UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

POSTGRADO INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Análisis de Alternativas para Tratamiento y Disposición de Arenas de Producción de Hidrocarburos en Plataformas Petroleras Marinas ubicadas en Zonas del Delta del Orinoco, Campo Pedernales.

TUTOR: M.Sc. Evaristo Martínez

Presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello para optar al Título de M.Sc. Ingeniería Ambiental. Presentado por Ing. Giuseppe Cione.

Caracas, Marzo 2006.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

POSTGRADO INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Análisis de Alternativas para Tratamiento y Disposición de Arenas de Producción de Hidrocarburos en Plataformas Petroleras Marinas ubicadas en Zonas del Delta del Orinoco, Campo Pedernales.

TUTOR: M.Sc. Evaristo Martínez

Presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello para optar al Título de M.Sc. Ingeniería Ambiental. Presentado por Ing. Giuseppe Cione.

Caracas, Marzo 2006.

CONTENIDO

Pág.

Resumen Ejecutivo IX

Introducción 1

Capítulo I: La Investigación 4

1.1 Contextualización y Delimitación 4
1.2 Objetivos 13
1.3 Alcances 14
1.4 Propósito e Importancia 14

Capítulo II: Marco Teórico Referencial 16

2.1 Antecedentes de la Investigación 16
2.2 Aspectos Teóricos 21
2.2.1 Las Arenas de Producción en Pedernales 23
2.2.2 Alternativas de Manejo de las Arenas de Producción 24
2.2.2.1 Opciones Primarias para la Disposición 24
2.2.2.2 Tecnologías para el Tratamiento de las Arenas 28
2.2.3 La Contaminación Marina 42
2.2.4 Riesgos en Transporte Marítimo 47
2.2.5 Efectos de la Contaminación de las Descargas Sólidas en las Áreas Deltanas 51
2.3 Marco Legal 52
2.3.1 Marco Legal Internacional (EPA- Environmental Protection Agency) 52
2.3.2 Marco Legal Nacional 59
2.3.2.1 Disposiciones Legales 60
2.3.2.2 Disposiciones Técnicas Complementarias 63
2.3.2.3 Regulaciones y Disposiciones Técnicas de Aplicación Directa a la Investigación 67

Capítulo III: Marco Metodológico 72

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación 72
3.2 Metodología y Procedimientos 73
3.2.1 Técnicas e Instrumentos de Recolección de información 75
3.2.2 Técnicas e Instrumentos de Evaluación de Alternativas de Tratamiento de Arenas de Producción de Hidrocarburos 77
3.2.3 Técnicas e Instrumentos de Evaluación Ambiental 78
3.2.4 Técnicas e Instrumentos de Evaluación Económica 78

Capítulo IV: Caracterización del Campo Pedernales 80

4.1 Generalidades 80
4.2 Descripción Ambiental del Área del Campo Pedernales 81
4.2.1 Aspectos Climáticos 82
4.2.2 Suelos e Hidrografía 82
4.2.3 Dinámica de las Aguas 83
4.2.4 Vegetación 84
4.2.5 Fauna 85
4.3 Descripción de las Instalaciones del Campo Pedernales 90
4.4 Corrientes de Desechos del Campo Pedernales 94
4.5 Caracterización de las Arenas de Producción del Campo Pedernales 98
4.6 Sistema de Tratamiento y Disposición Actual de las Arenas de Producción en el Campo Pedernales 101
4.7 Calidad de Aguas y Sedimentos 105
4.8 Dinámica Sedimentaria del Caño Pedernales 112
4.9 Comunidad Béntica 115
4.10 Definición de las Variables de Estudio 119

Capítulo V: Análisis de Alternativas de tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción 121

5.1 Análisis Técnico-Ambiental de las Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción 121
5.1.1 Tecnología de Bio-remediación 122

5.1.2 Tecnología de Incineración 124
5.1.3 Tecnología de Desorción Térmica 125
5.1.4 Tecnología de Solidificación/Estabilización 125
5.1.5 Tecnología de Inyección por Fracturamiento 126
5.1.6 Tecnología de Lavado 127
5.2 Análisis Técnico-Ambiental de las Opciones de Disposición 127
5.2.1 Descarga al Medio Marino 128
5.2.2 Re-inyección en Pozos 130
5.2.3 Disposición en Tierra Firme 134
5.3 Análisis de las Alternativas de Tratamiento y Disposición más Adecuada para las Arenas de Producción del Campo Pedernales 140
5.4 Pre-tratamiento en Sitio y Calidad de Arena esperada 146
5.5 Efecto Esperado en Medio Receptor ante Derrames Accidentales 152
5.5.1 Persistencia Física 152
5.5.2 Impacto y Recuperación del Bentos 154
5.5.3 Estudios de Laboratorio 158
5.5.4 Biotoxicidad y Bioacumulación 160
5.5.5 Modelaje y Simulación de Descarga al Medio Marino 161
5.6 Análisis Técnico-Ambiental Comparativo de las Alternativas y los Procedimientos Actuales de Manejo de las Arenas de Producción 164

Capítulo VI: Selección Final de Alternativas y Análisis Económico 170

6.1 Selección Final de Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción del Campo Pedernales 170
6.2 Análisis de Costos de la Selección Final de Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción del Campo Pedernales 177

Capítulo VII: Procedimientos e Implementación 183

7.1 Pruebas de Laboratorio 183
7.2 Modelaje de la Descarga de Arenas Lavadas en el Caño 184
7.3 Información de Geoforma y Dinámica Fluvial 184
7.4 Análisis Granulométrico y Bentos 185

7.5 Sitios de Descarga y Tiempos de Recolonización 185
7.6 Programa de Seguimiento 186
7.7 Prueba Piloto 186
7.8 Prueba de Pre-descarga 187
7.9 Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural (EsIASC) 187
7.10 Implementación del Tratamiento en Campo 188

Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones 189

Bibliografía 193

Glosario

Abreviaciones

Anexo I: Modificatoria Decreto 883 en Consulta

Anexo II: Lista de Chequeo Consulta a Experto

Anexo III: Mapa de Instalaciones y Ubicación de Estaciones de Monitoreo

Anexo IV: Historial de Monitoreo Calidad de Aguas y Sedimentos

Anexo V: Mapa de Batometría y Dirección de Corrientes

Anexo VI: Estudio de Investigación de Laboratorio para Lavado de Arenas de Producción del Campo Pedernales

