, líquidos y productos químicos, sólidos activos (arcillas hidratables), sólidos inactivos y emulsión aceite en agua (directa); y tipo base aceite de composición similar al base agua con fase continua de aceite: emulsión agua en aceite (inversa) y con prácticamente todos los sólidos inactivos (NOIA, 2001).

La remoción de los recortes está en función de muchas características, entre ellas viscosidad del fluido, la forma y tipo de flujo, la densidad y tamaño de los recortes, cantidad y densidad del fluido Para que los recortes de perforación lleguen a la superficie la velocidad de asentamiento deberá ser menor a la de flujo (Escamilla, 2012).

7.2 Proceso de generación

La Asociación Internacional de Productores de Petróleo y Gas, OGP (2003) menciona que el proceso de perforación usa una broca giratoria que se encuentra unida al extremo de un tubo de perforación, lo que se conoce como cadena de perforación. Los fluidos son bombeados hacia la cadena a través de la broca y al espacio anular entre la cadena y el agujero. Cuando la broca gira, rompe pequeñas partes de roca (recortes de perforación) haciendo más profundo el agujero. El fluido de perforación remueve los recortes del agujero enfría la broca y mantiene el control de la presión del pozo mientras es perforado. Cuando el agujero se hace más profundo se agregan secciones de tubería a la cadena de perforación como sean necesarias. Periódicamente la cadena de perforación es removida y la sección desprotegida del pozo es estabilizada permanentemente instalando otro tipo de tubería llamada “casing”. Se bombea cemento en el espacio anular entre el “casing” y las paredes del pozo para asegurar la tubería y sellar la parte superior del pozo. El “casing” mantiene la estabilidad del pozo y la presión integral. Cada nueva porción del “casing” es más pequeña en diámetro que la porción previa a través de la que se instala. El proceso de perforación y adición de secciones de “casing” continúa hasta que la profundidad final del pozo se alcanza (figura 6).

Durante la perforación se toman registros eléctricos que ayudan a conocer los tipos de formación y las características físicas de las rocas, tales como densidad, porosidad, contenidos de agua, de petróleo y de gas natural. Igualmente, se extraen pequeños bloques de roca denominados “núcleos”, a los que se les practica análisis en laboratorio, para obtener un mayor conocimiento de las capas que se están atravesando (Zambrano *et al.*, 2003).

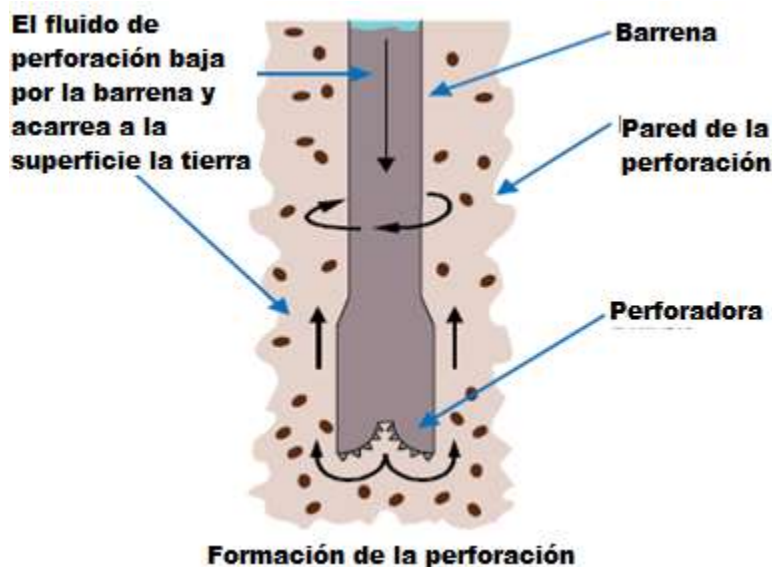


Figura 6. Proceso de perforado (OGP, 2003)

Con toda la información adquirida durante la perforación del pozo, es posible determinar con bastante certeza, aspectos que contribuirán al éxito de una operación de terminación, tales como:

- Profundidad, espesor y propiedades petrofísicas de la zona de interés;
- Detección de posibles agentes perturbadores de la producción del pozo como, el aporte de arena;
- Identificación de capas con potencial para generar problemas (presencia de acuíferos, capas con gases corrosivos, entre otros)

Al finalizar la perforación, el pozo queda revestido (entubado), desde la superficie hasta el fondo (figura 7), lo que garantiza su consistencia y facilitará posteriormente, la extracción del petróleo en la etapa de producción. Basado en la misma técnica de perforación, se encuentra la perforación multilateral, que a partir de una misma boca de pozo, se accede con dos o más ramas, a uno o varios horizontes productivos (Buitrago, 1999).



Figura 7. Revestimiento del pozo a diferentes profundidades (OGP, 2003)

Una vez finalizadas las tareas de perforación y desmontado el equipo, se procede a la terminación y reequipamiento del pozo, que consiste en una serie de tareas que se llevan a cabo, mediante el empleo de una unidad especial, que permite el ensayo y posterior puesta en producción del mismo.

Dicha unidad consiste en un equipo de componentes similares al de perforación, pero normalmente de menor potencia y capacidad, ya que trabaja, en principio, dentro del pozo ya entubado, y por consiguiente, con menores diámetros y volúmenes, que los utilizados durante la perforación, y por consiguiente, menor riesgo. El agregado de un mecanismo de pistones le permite realizar maniobras que consisten en la extracción artificial del fluido que contiene o produce el pozo por medio de un pistón con copas que sube y baja por el interior de la tubería de producción, conectado al extremo de un cable que se desenrolla y enrolla en longitudes previstas, según la profundidad, sobre un carrete movido mecánicamente. Mediante esta operación, se pueden determinar el caudal y el tipo de fluido que la capa pueda llegar a producir (Buitrago, 1999).

Puede observarse, que la operación de terminación implica una sucesión de tareas más o menos complejas, según sean las características del yacimiento (profundidad, presión, temperatura, complejidad geológica, etc.), y requerimientos propios de la ingeniería de producción. De la calidad de los procedimientos para satisfacer estos requerimientos, dependerá el comportamiento futuro del pozo para producir el máximo potencial establecido por la ingeniería de yacimientos.