Anexo VII: Folleto de Equipo CONSOLEFCA

Anexo VIII: Análisis Composicional del Crudo de Pedernales

Anexo IX: Detalle Análisis de Costos de las Alternativas Finales de Tratamiento y Disposición de las Arenas de producción del Campo Pedernales

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

CUADRO 1: Tipos de Desechos Asociados a las Actividades de Explotación y Producción de Hidrocarburos 11

CUADRO 2. Técnicas de Manejo de Desechos de Producción 22

CUADRO 3. Parámetros de Evaluación entre las Opciones de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción en Plataformas Marinas 25

CUADRO 4. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Incineración 29

CUADRO 5. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Desorción Térmica 30

CUADRO 6. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Sodificación/Estabilización .. 31

CUADRO 7. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Inyección por Fracturamiento 32

CUADRO 8. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Lavado con Agua 34

CUADRO 9. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Biotratamiento 41

CUADRO 10. Formas de Contaminación Marina 44

CUADRO 11. Derrames Mayores de Hidrocarburos por Accidentes de Transporte Marítimo desde 1967 49

CUADRO 12. Incidentes de Derrames Marinos y Causas, 1974-2003 50

CUADRO 13. Concentraciones Máximas Permisibles en Lixiviados 69

CUADRO 14. Promedios Anuales Parámetros Climáticos más Relevantes del Área de Pedernales 82

CUADRO 15. Resumen de Corrientes de Desechos Generadas en la Perforación del Pozo PCG-B. Campo Pedernales 96

CUADRO 16. Tasas de Generación de Corrientes de Desechos de Producción Campo Pedernales, 2005 97

CUADRO 17. Test de Lixiviados Arenas de Producción no Tratadas, BP 1999 100

CUADRO 18. Test de Lixiviados Arenas de Producción no Tratadas, 2002-2004 100

CUADRO 19. Tasas de Generación de Arenas de Producción en el Campo Pedernales (Unidades en Cajas) 101

CUADRO 20. Comparación de Resultados de Muestreo vs Normativa Ambiental (Decreto 883, Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos) 109

CUADRO 21. Coordenadas UTM de los Puntos de Monitoreo del Bentos en el Campo de Pedernales 116

CUADRO 22. Condición de la Marea, Área de Captación y Profundidad en cada Estación de Monitoreo del Bentos, en el Campo de Pedernales 116

CUADRO 23. Ventajas (+) y Desventajas (-) de las Descargas al Medio Marino 129

CUADRO 24. Ventajas (+) y Desventajas (-) de la Re-inyección 133

CUADRO 25. Ventajas (+) y Desventajas (-) del Transporte Marítimo a Tierra Firme . 135

CUADRO 26. Ventajas (+) y Desventajas (-) de las Alternativas de Tratamiento y/o Disposición en Tierra Firme 136

CUADRO 27. Matriz de Evaluación de Alternativas de Tratamiento en Pedernales 145

CUADRO 28. Unidades Porcentuales de Parámetros de Interés Referidos a la Calida de Agua, en las Condiciones Actuales 167

CUADRO 29. Índice de Calidad Ambiental Estimado Antes y Durante la Descarga de Arenas de Producción no Tratadas (ICA-1) y Pre-tratadas (ICA-2) 169

CUADRO 30. Ventajas y Desventajas de las Alternativas Seleccionadas 173

CUADRO 31. Resultado de Análisis Económico. Indicadores Financieros 182

CUADRO 32. Estructura de Costo Inversión Inicial Equipo de Lavado 182

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1. Equipos de Perforación Costa Afuera 5

FIGURA 2. Incidente del Prestige 2002 6

FIGURA 3. Accidentes Ambientales 1998-2003 EE.UU 7

FIGURA 4. Instalaciones de producción en Campo Pedernales 9

FIGURA 5. Muestra de Arena de Producción del Campo Pedernales..... 24

FIGURA 6. Re-inyección de Arenas de Producción en Plataforma Marinas 27

FIGURA 7. Diagrama de Lavado con Agua a Chorro 33

FIGURA 8. Esquema General Técnica de Bio-remediación 38

FIGURA 9. Derrames por Accidentes Marinos en los Últimos Años..... 48

FIGURA 10. Embarcación de soporte Colisiona con Cabezal de Pozo Abandonado no Demarcado 49

FIGURA 11. Diagrama de Decisión Residuos Exentos/ No Exentos..... 58

FIGURA 12. Mezcla de Residuos Posibles y su Estado Exentos y No Exentos..... 59

FIGURA 13. Ubicación Relativa del Campo Pedernales 80

FIGURA 14. Plataforma FSPP – La Pinta..... 92

FIGURA 15. Vista de la Plataforma Auxiliar..... 92

FIGURA 16. Vista de Gabarra de Almacenamiento “Carite”..... 93

FIGURA 17. Gabarra de Alojamiento “Tonina” 93

FIGURA 18. Arena de Producción en Contenedores de Recolección..... 99

FIGURA 19. Producción de Crudo vs Arenas 2001-2005..... 102

FIGURA 20. Cajas de Almacenamiento de Arenas de Producción 102

FIGURA 21. Ruta de Transporte de las Arenas de Producción. Campo Pedernales... 103

FIGURA 22. Transporte Terrestre de Cajas de Arenas de Producción 104

FIGURA 23. Ubicación de las Estaciones de Muestreo..... 106

FIGURA 24. Dirección de las Corrientes en Caño Mánamo y Boca Pedernales..... 113

FIGURA 25. Variación Temporal de la Dominancia Relativa de Organismos Asociados al Sedimento en las Plataformas El Orgullo y La Tonina, en el Campo Pedernales 118

FIGURA 26. Equipo de Re-inyección de Arenas 132

FIGURA 27. Diagrama Esquemático de las Opciones de Disposición de las Arenas de Producción en Tierra Firme..... 138

FIGURA 28. Imagen de Resultados de Laboratorio Arenas de Producción Lavadas a Chorro por 120 seg 147

FIGURA 29. Gráfico Comparativo de la Concentración de Hidrocarburo Remanente vs Tiempo de Lavado (seg.) 147

FIGURA 30. Consumo de agua vs Remanente de Hidrocarburos en Arenas de Producción del Campo Pedernales Lavadas con Agua a Chorro 148

FIGURA 31. Diagrama Esquemático del Equipo de Lavado de Arenas 151

FIGURA 32. Destino de Cortes de Perforación Descargados al Océano 153

FIGURA 33. Función de Transformación Calidad de Aguas..... 168

FIGURA 34. Costos relativos de Opciones de Disposición..... 179

RESUMEN EJECUTIVO

El consumo energético mundial demanda una tasa superior a los 80 millones de barriles por día de combustible fósil, por lo que, la industria petrolera ha desarrollado técnicas de explotación de hidrocarburos que permiten acceder a los yacimientos ubicados en mares profundos, zonas polares, deltas, y otras zonas remotas ambientalmente sensibles. En dichas zonas, se genera un estrés ecológico no solo por desarrollo de las actividades de explotación, sino también por las acciones de manejo, transporte y disposición de las corrientes de desecho asociadas a la explotación.

En el caso particular de los estuarios del Delta del Orinoco, las actividades de transporte de una de las corrientes de desecho: las arenas de producción, desde el campo Pedernales hasta Maturín, representan un potencial de contaminación sujeto a los riesgos de naufragios y fallas del transporte marítimo. El alto valor ecológico del ecosistema de manglar del Delta del Orinoco Venezolano exige el desarrollo de técnicas de pre-tratamiento de las arenas de producción, que minimicen el potencial impacto de una descarga accidental de las mismas. Dicho potencial de contaminación se acentúa con el pasar del tiempo, toda vez que en las zonas deltanas se ha planificado un importante desarrollo petrolero y gasífero basado en las importantes reservas de hidrocarburos identificadas en sus yacimientos.

Varias técnicas y alternativas de tratamiento son evaluadas en función de la factibilidad técnica, económica y ambiental, que se ajuste a las restricciones de las plataformas petroleras en costa afuera (disponibilidad de espacios, capacidad de las estructuras, energía, condiciones de operación, etc.). Como resultado, se tiene que las técnicas de: lavado de las arenas, bio-remediación, y re-inyección, resultan las más convenientes. Sin embargo, sea cual fuese la técnica de pre-tratamiento, la evaluación ambiental indica que debe ser aplicada alguna de ellas, para que las arenas de producción, a transportar por vía marítima, posean pocas o nulas características de peligrosidad.

La descarga directa al medio marino de las arenas tratadas es una de las alternativas de disposición disponibles, para el caso particular de las arenas de producción del

campo Pedernales y la dinámica fluvio sedimentaria del Caño Pedernales. No obstante, la evaluación ambiental indica que el pre-tratamiento en sitio de las arenas de producción y la posterior descarga en tierra firme es la mejor opción. Por su parte, desde el punto de vista económico, la mejor opción la tiene la tecnología de lavado de las arenas, permitiendo un ahorro 180 000 $/ano en costos operativos, en comparación con a las condiciones actuales de manejo y disposición final en tierra firme.

Otras alternativas de disposición (bio-remediación, re-inyección, incineración, etc.) resultan económicamente desfavorables y operacionalmente más complejas frente a la técnica de lavado; sin embargo, también pueden representar un ahorro en costos operativos frente a las condiciones actuales de tratamiento y disposición, pero sobre todo, ambientalmente más seguras.

Estudios de laboratorio y pruebas de lixiviación muestran que las arenas de producción del campo Pedernales pueden alcanzar los parámetros establecidos en el Decreto 2635 para la descarga directa en suelo, y los límites máximos permisibles para las pruebas de lixiviación indicadas en el Anexo D del mismo Decreto, aplicando técnicas de lavado. Específicamente, las arenas de producción tratada pueden no ser consideradas desechos peligrosos ya que el tratamiento retira de éstas las características de peligrosidad (inflamable, corrosivo, abrasivo, explosivo, bio-tóxico, etc.).

Es importante resaltar que el pre-tratamiento de las arenas de producción, además de reducir el riesgo de contaminación, permite la recuperación de las fracciones de crudo en la arena y mejora las condiciones de seguridad en la operación y el transporte; ya que el personal operativo reduce los tiempos de exposición al hidrocarburo y los de maniobra de los contenedores.

Por otra parte, una vez pre-tratada la arena de producción y habiendo minimizado las características de peligrosidad, se le puede dar otros usos interesantes como, por ejemplo, material para relleno y/o cobertura diaria para el desarrollo de rellenos sanitarios en los centros poblados de Capure y Pedernales.

INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta un análisis de las alternativas de tratamiento y disposición de las arenas de producción de hidrocarburos en plataformas petroleras marinas, ubicadas en zonas del Delta del Orinoco.

En las últimas décadas, el consumo energético mundial ha incrementado significativamente, no solo a causa del crecimiento de la población sino también de los cambios de estilo de vida y avances tecnológicos. En la actualidad, la mayor fuente energética para actividades antrópicas procede de los combustibles fósiles, por lo que la industria petrolera ha desarrollado nuevas técnicas que permiten explotar yacimientos ubicados en mares profundos y zonas polares, es decir, zonas remotas ambientalmente sensibles y de alto valor ecológico.

La exploración y producción de hidrocarburos implica el desarrollo de actividades que, aún siendo controladas, generan un estrés ecológico en los ambientes de operación. Buena parte del estrés se produce por la alteración de las condiciones naturales del medio a causa de la incorporación de compuestos extraños o ajenos a él, mayormente relacionados con las corrientes de desechos que se asocian a la producción de los fluidos del yacimiento. Estas corrientes de desecho son tratadas bajo diferentes tecnologías, para luego ser dispuestas de manera que se genere el mínimo daño ambiental posible. En el caso de instalaciones en zonas marinas, las corrientes son almacenadas en sitio y transportadas a grandes distancias hasta tierra firme donde pueden ser manipuladas, tratadas y dispuestas.