El volumen de recortes generados depende de la profundidad y diámetro de perforación. Los sólidos continuamente se remueven a través del equipo de control de sólidos. El mayor volumen se generan en las etapas iniciales donde el diámetro del agujero es mayor, la descarga puede ser continua e intermitente ocurriendo por períodos de menos de 1 y hasta 24 horas por día, dependiendo del tipo de operación y características del pozo. Así el total de sólidos puede ser por lo menos igual al volumen del agujero y algunas veces mayor, sin embargo el sólido separado suele ser menor ya que una importante cantidad de ellos queda disperso en el fluido (INE, 1995).

Respecto a sus características, el recorte por sí solo es un sólido inerte, sin embargo, los sólidos de la perforación pueden contener restos de fluido adherido a ellos. La composición o presencia de contaminantes va a depender del fluido usado. Así los recortes asociados al uso de fluidos base aceite, podrán presentar contenido de hidrocarburos, manteniendo una alta eficiencia del equipo de control de sólidos. Trabajos desarrollados reportan que es posible alcanzar una concentración de sólidos de hasta 96%, siendo el restante 4% fluido de perforación adherido (INE, 1995).

7.3 Impactos ambientales de los recortes de perforación

El INE (1995) reporta que los principales residuos generados en la actividad de perforación para la extracción de petróleo y gas son los lodos y recortes tanto base agua como base aceite; los primeros no representan un daño considerable en el medio ambiente debido a que su principal componente es agua, por otra

parte los lodos y recortes base aceite sí pueden causar problemas ambientales. A partir del análisis de los constituyentes y aditivos de los lodos y de revisión bibliografía se muestran los parámetros de contaminación que presentan estos residuos (tabla 9).

Tabla 9. Parámetros contaminantes de los residuos de perforación (INE, 1995)

| Residuo | Parámetro contaminante |
|-------------------------|---------------------------------|
| Lodos de perforación | Aceite en forma libre |
| | Diesel en forma libre |
| | Metales pesados |
| | Contaminantes orgánicos tóxicos |
| | Toxicidad |
| Recortes de perforación | Aceite en forma libre |
| | Diesel en forma libre |
| | Metales pesados |
| | Contaminantes orgánicos tóxicos |
| | Toxicidad |

A continuación se describen los impactos que pueden generar los parámetros descritos en la tabla anterior.

7.3.1 Aceite en forma libre

La mayoría de reglamentaciones revisadas prohíben la descarga de fluidos y recortes de perforación conteniendo aceite libre. Este mismo contaminante se usa como indicador de control de contaminantes tóxicos ya que entre sus constituyentes se han identificado compuestos orgánicos y metales pesados, entre los que se incluyen: naftaleno, fenantreno, fenol, cinc, plomo, cromo y cobre (INE, 1995).

En vista del alto rango del punto de ebullición y de la baja volatilidad del aceite, la contaminación del ambiente a causa de estos materiales puede ocurrir a través de (Mérida y Rodríguez, 2011):

- ↻ El escurrimiento intencional o accidental a aguas de primer uso o aguas residuales;
- ↻ La filtración al subsuelo y la contaminación de los mantos subterráneos de agua.

Lo anterior puede suceder en el caso de descuido en el manejo, derrames de presas, accidentes durante el transporte o disposición inadecuada de lodos y recortes de perforación conteniendo aceite libre.

Su presencia en el agua disminuye la transferencia de oxígeno entre la fase agua y aire, lo cual provoca desoxigenación, causando efectos de calentamiento con el agua cuando las películas de grasas son de espesor considerable y están expuestas a los efectos solares. Lo anterior provoca la muerte de organismos acuáticos existentes (Mérida y Rodríguez, 2011).

En los organismos acuáticos se tienen efectos mortales cuando estos materiales interfieren con los procesos celulares y subcelulares. Estos materiales pueden provocar dificultad en la oxigenación y consecuentemente lentitud en sus movimientos, lo cual dificulta que obtengan sus alimentos y ser presa fácil de sus depredadores, rompiéndose el equilibrio ecológico de los sistemas donde se encuentran este tipo de contaminantes. Se tiene efectos subletales en los organismos al provocar cambios en el comportamiento de los mismos causándoles posteriormente la muerte. Lo anterior provoca cambios en los ecosistemas en lo referente a cantidad, diversidad y composición de las especies (INE, 1995).

El primer efecto, debido a su presencia en el agua de consumo, es el rechazo al perder atractivo para el consumo humano, además de los riesgos que representan sus constituyentes tóxicos asociados.

En la agricultura se dificulta el proceso de aireación de los terrenos de cultivo y las condiciones de vida de la fauna que favorece la producción agrícola. En lo que se refiere a la apicultura, esta es dañada al ser rechazada la miel para consumo humano por estética, por el sabor desagradable adquirido y obviamente por los efectos nocivos a la salud humana (INE, 1995).

7.3.2 Aceite diesel

Este material durante su uso puede producir hidrocarburos aromáticos polinucleares como los que se muestran en la figura 8, (benzo(a)pireno, metilnafteno, metilfenantreno, y otras formas alquiladas) los cuales parecen ser los constituyentes más tóxicos de productos del petróleo (Mérida y Rodríguez, 2011).

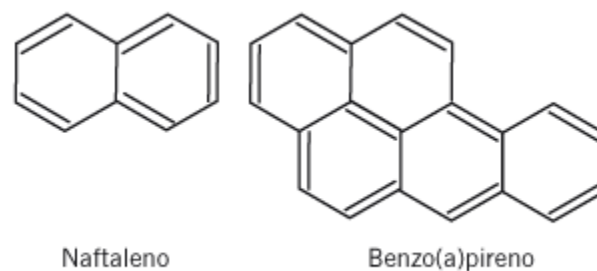


Figura 8. Estructuras de hidrocarburos policíclicos

Hidrocarburos aromáticos policíclicos: Están presentes en la base primaria del petróleo y pueden ser generados e introducidos al ambiente durante el uso del aceite diesel. Varios de estos compuestos tienen estructuras primarias de cuatro a seis anillos, son conocidos por su carácter carcinógeno y mutágeno. El más común es el benzo(a)pireno. Se ha evaluado que un alto índice de mortandad por cáncer en pulmón en aglomeraciones urbanas de ciudades e industrial está asociado a altas concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (INE, 1995).

Benceno: Es un compuesto aromático volátil, componente del aceite mineral, gasolina y otros productos. Es bastante dañino para la salud, dependiendo de la concentración provoca modificaciones del cuadro hemático, daño a cromosomas hasta leucemia (INE, 1995).

7.3.3 Metales pesados

Estos elementos son en muchos casos componentes importantes de los fluidos y recortes de perforación, contenidos en los materiales y aditivos usados o bien son incorporados a los residuos durante las mismas actividades de perforación (Mérida y Rodríguez, 2011).