Para el caso particular de ambientes especiales como los ***Estuarios***, su preservación es de interés debido a que representan zonas ideales de desarrollo por su facilidad de acceso y la presencia de agua dulce y de recursos pesqueros. Sus características de transición entre los medios continentales y marinos, así como la complejidad de los procesos físicos que allí ocurren son de gran interés para los hombres de ciencia. En el caso de Venezuela, la presencia o cercanía de recursos tales como el petróleo en los sistemas estuarinos del Lago de Maracaibo, de los diferentes Bloques del Delta del río Orinoco y del río San Juan, le proporciona importancia a estas zonas con respecto al

transporte por vía acuática y a los problemas de sedimentación de las vías de navegación. Estas zonas estuarinas tropicales son de alta sensibilidad ambiental y refugio de aves y de especies acuáticas y vegetales (Marcucci, Etore 2000)[1]. Los sistemas estuarinos Pedernales y Capure-Cocuina en la región del Delta del río Orinoco en Venezuela, constituye uno de los estuarios más rico del ámbito mundial, donde se han descubierto yacimientos de hidrocarburos que acumulan volúmenes significativos de crudo y gas natural, uno de los cuales está en explotación desde antes de la segunda guerra mundial (Campo Pedernales).

Los actuales procedimientos de transporte a tierra de las corrientes de descarga (arenas de producción, desechos domésticos, textiles impregnados de hidrocarburos, etc.), producto de las actividades de explotación de hidrocarburos en el Delta del Orinoco, representan un importante riesgo para tales sistemas, por el alto potencial de contaminación de estas descargas y la posibilidad de ocurrencia de naufragios por fallas o accidentes de las embarcaciones.

Esta investigación, de tipo documental y de campo de diseño no experimental, estudia el tratamiento de arenas de producción “in situ”, para plataformas petroleras marinas del delta venezolano, específicamente en el área de Pedernales, como una alternativa de manejo para minimizar los riesgos de afectación al medio deltano por efecto del transporte de materiales y corrientes contaminantes, asociadas a las actuales actividades de explotación llevadas a cabo en plataformas marinas instaladas en el caño Mánamo de Pedernales, explotado desde mediados de los años 30.

Las arenas de producción representan el 92% de las corrientes potencialmente contaminantes a ser transportadas, para el caso particular del Campo Pedernales, y su tratamiento “in situ” minimiza considerablemente los riesgos de afectación a estas importantes áreas estuarinas, como producto de posibles naufragios o hundimientos de las embarcaciones que transportan desechos de producción. Las técnicas de tratamiento evaluadas consideraron las características ambientales del medio receptor, así como también las limitaciones de espacio y carga, suministro de energía, característica y volumen del material a tratar, análisis de las opciones de disposición

[1] Marcucci, Etore. Características de los Estuarios de Venezuela y Manejo Ecológico de los Sedimentos Dragados. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos. Volumen 5, Número 2. 2000.

final de estas arenas tratadas y la comparación con los procedimientos actuales, en cuanto a las ventajas y desventajas ambientales para el medio, las operaciones y los costos de operación.

En resumen, el tratamiento de las arenas permitirá no solo minimizar el riesgo de contaminación del Delta sino también reducir los costos actuales de su manejo, con el consiguiente beneficio ambiental y económico, tanto para la empresa operadora como para la nación.

CAPITULO I: La Investigación

1.1. Contextualización y Delimitación

Durante las últimas décadas el consumo energético mundial ha tenido un crecimiento voraz e indiscriminado, debido no solo al crecimiento exponencial de la población humana, sino también al dinamismo de las actividades cotidianas, a los cambiantes estilos de vida del hombre y el avance tecnológico. La mayor parte de la energía que consumimos hoy día procede de los combustibles fósiles, hace un millón de años se supone que el hombre primitivo consumía energía en cantidades equivalentes a 0,16 litros de petróleo diarios por individuo. En la actualidad, en los países desarrollados se consume un equivalente a 25 litros de petróleo diarios por individuo, es decir, 150 veces más que en los albores de la humanidad (Amador Gago, 2000)[2].

Las estimaciones de la evolución del consumo mundial de crudo, publicadas por la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo), indican que el consumo mundial para el año 2004 se ubicó en 80,9 millones de barriles diarios, lo que significa un incremento de 2,67% con respecto al 2003, siendo el mayor crecimiento de los últimos 16 años. En el 2005 el crecimiento estuvo alrededor de 4% llevando el consumo promedio mundial a 84,3 millones bbl/d (BNamericas, 2005)[3].

Esta creciente presión en la demanda de energía ha motivado a las industrias, que explotan los recursos, a desarrollar nuevas tecnologías que permitan aprovechar, de manera rentable, a las fuentes más remotas, incluyendo a las zonas polares y a los mares profundos. En el caso particular de las explotaciones en aguas profundas, se ha llegado a desarrollar plataformas de explotación que permiten aprovechar reservas ubicadas en el subsuelo marino a profundidades superiores a los 3000 metros de columna de agua (Figura 1).

[2] Amador Gago. El Oro Negro un Tesoro Peligroso para la Vida, 2000. Publicación www.cubasolar.cu.
[3] Reporte de prensa, fuente Nueva York, 20 de Diciembre 2005 (EFE/BNamericas).

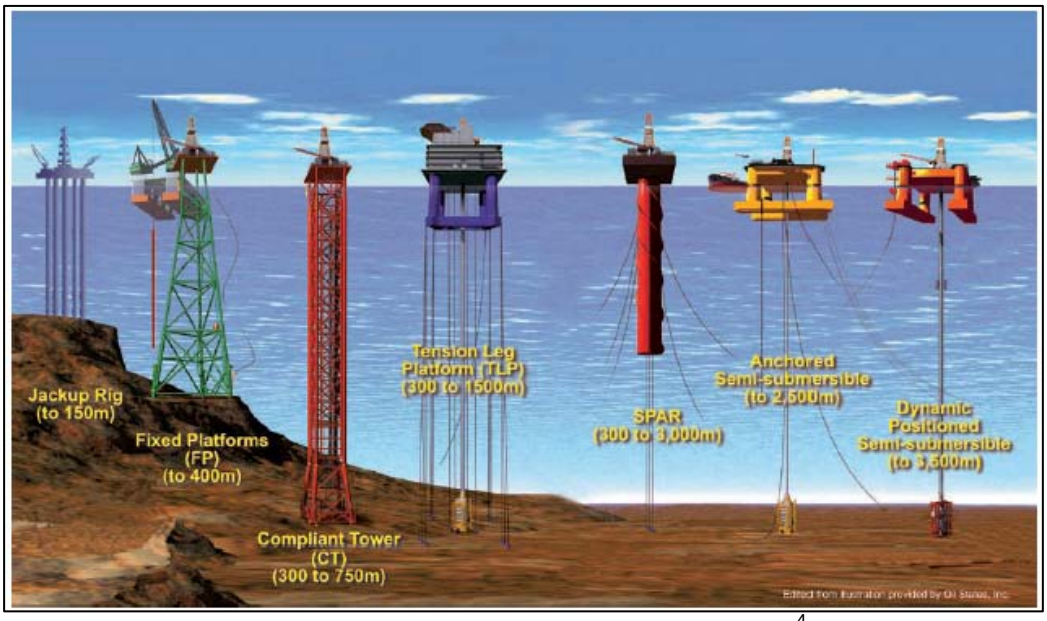


FIGURA 1. **Equipos de Perforación Costa Afuera**[4]

Bajo estas condiciones de avance tecnológico, queda claro que no existen limitaciones geográficas para extraer el necesitado recurso fósil, aun en zonas ambientalmente sensibles y de gran valor ecológico.

La extracción del recurso fósil implica perforar las formaciones del subsuelo donde se encuentra el crudo, y trasladar los fluidos de la formación a superficie. Estos fluidos contienen un espectro de sustancias que incluyen el crudo, gas natural, agua de formación, sales, arenas, y otros aditivos utilizados por la industria para acelerar la extracción. Las instalaciones y facilidades en superficie acondicionan y separan los fluidos para obtener una corriente de crudo 98% libre de sólidos e impurezas. En consecuencia, existe un importante volumen de fluidos considerados como impurezas asociados al crudo, y que pasan a ser corrientes de descarga o desechos que deben ser tratadas y dispuestas en forma ambientalmente segura.

Algunos indicadores estadísticos de EE.UU. dados por la EPA (Environmental Protection Agency), muestran una producción promedio anual de 755 000 Toneladas de desechos/ año durante los años 1992 a 1995 para la industria petrolera de ese país, con crecimientos anuales de 8 a 15% (EPA, 1995)[5]. Por tanto, importantes volúmenes de

[4] Figura tomada de: Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil and gas operations. OGP, International Association of Oil & Gas Producers, Reporte Técnico 2003.
[5] Profile of the Petroleum Refining Industry. EPA Office of Compliance, 1995.

materiales y corrientes de descargas con potencial de contaminación son tratados anualmente por la industria, aplicando diferentes tecnologías según las características y tipo de material.

Es de destacar que el tratamiento de corrientes de desechos es menos complejo en explotaciones de reservas en áreas no remotas y/o en tierra firme, que en las ubicadas en zonas remotas, costa afuera, pantanos, estuarios o ecológicamente complejas, donde las instalaciones en superficie deben ser de tamaño reducido, no dejando espacios para otros equipos que no estén directamente relacionado a la producción del crudo. En consecuencia, la separación de las impurezas se realiza “in situ” mediante separadores trifásicos y las corrientes de desechos son transportadas a tierra, a zonas con condiciones ambientalmente favorables para emplazar las facilidades de tratamiento y disposición final de estas corrientes.

Las reglamentaciones y normas de protección del hábitat marino y/o de áreas ecológicamente sensibles prohíben la descarga de estas corrientes al medio, pero ¿Qué pasaría si estas embarcaciones de transporte sufren algún incidente durante su traslado?, ¿Cómo afectaría al medio la descarga accidental de estas corrientes, de características peligrosas, potencialmente contaminantes?, ¿Qué otras afectaciones al medio están generando las acciones intermedias desde el punto de generación hasta el sitio de tratamiento y disposición final?.

Las perforaciones de pozos y el transporte de hidrocarburos constituyen dos de las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos en los mares, especialmente en las zonas costeras. Se estima que 2 290 000 ton/año de hidrocarburos provienen de actividades marinas, de los cuales: 300 000 ton tienen causas naturales; 500 000 ton de plataformas petroleras marinas; 410 000 ton de accidentes en transportes marítimos y 1 080 000 ton de accidentes de buques tanques u otros tipos de transporte (Amador



FIGURA 2. Incidente del Prestige 2002

Gago 2000)[6], es decir, 21,8% de los hidrocarburos vertidos en el mar proceden de las plataformas marinas, y un 65% de accidentes de transporte. La Figura 2 muestra uno de los últimos accidentes de transporte de crudo del año 2002 que afecto las costas de Galicia.

Northland Regional Council Annual Environmental Monitoring Report (2002)[7] señala que los incidentes en el medio acuático se han venido incrementando en los últimos 5 años, siendo las causas principales, las colisiones y las fallas estructurales de las embarcaciones, sobre todo en aquellas que están dedicadas a las actividades de soporte (caso del transporte de las corrientes de descarga). En la Figura 3 se puede visualizar como los incidentes acuáticos representan una fuente importante de accidentes de contaminación en EE.UU.

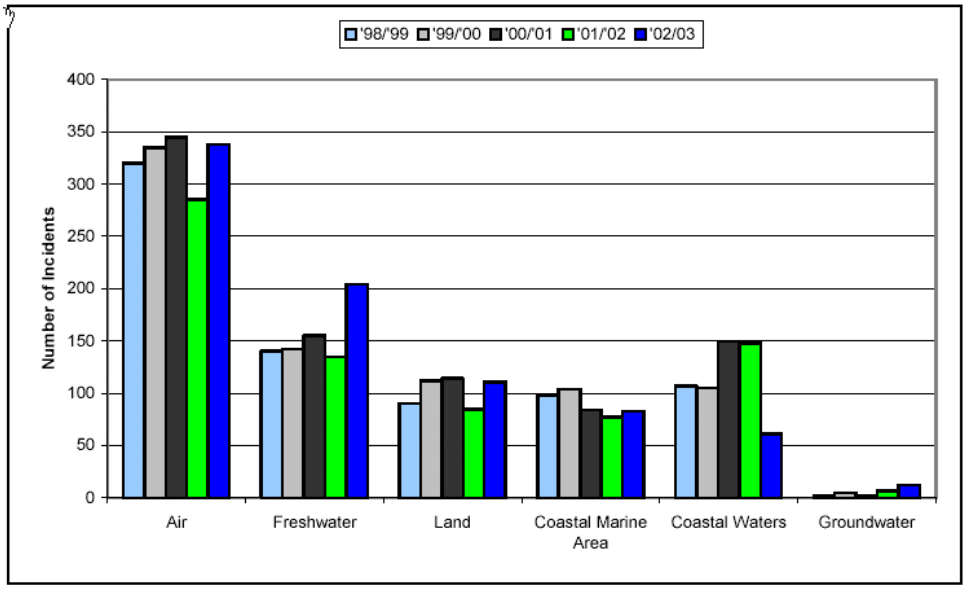


FIGURA 3. Accidentes Ambientales 1998-2003 EEUU[7]

Por consiguiente, el transporte de las corrientes de descarga es un peligro potencial para los medios acuáticos por donde se transportan, no solo por el riesgo de accidentes sino también por las alteraciones al medio acuático bajo condiciones normales de operación en cuanto a niveles de ruido, iluminación, descargas de lastres, anclaje, etc.