Efectos agudos: Se presentan rápidamente después de la exposición en forma leve o corta o del contacto con un compuesto metálico a ciertas dosis. Sus efectos son usualmente de ataque rápido y son de duración corta (INE, 1995).

El cobre soluble causa síntomas de gastroenteritis con náuseas. Los efectos del cromo incluyen tumores en los pulmones, sensibilidad en la piel e inflamación de los riñones. El selenio en concentraciones altas es un veneno cancerígeno y causa de caries dental (INE, 1995).

Efectos crónicos: Se desarrollan después de un período de tiempo de ingestión o contacto. Algunos metales tales como el cadmio y el plomo se acumulan en los tejidos del cuerpo y no son desechados; eventualmente el resultado es un envenenamiento crónico. Tales son los casos sucedidos en Japón, donde por descargas de mercurio en la Bahía de Minamata, 83 adultos y 40 recién nacidos de la población que ingirió pescado contaminado desarrolló una intoxicación crónica que afectó principalmente su sistema nervioso central (INE, 1995). En la figura 9 se muestra el ciclo del mercurio por medio del cual se distribuye en un cuerpo de agua.

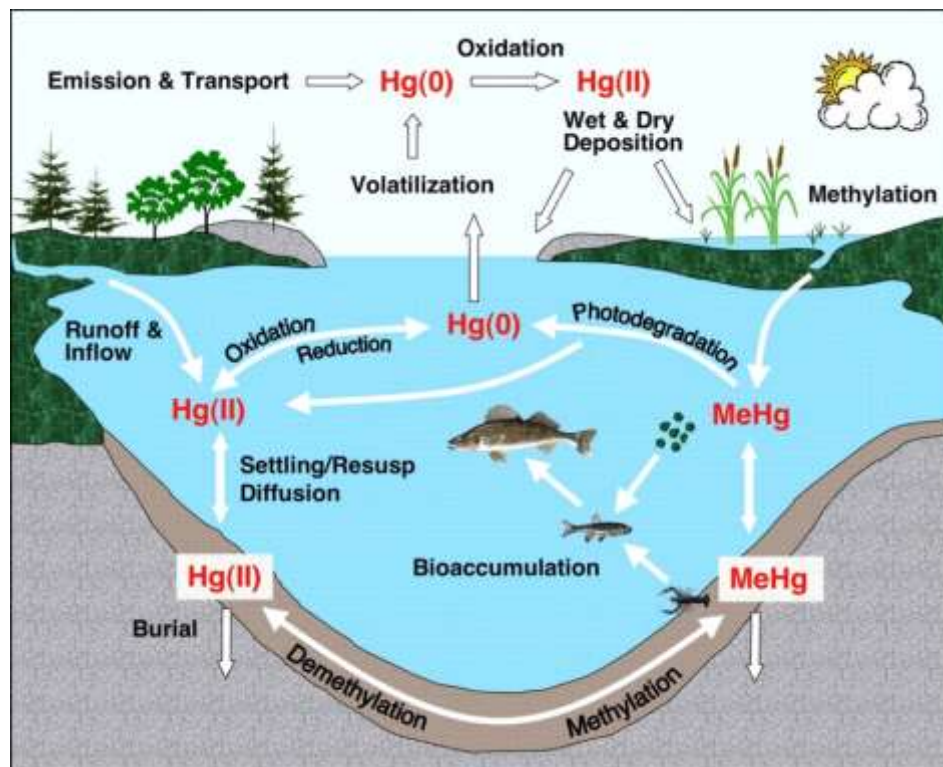


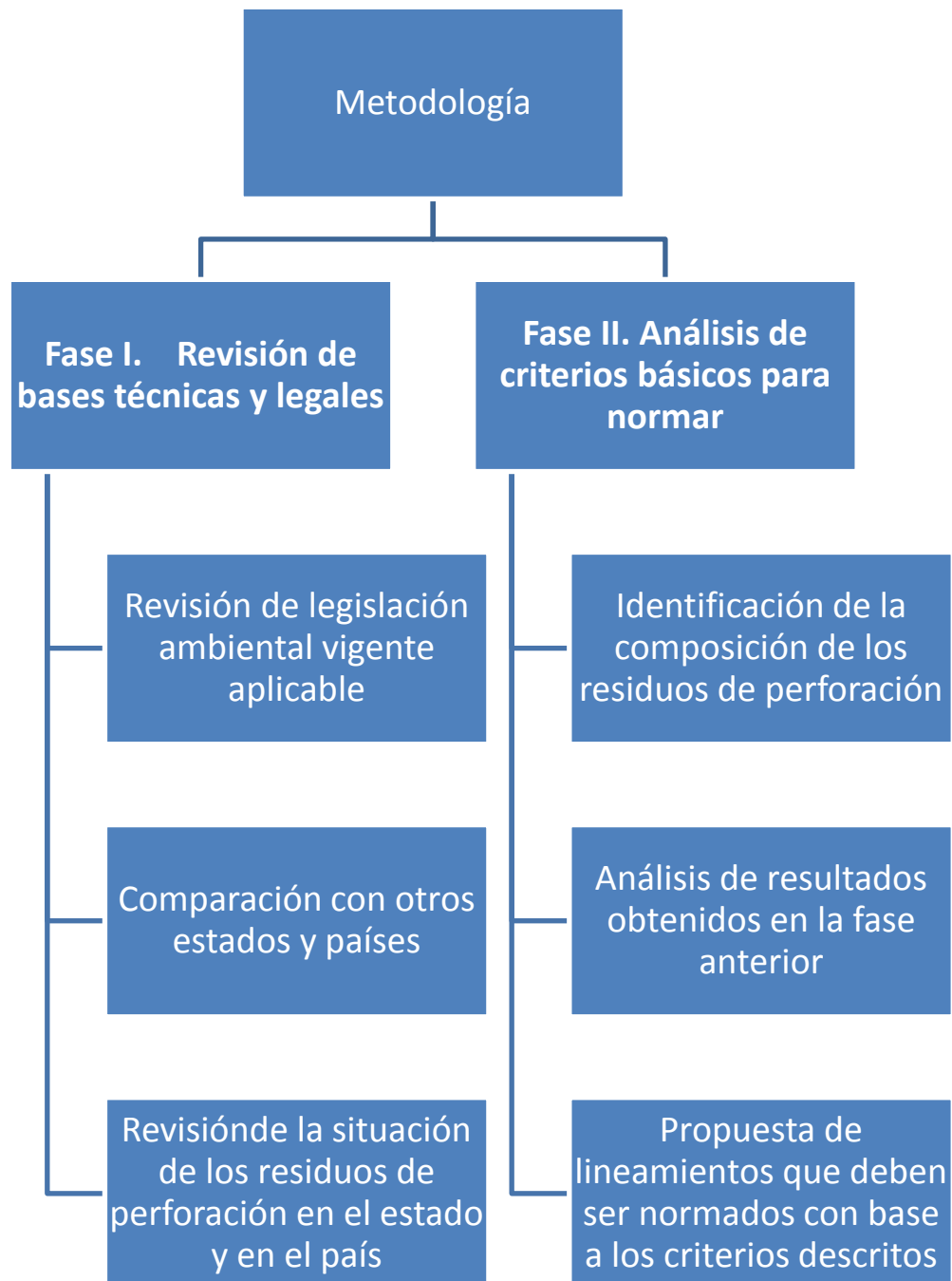
Figura 9. Ciclo del mercurio. (Mendioroz, s.f.)