[6] Amador Gago. El Oro Negro un Tesoro Peligroso para la Vida, 2000. Publicación www.cubasolar.cu.
[7] Environmental Incident – '02 /'03 Northland Regional Council Annual Environmental Monitoring Report.

En el caso particular de Venezuela, no es fácil ubicar registros de incidentes marinos, pero son bien conocidos los casos de la gabarra de ripios que se inundó en el Lago de Maracaibo en Diciembre del 2002 (El Nacional, 2002)[8], el importante incidente del buque tanque Atlantic Express en el Caribe en las cercanías de Tobago (1979) que resultó en la descarga de 1,6 millones de barriles a las aguas marinas (Amador Gago, 2000)[6], y la colisión entre un buque que transportaba GLP a Pequiven y otro buque que transportaba carbón en el lago de Maracaibo el pasado mes de Noviembre (2005), liberando 550 m^3 de propano (equivalente a 3000 barriles de crudo) (El Universal, 2005)[9].

En Venezuela, son varios los hábitats de alto valor susceptibles de ser afectados por las actividades petroleras, y cada uno de ellos debe ser evaluado independientemente, debido a su diversidad y complejidad que los diferencia de otros que parecen, a simple vista, similares.

Especial interés despierta los Estuarios como sistemas donde se realizan las actividades de explotación de hidrocarburos. Los Estuarios son cuerpos de agua parcialmente cerrados que se forman cuando las aguas dulces provenientes de los ríos y quebradas fluyen hacia el océano y se mezclan con agua salada del mar. Los Estuarios y áreas circundantes son sectores de transición de tierra a mar y de agua dulce a salada, que aunque influenciados por las mareas, están protegidos de las olas, vientos y tormentas marítimas, por arrecifes, e islas que actúan como barreras o franjas de terreno, lodo o arena que definen la frontera del estuario (EPA, 2001)[10].

Los Estuarios se asocian a áreas deltáicas y figuran entre los ambientes más productivos del planeta, creando cada año más materia orgánica que áreas de bosques, pastos, o tierras agrícolas comparables en tamaño, puesto que se constituyen por una variedad de hábitat (bosque de manglar, deltas de ríos, pantanos boscosos, lechos de algas marinas, playas de lodo, etc.) que le permite albergar una abundante y diversa vida silvestre que le da un valor excepcional como fuente de recursos. Como zonas transcisionales entre agua y tierra, los Estuarios son laboratorios invaluables para

[8] Reporte de prensa El Nacional, Diciembre 12 del 2002.
[9] Reporte de Prensa El Universal, Noviembre 07 del 2005.
[10] EPA. Office of Water. NEP (National Estuary Program).

científicos y estudiantes pues, poseen hábitat para más del 75% de los peces comerciales de América y 80-90% de la pesca recreacional.

En Venezuela, el Delta del Orinoco constituye uno de los estuarios más ricos en el ámbito mundial, con una superficie de 40 200 km^2 y una población aproximada de 90 mil habitantes, representa una importante fuente de recursos para los Estados Sucre, Monagas, Bolívar y Delta Amacuro (Atlas de Venezuela, 1999)[11].

En el Delta del Orinoco, el desarrollo de la actividad petrolera data desde los años 30 iniciada por la Creole en el Campo Pedernales (Figura 4), área que aun se sigue explotando. Otros bloques de producción, como Plataforma Deltana por PDVSA y Chevron (bloque 2 y 3) y Golfo de Paria Este-Corocoro por Conoco-Phillips, ya han iniciado sus operaciones de perforación. Adicionalmente, las negociaciones con transnacionales para la explotación de las reservas gasíferas ubicadas en la plataforma intercontinental del Golfo de Paria (El Universal, 2003)[12], evidencian un importante incremento de la actividad petrolera/ gasífera a futuro en esta área, que de seguro ejercerá una mayor presión sobre los recursos y componentes del medio ambiente, no solo por la actividad en sí misma, sino también por el crecimiento y desarrollo de las comunidades y centros poblados aledaños, y los asociados parcial o totalmente con éstos. De hecho, actualmente, parte de los bloques exploratorios de las reservas gasífera ya están siendo desarrollados (caso de plataforma deltana y bloque 3)



FIGURA 4. Instalaciones de producción en Campo Pedernales

Es justo resaltar que las comunidades y centro poblados emplazados en el área deltana descargan las aguas servidas y desechos domésticos directamente a los caños sin ningún tratamiento previo, mermando la calidad de sus aguas; situación que limita su aprovechamiento y propicia el desplazamiento de las comunidades ictícolas a otras

[11] Atlas de Venezuela. Instituto Geográfico Simón Bolívar, 1999.
[12] Reporte de Prensa El Universal, Febrero 2003.

zonas menos afectadas. Si a esto se le adiciona un incremento de la explotación del recurso pesquero por una mayor presencia de habitantes, se llega a una condición de estrés biológico que, no controlado, pudiese generar perturbaciones irreversibles a los ecosistemas presentes.

Una de las soluciones al grave problema descrito, está asociada al manejo y adecuada disposición de las corrientes de desechos generadas por las comunidades y las actividades petroleras.

Las tecnologías de control ambiental desarrolladas en las últimas décadas, se han basado, principalmente, en la simulación o imitación de los procesos naturales de autodepuración de los propios ecosistemas. Sin embargo, no es fácil la implantación práctica a escala industrial de técnicas desarrolladas en laboratorios. Tal es el caso de las corrientes de desecho peligroso en estado sólido generadas en las instalaciones remotas de campos petroleros, las cuales son más difíciles de transportar y disponer que las corrientes liquidas y gaseosas, las cuales pueden ser transportadas por tuberías e inyectadas en los propios yacimientos.

Conociendo el alto valor ecológico de los Estuario y el riesgo a que están sometidos por las descargas directas o indirectas (intencional o accidental) de corrientes de desecho generadas por la actividad petrolera, ¿Por qué no desarrollar un sistema de tratamiento in situ de las corrientes de desecho en estado sólido que garantice una importante minimización de su potencial contaminante?, y si este tratamiento fuera efectivo, ¿Porqué no evaluar cual serían las opciones de disposición final de las corrientes sólidas tratadas, incluyendo las técnicas convencionales empleadas actualmente, y sus ventajas sobre el Estuario?.

Dada la gran variedad de corrientes de desecho que se genera en la actividad de exploración y producción de hidrocarburos, es conveniente clasificarlas por grupos para así definir el tratamiento más adecuado de acuerdo a sus características. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) efectuó un levantamiento del tipo de corrientes de desecho y sus volúmenes relativos generados por la Producción de Hidrocarburos (Cuadro 1).

CUADRO 1: Tipos de Desechos Asociados a las Actividades de Explotación y Producción de Hidrocarburos

Corriente de Descarga	Proceso o Actividad	Total de Desecho (% V/V)
Desechos Operativos en pozo (Workover) incluye: lodos y otros fluidos de completación, aceites, químicos, aguas ácidas, cemento y arenas)	Mantenimiento	34%
Arenas de Producción y Sedimentos en Separadores	Producción	21%
Otros fluidos de producción	Producción	14%
Filtros de recambios, suelos contaminados, sólidos contaminados con hidrocarburos	Todos	12%
Aguas de enfriamiento y refrigeración de motores y otras agua de desecho	Todos	8%
Unidades de deshidratación y despojo	Producción	4%
Emulsiones no tratables	Producción	4%
Solventes usados y limpiadores	Mantenimiento	2%
Otros desechos sólidos producidos	Producción	1%
Aceites lubricantes usados	Todos	1%

Fuente: U.S. Department of Energy, 1993. (Basado en levantamientos de la API en 1985).

Como se indica en el Cuadro 1, los trabajos en pozos (Workover), las *arenas de producción*, y otras corrientes de desecho, mayormente sólidas, representan el 67% del total de los desechos generados por las actividades de exploración y producción de hidrocarburos.

Las arenas de producción proceden de la propia formación productora y son arrastradas por los fluidos en su ingreso al pozo. Mayormente, las formaciones más jóvenes y poco profunda aportan una mayor fracción de arena debido a que su poca consolidación facilita su arrastre por los fluidos, dado el diferencial de presión que se forma en las cercanías del pozo que provoca a su vez, el fraccionamiento de la roca poco consolidada. Las actuales tecnologías permiten el tratamiento de este tipo de material granular, el cual es manejado de manera similar a cortes o ripios de perforación con lodos en base aceite, mediante la separación gravitacional de los contaminantes adheridos a las partículas de arena y una posterior degradación o fractura enzimática de la molécula de hidrocarburos, por medio de los microorganismos presentes en el suelo con los cuales son mezclados, técnica mejor conocida como landfarming (BONNIER *et al*., 1980)[13]. Sin embargo, el landfarming, aunque es una técnica muy utilizada en

[13] BONNIER, P., G. AKOUN., E. CADRON. 1980. Sludge Farming: a Technique for the Disposal of Oily Refinery Wastes Concawe. pp.151.

Venezuela, requiere de importantes espacios o áreas en tierra para realizar la mezcla de arenas contaminadas con suelo autóctono.

No obstante, ya se ha mencionado la limitación de espacios en las plataformas de producción emplazadas en áreas remotas, limitación que es más severa cuando éstas son además marinas. Dada la importancia del sistema Estuarino y deltáico, resulta imperante establecer una solución de ingeniería para el manejo de las corrientes de desecho sólidas que supere este tipo de limitantes, y evite así el transporte de estas corrientes potencialmente contaminantes y que, accidentalmente o inconscientemente, pueden terminar en los caños y cuerpos de agua de estas zonas.

Hasta los momentos, las tecnologías de tratamiento de arenas y cortes de perforación en tierra han reflejado resultados favorables, ¿Porqué no aplicar una alternativa económica y sencilla para tratar in situ las arenas de producción? ¿Podría desarrollarse equipos de limpieza de arena de bajo requerimiento en espacio y suministro energía, livianos, y de bajo costo, que puedan ser emplazados en las plataformas de producción y/o perforación en áreas remotas y/o marinas? ¿Cuáles serían los elementos a considerar para el diseño de este sistema de tratamiento de arenas, y la calidad final de éstas, para que al ingresar al medio marino se genere un mínimo de afectación al hábitat?.

En el contexto de los planteamientos precedentes, la presente investigación contempla un estudio dirigido al análisis de las alternativas de tratamientos en sitio de arenas de producción y opciones de disposición una vez tratadas, y de los factores a considerar para un diseño adecuado de estos sistemas ajustado a las características de tan especiales áreas. Básicamente, se hace énfasis en el análisis de los efectos ambientales de una descarga accidental de arenas de producción desde plataformas petroleras, o embarcaciones de transporte, a aguas estuarinas y las posibles alternativas de solución de ingeniería para tratamiento en sitio, comparadas con los procedimientos actuales llevados a cabo en el campo Pedernales.

1.2. Objetivos

Objetivo General: Análisis de alternativas de tratamiento in situ de arenas de producción en plataformas petroleras localizadas en el Delta del Orinoco – Campo Pedernales, y opciones de disposición final.

Objetivos Específicos:

1. Caracterización de las arenas de producción del campo Pedernales
2. Identificación de los efectos de las descargas accidentales de arenas de producción sobre los ecosistemas marino-deltáicos
3. Pronóstico de la tendencia de comportamiento en las tasas de generación de arenas de producción, con respecto a la producción acumulada de hidrocarburos en el tiempo de vida económicamente productiva del campo Pedernales
4. Diagnostico de la situación actual de los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición de las arenas de producción del campo Pedernales
5. Evaluación de tecnologías disponibles aplicables al tratamiento de arenas de producción
6. Análisis de las posibles soluciones de manejo de las arenas de producción en las plataformas petroleras del campo Pedernales, como alternativas de tratamiento en sitio, para la reducción de las características de peligrosidad de las arenas de producción
7. Selección de las mejores alternativas de tratamiento aplicables en el campo Pedernales
8. Determinación de los parámetros de calidad de las arenas de producción tratadas con la alternativa seleccionada
9. Análisis de opciones de disposición final de la arena tratada
10. Evaluación económica y ambiental del tratamiento propuesto