Efectos sinérgicos: Se refieren a los efectos asociados; por ejemplo, ciertos metales son más tóxicos en combinación con otros o bajo condiciones ambientales específicas (INE, 1995).

El cadmio incrementa su toxicidad en presencia de cobre o zinc. El cobre y zinc pueden ser más o menos tóxicos de acuerdo a las condiciones de calidad del agua, como: pH, temperatura, dureza y contenido de CO_2 . Para la vida acuática el plomo es más tóxico si la concentración de oxígeno disuelto es baja (INE, 1995).

8. Metodología

La metodología se describe en el siguiente diagrama.



En la **primera fase** se describió la situación actual del manejo de los recortes de perforación. Para ello se revisó la situación del manejo y regulación de estos residuos en los principales países petroleros del mundo, enfocándose a la minimización, el uso de otras sustancias y el tratamiento de los recortes.

Se analizó también el manejo de los recortes de perforación en México, clasificándolos según la legislación ambiental correspondiente, como la LGPGIR y su reglamento y la NOM-052-SEMARNAT-2005 y puntualizando las especificaciones que en el país se establecen para estos residuos en específico.

Después, se analizó el manejo que en el estado de Veracruz se le da a los recortes de perforación y se buscó si existen especificaciones que las autoridades ambientales hayan establecido para el manejo de los mismos comparándolas con las encontradas nacional e internacionalmente.

Durante la **segunda fase** se tomaron los resultados obtenidos de la primera fase para determinar los criterios técnicos y legales que actualmente no son tomados en cuenta en la normatividad para el manejo de los recortes de perforación en el estado de Veracruz y que debido a las circunstancias en el mismo podrían optimizarlo con el objetivo de cuidar el ambiente y la salud humana.

Una vez hecho el anterior análisis, se procedió a realizar una propuesta de gestión de los recortes de perforación generados en el territorio del estado de Veracruz, partiendo del diagnóstico de generación y actual manejo obtenidos en las etapas anteriores, tomando como fuente de información principal los datos que serán brindados por la Secretaría Estatal de Medio Ambiente (SEDEMA).

Se siguieron todas las fases que se han establecido para la constitución de un plan de manejo desde la generación de los recortes de perforación hasta el tratamiento y disposición final, haciendo énfasis en la minimización de los mismos.

Dicho plan se adaptó a la legislación ambiental vigente y a la situación actual del estado de Veracruz.

El documento final fue entregado a la SEDEMA para su evaluación y, de ser posible, para ser tomado como antecedente en la creación de una norma técnica estatal que establezca las especificaciones de manejo de los recortes de perforación en el estado de Veracruz.

9. Criterios que deben ser atendidos para normar el manejo de los recortes de perforación

Para poder tener datos certeros y reales acerca de los recortes de perforación es necesario establecer criterios por los que debe regirse el manejo integral de los mismos. A continuación se presenta una propuesta de criterios que deben ser normados para lograr tal efecto.

9.1 Generación

Como ya se describió en capítulos anteriores, los recortes de perforación se componen de fragmentos de tierra y rocas (arcillas, cuarzo, feldespatos, carbonatos y otros compuestos calcáreos y de sílice) extraídos del subsuelo impregnados con fluidos de perforación que son lodos a diferentes bases que cumplen diversas funciones durante el proceso entre las cuales está acarrear los recortes a la superficie.

Por la misma naturaleza del proceso es imposible generar una cantidad menor de recortes, sin embargo, lo que sí puede ser regulado es el tipo de fluido que se vierte durante la perforación y que son los compuestos que forman estos fluidos los que causan un impacto negativo al medio ambiente.

Dentro de la industria existen los fluidos base agua (WBF por sus siglas en inglés), formados principalmente de agua dulce o salada y los fluidos base aceite (OBF por sus siglas en inglés) los cuales aportan muchas ventajas sobre los WBF como mayor estabilidad, menos corrosión y que pueden ser trabajados a un amplio rango de temperaturas (Growcock y Patel, 2011), por lo cual los OBF son los más utilizados.

A pesar de sus múltiples beneficios, en países petroleros importantes como Noruega ha sido prohibido el uso de OBF desde los años 90's debido a su fuerte impacto al ambiente (NOIA, 2001)

En esta misma época surge el uso de otro tipo de fluidos conocidos como sintéticos (SBF por sus siglas en inglés) los cuales están compuestos de materiales distintos a aceites o hidrocarburos.

Desde sus inicios, los SBF han evolucionado hasta ser fluidos de “diseño” que consisten en un hidrocarburo sintético completamente caracterizado como base o fase continua, polímeros o arcilla organofílica para el control de la viscosidad, una fase interna polar con una actividad semejante al agua y surfactantes para emulsificar la fase polar (Growcock y Patel, 2011).

El mayor beneficio que aportan los SBF es la biodegradabilidad que presentan los recortes que quedan impregnados con ellos (Growcock y Patel, 2011), lo cual facilita todas las siguientes etapas de su manejo.

Es por este motivo que se sugiere que en cuanto a la generación de recortes de perforación se establezca una transición gradual al uso de fluidos de base sintética en lugar de los fluidos de base aceite, que sean diseñados con respecto a las características del sitio donde se realiza la perforación.

9.2 Almacenamiento

Actualmente los recortes de perforación con base agua, una vez que son extraídos del sistema recolector de sólidos se acumulan en pilas en espera de su posterior disposición.

Para los OBF, también llamados de emulsión inversa, la NOM-115-SEMARNAT-2003 establece que deben ser almacenados en presas metálicas (figura 10) para su posterior tratamiento, reúso, reciclaje o disposición final.



Figura 10. Presas para almacenaje de recortes de perforación

Es de suma importancia el uso de estos dispositivos de almacenamiento ya que evitan escurrimientos de sustancias potencialmente dañinas al suelo y que estas puedan filtrarse a cuerpos de agua subterráneos.

Deben cerrar herméticamente para su posterior transporte y no deben ser llenados a más del 90% de su capacidad total. Debe evitarse el almacenamiento temporal en las instalaciones de perforación por lo tanto las presas ya ocupadas deben ser recogidas cada semana por la empresa encargada de esta fase.

Se recomienda que para facilidad de inventario de generación de este tipo de recortes la SEDEMA establezcan las medidas con las que las presas contenedoras sean fabricadas.

Se propone también que la autoridad competente en la materia (en este caso la SEDEMA) genere un control de la cantidad de presas existentes en cada sitio de perforación que incluya un número de identificación y una ficha que contenga la cantidad de veces que fue utilizada, la cantidad de recortes que contuvieron así

como el mantenimiento que ha recibido, todo esto con el fin de evitar accidentes al 100%.

El generador se verá obligado a entregar un reporte mensual con la información de las fichas de cada presa.

9.3 Transporte

Para el transporte de estos residuos, la NOM-115-SEMARNAT-2003 establece también que debe realizarse en las presas metálicas que fueron descritas en el numeral anterior. Por tal motivo las presas, además de las características que ya se sugirieron, también debiesen ser fácilmente transportables o móviles (figura 11) y en su ficha debe incluirse la cadena de custodia que recorre hasta el destino donde será tratado o en donde tendrá su disposición final.



Figura 11. Transporte de contenedores con residuos peligrosos o no peligrosos

Cabe destacar que la empresa encargada en transportar las presas que contengan los recortes de perforación debe contar un número vigente de registro como transportista de residuos de manejo especial ante la SEDEMA en el cual se registran las características particulares de los vehículos con los que el transporte se realizará y se le debe asignar un número para su identificación.

El conductor del vehículo debe contar con la capacitación y licencia de manejo adecuadas para esta actividad y realizar manifiestos de recepción y entrega de los residuos.

Se recomienda que la SEDEMA pida un reporte mensual de los manifiestos realizados por la empresa transportista que incluyan el lugar de la generación de los recortes, la cantidad de recortes cargados, y el lugar de tratamiento o disposición final al que fueron entregados para ser cotejados.

9.4 Tratamiento

Actualmente no se cuenta con un tratamiento al que estén sujetos los recortes de perforación y la gran mayoría omite esta etapa pasando directamente a la disposición final de los mismos.

Existen muchos métodos de tratamiento para los recortes de perforación, estos pueden ser físicos, fisicoquímicos y biológicos.

9.4.1 Físicos

9.4.1.1 Sistema de control de sólidos (INE, 1995)

Por lo general este tipo de sistemas ya se encuentra integrado en la instalación de perforación. Debe incluirse en la planificación y diseño de estas instalaciones o, si los trabajos de perforación los realizara un tercero, en el paquete de servicio deberá incluir dicho sistema, tanto en actividades en tierra como costa afuera.

Una vez sobre la superficie, el fluido y recortes procedentes del agujero pasan a través del sistema de control de sólidos. Éste consiste básicamente de un tamiz vibratorio, desarenador y desarcillador.

9.4.1.2 Lavado de recortes de perforación (INE, 1995)

Una alternativa para la descontaminación del recorte de perforación generado durante la perforación con fluido de emulsión inversa es el proceso de lavado, que en términos generales se realiza en dos etapas.

En la primera, los recortes obtenidos se canalizan hacia un tanque lavador en donde se adiciona un detergente biodegradable. En este tanque, mediante agitación rotacional se separa el aceite del recorte.

El líquido filtrado por la criba proveniente de esta primera etapa contiene solución lavadora, aceite emulsionado y sólidos finos, requiriendo por lo tanto circular la mezcla a través de un separador centrífugo de dos fases que permite eliminar sólidos hasta de 5 micras. Los sólidos libres de hidrocarburos se pueden utilizar para relleno de terrenos.

El aceite en tambores se envía a plantas regeneradoras o a la corriente de hidrocarburos y la solución lavadora se continúa reutilizando en el proceso.

9.4.1.3 Concentración de sólidos (INE, 1995)

El proceso de concentración de sólidos/deshidratación es simplemente la separación de la fase acuosa de la presa. El componente sólido que queda debe ser eliminado adecuadamente y posiblemente requiera de tratamiento adicional, los líquidos recuperados pueden ser eliminados fosa abajo, recirculados o descargados, previa verificación de los parámetros regulatorios- correspondientes. El proceso de concentración de sólidos es muy importante para reducir el volumen contenido de la presa y por lo tanto para hacerlo más fácil de manejar.

Los métodos de concentración incluyen la filtración mecánica, centrífugas y tanques de depósitos a través de la floculación y coagulación. Estos procedimientos pueden ser llevados a cabo por un contratista.

Es observable que en todos estos métodos lo único que se logra es separar el fluido de perforación de los recortes o transferirlo a otro cuerpo receptor (en el caso del lavado) sin embargo no resuelven el problema de contaminación de los compuestos presentes

9.4.2 Físicoquímicos

9.4.2.1 Estabilización / Solidificación (INE, 1995)

Uno de los métodos de manejo para disposición en tierra de lodos y recortes de perforación consiste en la estabilización (también nombrada, solidificación y fijación) de los lodos seguido de su depósito en confinamiento controlado. La técnica de solidificación consiste de la adición de agentes químicos al lodo los cuales reaccionan para formar un material sólidos que puede ser dispuesto.

Solidificación y estabilización son procesos de tratamiento usados para mejorar las características físicas y de manejo de los residuos, disminuir el área de contacto con los contaminantes que puedan ser transferidos al lixiviado, limitar la solubilidad o detoxificar los constituyentes peligrosos.

9.4.2.2 Encapsulamiento de los residuos generados durante las actividades de perforación (INE, 1995)

El encapsulamiento es un proceso que incluye el completo recubrimiento o aislamiento de las partículas tóxicas, sólidos aglomerados con una nueva sustancia poniendo una capa impermeable entre el residuo y el medio ambiente.

El emulsificante tiene la función de romper la tensión superficial del hidrocarburo y por movimiento mecánico convierte a éste en esferas de 2 - 4 micras, rodeadas del emulsificante.

Al agregar el silicato se forma un óxido de silicio amorfo, que tiene como características el no ser lixiviable, tener un 80% de agua y trazas de sal (cloruro de potasio), que dan un producto final cristalino y no tóxico (propiamente el microencapsulado).

El producto final del tratamiento es almacenado a granel a cielo abierto y muestreado bajo las técnicas establecidas en la legislación nacional y el resultado se somete a autorización del municipio para su entrega.

Como resultado de estos métodos se obtiene la estabilización del contaminante a una fase sólida, más fácil de manejar, sin embargo el residuo sigue presente y requiere de una disposición final ya que el resultante no tiene ya ningún uso hasta ahora.

9.4.3 Térmicos

9.4.3.1 Incineración (INE, 1995)

La aplicación de esta tecnología acorde al estado de la misma implica un alto costo. La incineración es útil para componentes orgánicos primarios pero puede tratar residuos que no tengan una forma definida. Este proceso puede ser muy eficiente pero también muy caro. Se requiere de un control atmosférico, a menos que el residuo destruido sea un hidrocarburo de composición uniforme. Las ventajas principales de la incineración son la gran reducción en la cantidad de residuos por manejarse y la destrucción casi completa de sustancias peligrosas orgánicas. La ceniza es generalmente inerte y se puede sepultar en un sitio de confinamiento o tratarse mediante los procesos de fijación química. Los metales pesados se transforman generalmente en óxidos menos tóxicos. Los compuestos combustibles carcinógenos y biológicos activos son destruidos eficientemente.

9.4.3.1 Desorción Térmica (INE, 1995)

Es un proceso para remover orgánicos y agua de los sólidos. El proceso opera a mucho menos temperatura que los incineradores y en ausencia de oxígeno puesto que no se pretende que exista combustión en los desechos. La mezcla de orgánicos, agua y sólidos se calienta para separar los volátiles. El agua en el desecho se convierte en vapor y ayuda a despojar compuestos semivolátiles de punto de ebullición alto. El proceso de desorción térmica se realiza a través de un lecho fluidizante.

9.4.4 Biológicos

9.4.4.1 Dispersión sobre terreno (INE, 1995)

Esta técnica de tratamiento se aplica para recortes y residuos contaminados con fluidos de emulsión inversa (OBF), y consiste en aplicar bacterias oleofílicas que se alimentan de hidrocarburos, obteniendo como productos intermedios alcoholes, aldehídos y ácidos orgánicos, y como productos finales agua, bióxido de carbono y más bacterias oleofílicas.

La dispersión sobre terreno es un proceso biológico aerobio el cual se basa en la presencia natural de bacterias en el suelo para degradar los hidrocarburos contenido en el lodo o recortes que se aplican mediante procedimiento controlado, entre una profundidad de 30 a 60 cm agregando además mezcla de nutrientes inorgánicos a base de nitrógeno, potasio y fósforo para proceder a su mezclado por medios mecánicos utilizando rastras agrícolas accionadas por tractor.

9.4.4.2 Composteo (INE, 1995)

Este es una variación del tratamiento biológico sobre terreno. La velocidad de degradación puede ser incrementada por composteo, el cual es un proceso natural donde el carbón y otros nutrientes de detritus animal y vegetal son reciclados por microorganismos del suelo. Puede aplicarse a los recortes de perforación los que se mezclan con agentes voluminosos, tales como trocillos de madera seca o paja para incrementar la porosidad, La composta mezclada se coloca en forma apilada, de esta forma se retiene el calor producido por la actividad microbiana que precede a la biodegradación. El agente voluminoso adicionado sirve para incrementar la capacidad de retención del agua, permeabilidad y porosidad. Volúmenes grandes de recortes contaminados con aceite se pueden remediar con cierta rapidez a través del uso de este tipo de biotratamientos mejorados (bioapilamientos). El material a tratar se coloca en hileras o amontonamientos y los nutrientes se agregan a través de tuberías. La aereación se logra forzando el

paso de aire a través de un soplador. Se agrega agua a medida que se necesite. Para prevenir contaminación del área circundante las pilas o amontonamientos se colocan sobre revestimientos plásticos o losas de concreto. Lonas impermeables suelen colocarse sobre la pila para reducir las emisiones a la atmósfera.

Como se sabe, en cualquier tratamiento de tipo biológico, el residuo se asimila por un organismo integrándolo a su metabolismo transformándolo de esta manera de ser inorgánico a ser orgánico lo que implica que ya puede ser reintegrado a la naturaleza.

Basado en toda la información anterior, se recomienda que los recortes de perforación impregnados con fluidos base aceite se traten de manera biológica, preferentemente con el método de dispersión sobre el terreno ya que el método de composteo requiere de la adición de más material a los recortes que, si bien no genera ningún perjuicio, incrementa la cantidad de residuos a tratar.

Para que la dispersión sobre el terreno sea aplicada deberá realizarse preliminarmente un estudio de viabilidad del suelo del predio donde se verifique que el sitio (INE, 1995):

- Esté retirado de zonas habitacionales
- Cuento con vías de drenaje.
- No esté sujeto a inundaciones estacionales.
- No deben estar ubicados cerca de zonas forestales y de campos de agricultura principal, tierras pantanosas y hábitats críticos de la fauna silvestre.
- La topografía debe tener una ligera inclinación para evitar la acumulación de agua. Si la pendiente es de 4% (máximo 9%), el sitio debe estar distante de los cursos acuáticos y aplicar poca cantidad del residuo.
- Es deseable un suelo con material orgánico mezclado. Los suelos arcillosos tienden a retener agua, limitan la distribución de oxígeno, y al mismo tiempo son difíciles de labrar. Terrenos de arena o limo permiten la lixiviación de

metales pesados. La máxima profundidad de la zona de tratamiento debe ser de por lo menos 1-2 m arriba del nivel freático.

Ya sea éste o cualquier otro, el tratamiento debe ser aplicado por empresas que hayan obtenido un registro que les autorice tratar residuos de manejo especial ante la SEDEMA para el cual se necesita describir a detalle el proceso empleado. Una vez puesto en marcha el proceso de tratamiento, la empresa deberá entregar un reporte mensual de los recortes tratados recibidos por los transportistas para ser cotejados, así como análisis de rendimiento del proceso que lleva a cabo.

9.5 Disposición final

La disposición final de los recortes de perforación puede variar dependiendo de si se le aplicó tratamiento o no.

De haber sido sometido al tratamiento sugerido, el suelo obtenido es capaz de ser utilizado como suelo de relleno para obras civiles. Si los recortes no son tratados biológicamente debe buscarse un método de disposición final que puede ir desde un confinamiento especial hasta un relleno sanitario. Un método que está siendo utilizado como una opción ambientalmente más eficiente de disposición final para los recortes de perforación es el de la reinyección de los mismos a pozos que se encuentran fuera de servicio.

Como ya se mencionó en secciones anteriores, en el 2008 se publicó el proyecto de norma mexicana PROY-NOM-153-SEMARNAT-2006 que establece las especificaciones ambientales para la inyección de recortes de perforación en formaciones receptoras.

Este proyecto de norma especifica que la formación receptora se debe localizar debajo de un estrato impermeable, el cual no permita el paso de un fluido (ya sea agua o hidrocarburo); este tipo de estrato debe tener capacidad de almacenamiento (buena porosidad, con poros que no permitan el flujo) y no debe existir comunicación entre los acuíferos y los pozos y la formación receptora; para

ello, la tubería de revestimiento debe ir cementada desde la superficie del suelo hasta la formación receptora. También describe las características que debe tener el recorte para poder ser inyectado, lo cual implica un pequeño tratamiento por medio de un hidrociclón para disminuir la cantidad de aceite presenta, para luego ser mezclado con un líquido para crear una emulsión que sea fácil de inyectar en el pozo con las características descritas en la tabla 10. El líquido puede ser agua tratada o congénita o agua de mar.

Tabla 10. Características de las emulsiones de recortes para ser inyectadas

| Característica | Valor |
|----------------------------------|-------|
| Densidad, g/ml | 1.4 |
| Viscosidad plástica, cps | 9 |
| Punto de admisión, lbs/100 sq ft | 136 |
| Filtración API, cc/30 min | 55.6 |
| Sólidos en la emulsión, % vol | 20 |
| Líquidos en la lechada, % vol | - |
| Agua | 70 |
| Aceite | 10 |
| Cloruro, mg/l | 31000 |

Esta técnica no requiere de áreas de almacenamiento de recortes/lodos, transportación a tierra o fuera del sitio y evita los efectos ambientales de la disposición superficial, por lo que parece ser una adecuada opción sobre todo para los residuos generados en actividades costa afuera.

En cuanto a la disposición final se recomienda que se establezca que los recortes de perforación que no fueron tratados biológicamente sean reinyectados a formaciones receptoras aptas para esta tarea.

Las siguientes razones hacen de esta tecnología como la mejor opción de disposición final.

1. El residuo se remueve del medio ambiente de una forma como fue generado

2. Siendo los recortes una importante fracción de los residuos, estos como en un sistema cerrado se retornan a su medio original, en donde no representan poseer un riesgo ambiental
3. Algún tipo de movimiento del residuo es severamente eliminado por fracturamiento del estrato de inyección, con lo que se reduce el riesgo de retorno del residuo a la superficie.
4. En costa afuera, la ausencia de fuentes de agua potable abajo del lecho marino hace imposible la contaminación de ellas.

Para que la disposición final se realice de esta forma, el sitio deberá cumplir con las especificaciones establecidas en el PROY-NOM-153-SEMARNAT-2006 que se comprobarán por medio de la entrega de un estudio de impacto ambiental a la SEDEMA. Una vez aceptada la ejecución del proyecto, la empresa deberá entregar un reporte mensual de los recortes dispuestos en el sitio entregados por los transportistas para ser cotejados así como un análisis trimestral de la situación del cuerpo receptor.

En la tabla 11 se resumen las ventajas y desventajas más importantes acerca de la implementación de las recomendaciones sugeridas en este trabajo:

Tabla 11. Ventajas y desventajas de la aplicación de recomendaciones

| Acción | Ventajas | Desventajas |
|--|---|--|
| Minimización. Uso de fluidos sintéticos | <ul style="list-style-type: none"> • De baja toxicidad e impacto ambiental • Son biodegradables | <ul style="list-style-type: none"> • Costos adicionales en inversión de equipo para mejorar el manejo y recuperación del fluido. • Costo del fluido cuatro veces más que el lodo base aceite convencional. |
| Dispersión sobre terreno / biorremediación | <ul style="list-style-type: none"> • No requiere de equipo especializado • De costo bajo a medio • Adecuado para | <ul style="list-style-type: none"> • Requiere grandes extensiones de terreno y control ambiental específico • De degradación |

| | | |
|-------------------|---|---|
| | <p>hidrocarburos</p> <ul style="list-style-type: none"> • No requiere de un tratamiento posterior | <p>incompleta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largos períodos son requeridos para alcanzar la degradación • Riesgo de migración de contaminantes no biodegradables |
| Inyección a pozos | <ul style="list-style-type: none"> • Costo-efectivo de disposición • No requiere de área de almacenamiento • No requiere transportación fuera del sitio • Se elimina responsabilidad de limpieza del área • En actividades costa afuera el riesgo de contaminar agua de consumo humano es mínimo | <ul style="list-style-type: none"> • Es requerido de personal especializado • Se requiere contar con zonas apropiadas de recepción sin afectar el pozo productor, que cuente con sellos que impidan el movimiento vertical del flujo • En tierra, existe riesgo de contaminación de aguas subterráneas |

10. Conclusiones

En el presente trabajo se pretende un primer acercamiento para determinar los aspectos que deben ser regulados en el manejo de los recortes de perforación en el estado de Veracruz.

La economía de México tiene un soporte muy importante en la extracción de combustibles fósiles por lo cual esta actividad tiene un crecimiento importante año con año y consigo implica la generación cada vez mayor de sus residuos

La actividad de exploración y perforación de pozos petroleros genera un gran número de residuos tanto de manejo especial, como domésticos y peligrosos, sin embargo son los recortes de perforación de los residuos generados en mayor cantidad pero también a los que se les presta menos atención.

De entre las propuestas presentadas en este trabajo, una sobresale por entre las demás debido al impacto que su realización implicaría en todas las consecuentes. El uso de fluidos de perforación de base sintética resuelve muchos de los problemas que representan los recortes de perforación impregnados con fluidos base aceite como su toxicidad ya que no contiene sustancias oleaginosas que causen daño al ambiente, su persistencia en el medio ambiente debido a su biodegradabilidad y con esto indirectamente resuelve el hecho de buscar opciones de disposición final ambiental y económicamente viables. A pesar de eso las propuestas hechas en cuanto disposición final y tratamiento son, si no las más económicamente viables o de mayor velocidad, sí las ambientalmente más pertinentes con su debido control.

Es por esto que es necesaria la generación de normas jurídicas que generen una estricta vigilancia del medio ambiente y con ésto que ayuden a encaminar el desarrollo humano hacia la sustentabilidad. Este trabajo, si bien no resuelve el problema, pretende ser un primer paso para impulsar la creación de estas normas jurídicas.

Es muy importante el papel que la SEDEMA deberá desempeñar en el manejo de estos residuos puesto que se encargará de revisar que los criterios dispuestos sean llevados a cabo correctamente y analizar que los reportes de cada una de las empresas que intervengan coincidan entre sí para evitar información alterada. Esto requerirá que exista personal capacitado encargado de la recepción y análisis de todos los trámites, documentos y reportes que se generen en esta actividad.

Veracruz es un estado con un inventario ambiental inigualable con un valor muy importante a nivel nacional. El Gobierno del Estado debe reconocer esto y encaminar esfuerzos para la protección del mismo.

Bibliografía

- ARPEL (s.f.). *Tratamiento y eliminación de desperdicios de perforación de exploración y producción*. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. Montevideo, Uruguay. 116 p.
- Buitrago, C. & M. Cárdenas (Editores). (1999). *Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas*. Ministerio de Medio Ambiente. Colombia. 217 p.
- DOF (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos-LGPGIR*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- DOF (2004) *NOM-115-SEMARNAT-2003 Que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación y mantenimiento de pozos petroleros terrestres para exploración y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas o terrenos forestales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México
- DOF (2006) *NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.
- DOF (2007) *NOM-149-SEMARNAT-2006, Que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación, mantenimiento y abandono de pozos petroleros en las zonas marinas mexicanas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México
- DOF (2008) *PROY-NOM-153-SEMARNAT-2006, Que establece las especificaciones ambientales para la inyección de recortes de*

perforación en formaciones receptoras. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.

DOF (2013). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente-LGEEPA.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.

DOF (2013)a. *NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México

EPA. (1996). 40 CFR Part 435 *Oil and Gas Extraction Point Source Category; Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Coastal Subcategory; Final Rule.* Environmental Protection Agency. 46 p.

Escamilla, A. (2012). *Regulación Ambiental de los residuos provenientes de la actividad petrolera.* Memorias del Simposio Internacional de Residuos. México, D.F. 14 p.

Geehan, T., A. Gilmour & Q. Guo (2007). Tecnología de avanzada en el manejo de residuos de perforación. *Oilfield Review.* Huston, Texas. 15 p.

GO (2004) *Ley número 847 para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.* Gaceta oficial. Gobierno del Estado de Veracruz

GO (2011) *Ley número 62 Estatal de Protección Ambiental.* Gaceta oficial. Gobierno del Estado de Veracruz

Growcock, F. & A. Patel (2011). *The revolution in non-aqueous drilling fluids.* American Association of Drilling Engineers AADE-11-NTCE-33. Huston, Texas. 8 p.

- INE. (1995). *Anteproyecto de norma oficial mexicana para regular el manejo de los residuos provenientes de la extracción de petróleo y gas*. Instituto Nacional de Ecología. Instituto Mexicano del Petróleo. 519 p.
- INECC. (2012). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. Versión Extensa*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 201 p.
- INEGI (2013) Cuéntame...Sabías qué...Petróleo. Recuperado el 17 de agosto de 2013 de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/petroleo/default.aspx?tema=S>
- Mendioroz, S. (s.f.). *Mercurio*. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC. Cantoblanco, Madrid. 7 p.
- Mérida, J. & F. Rodríguez (2011). *Biorremediación de lodos de recortes de perforación base aceite, contaminados con hidrocarburos mediante un consorcio bacteriano y la adición de ácidos húmicos como surfactantes*. Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. 4SIIR. ISBN 978-607-607-015-4. 560-569 p.
- NOIA. (2001). *Disposal of oil contaminated drill cuttings*. Sumary Report. The Norwegian Oil Industry Association. Noruega. 12 p.
- OGP. (2003). *Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations*. Report No. 342. International Association of Oil & Gas Producers. 106 p.
- PEMEX. (2010) *NRF-261-PEMEX-2010. Manejo integral de recortes impregnados con fluidos de control base aceite, generados durante la perforación y mantenimiento de pozos petroleros*. Comité de normalización de Petróleos Mexicanos y organismos subsidiarios. México. 29 p.
- PEMEX. (2011) *“Anexo SSPA” Obligaciones de seguridad, salud en el trabajo y protección ambiental de los proveedores o contratistas que realizan*

actividades en instalaciones de Petróleos Mexicanos y organismos subsidiarios. Primera Versión. Dirección Corporativa de Operaciones. Dirección General de Petróleos Mexicanos. México. 66 p.

PEMEX. (2012) *Anuario estadístico 2012.* Petróleos Mexicanos. 70 p.

PEMEX. (2013). *NRF-040-PEMEX-2013. Manejo de residuos en plataformas marinas.* Comité de normalización de Petróleos Mexicanos y organismos subsidiarios. México. 33 p.

PEMEX. (2014). *Portal de Petróleos Mexicanos PEMEX.* Recuperado el 23 de mayo de 2014. <http://www.pemex.com/Paginas/default.aspx>

Piszcz, K., A. Ptaszynska, & J. Hupka (s.f.). *Method of managing drill cuttings from shale gas formations.* PhD Interdisciplinary Journal. 137-142 p.

Pozzo, M. (2000). *Diseño y ejecución de un plan de biotratamiento para residuos (cortes) de perforación de la actividad petrolera por la metodología de biodegradación con bioaugmentación.* Memorias del XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. 22 p.

Zambrano, H. & A. Olaya (2003). *Interventoría ambiental en proyectos de perforación de pozos petroleros.* Revista de Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Colombia. 23 p.

Zamora, A. & J. Ramos (2009). *Las actividades de la industria petrolera y el marco ambiental legal en Venezuela. Una visión crítica de su efectividad.* Revista Geográfica Venezolana Vol. 51. 30 p.

Zegarra, H., R. Ríos, J. Reyes, N. Rojas, T. Roldán, M. Ramírez & L. Fernández (s.f.). *Tratamiento de residuos de lodos de perforación en columnas de suelo (lisímetros).* Instituto Mexicano del Petróleo. México D.F. 1 p.