1.3. Alcances

Esta investigación abarca el análisis de tratamientos para las arenas de producción, como única corriente de desecho a ser estudiada y analizada. Estas arenas son generadas en las instalaciones de Exploración y Producción del campo Pedernales, y están asociadas básicamente a fragmentos de roca de las formaciones productoras arrastrados hasta la superficie por los fluidos de producción. Los sólidos sedimentados en tanques, separadores y líneas de flujo de las instalaciones de producción de la plataforma también pueden ser incluidos en estas corrientes por presentar características similares. Otras corrientes de desechos sólidos con alto contenido de arenas, como el caso de los workover o las que no sean generada en instalaciones de Exploración y Producción (caso de instalaciones de transporte, almacenamiento, refinación, etc.), no están incluida en la investigación y las conclusiones de ésta no les podrán ser extrapoladas, visto que químicamente existen diferencias importantes causadas por la deposición de otros compuestos en los sólidos sedimentables.

De la misma forma, la investigación cubre solo las instalaciones de exploración y producción de hidrocarburos en el área del Delta del Orinoco, específicamente en el campo Pedernales, campo petrolero más antiguo en explotación en estas áreas estuarinas Venezolanas.

Por otra parte, cualquier recomendación o análisis efectuado en cuanto a la descarga de las arenas al medio marino y sus efectos ambientales en el campo Pedernales, no debe ser extrapolada a otros medios o hábitat acuáticos, puesto que cada uno de ellos posee características físicas, químicas y biológicas particulares que están asociadas a su dinámica fluvial y sedimentaria.

1.4. Propósito e Importancia

Dada la problemática planteada en las zonas deltaícas, como áreas de alto interés ecológico, soluciones técnicas aplicables al manejo de los desechos sólidos peligrosos que ingresan a las aguas marino-deltanas, implican una mejora de la calidad de vida de los pobladores de estas zonas, puesto que utilizan el recurso agua para consumo,

transporte, fuente de alimentos, recreación, aseo personal, entre otros. Sin embargo, el mayor interés de las ciencias ambientales está dirigido a la preservación de estos ecosistemas de tan alto valor ecológico y económico. De manera que entre los aportes más importantes de la investigación se tienen:

- Aporte práctico a la industria petrolera, al evaluar y proponer técnicas ambiental y económicamente aplicables para el tratamientos en sitio de las arenas de producción y su disposición en zonas acuáticas
- Presentación de alternativas para preservar áreas de alto valor ecológico, asiento de múltiples actividades económicas, y garantizar de esa forma el desarrollo sustentable de la región deltana
- Levantamiento de información específica de la generación y manejo de las arenas de producción, así como el diagnostico actualizado del comportamiento ecológico de sectores accidentalmente receptores de estas corrientes, manteniendo actualizada data e información necesaria para ajustar los planes de desarrollo, el ordenamiento territorial, la gestión ambiental, etc.
- Propuesta de un material mineral no metálico que pudiese ser utilizado como materia prima en proyectos de construcción que se adelantan en la región (p.e. las arenas de producción tratadas pueden ser utilizadas como material de cobertura de un posible relleno sanitario en los centros Pedernales y Capure, material de relleno para construcción de carreteras en los mismos centros, etc.)
- Mejoramiento de las condiciones operacionales y de riesgo del personal de las plataformas petroleras, embarcaciones de transporte y puntos de embarque y desembarque
- Minimización de los riesgos y efectos ambientales de las posibles descargas accidentales de arenas de producción en aguas marino-deltanas
- Propone mejoras a los procedimientos actuales de manejo y disposición de arenas de producción en plataformas petroleras marinas

CAPITULO II: Marco Teórico Referencial

2.1. Antecedentes de la Investigación

La importancia que tienen los ecosistemas deltanos como principales albergadores de fuentes de recursos, ha requerido el desarrollo de restricciones ambientales y técnicas normadas que intentan controlar las actividades de las infraestructuras asociadas a riesgos de contaminación. Por tanto, conceptualmente desde el punto de vista técnico y legal, no es posible el desarrollo de infraestructuras de procesamiento de desechos sólidos en tan especiales zonas. En consecuencia, marcos referenciales y antecedentes explícitos a esta investigación son relativamente escasos. A continuación se presentan algunos de investigaciones previas que tocan el tema.

Titulo:

Gerencia de Manejos de Desechos de Exploración y Producción en el Delta del Orinoco. (E&P Waste Management in the Orinoco Delta).

Autor:

A.E. Melchor y Da Costa, BP Exploration of Venezuela, y C. Rodríguez; J.C.J.R. Peña, Deltalog. SPE Paper Number 66577, Texas 2001.

Objetivo:

Demostrar que áreas ambiental y socialmente sensibles pueden ser operadas por instalaciones petroleras sin generar cambios en el estilo de vida de los asentamientos poblados mientras se preserva el ambiente. Toman como ejemplo las operaciones de British Petroleum Venezuela en el campo Pedernales.

Conclusiones:

Durante las operaciones de British Petroleum Venezuela en el campo Pedernales, alrededor de 2,5 millones de barriles de corrientes de descarga procedentes de las operaciones de Exploración y Producción (1995-2000) fueron recolectadas y tratadas, dispuestas o recicladas en un complejo y sensible ambiente sin causar derrames

superiores a 2 barriles en las áreas de operación, y sin amonestación de entidades gubernamentales de regulación ni de las comunidades vecinas.

Esta operación fue un ejemplo de actividades de explotación de hidrocarburos ejecutadas en ambientes de severas restricciones, e investigación de soluciones innovadoras que sobreponen esas dificultades. El manejo de las corrientes de desecho y su disposición final, ejecutado por British Petroleum en el campo Pedernales es una prueba de intervenciones sin causar daños al ambiente y manteniendo una relación de mutuo beneficio con las comunidades influenciadas.

El Campo Pedernales fue diseñado como una operación de cero descarga por parte de British Petroleum, donde las principales corrientes de descarga serían re-inyectadas. No obstante, debido a restricciones operacionales, la estrategia inicial de manejo sufrió importantes cambios hacia otra estrategia de disposición ambientalmente segura. Reciclaje, bio-tratamiento, y tratamiento temporal en sitio y disposición final en tierra fueron las claves del manejo de los desechos.

Titulo:

Comparación del Proceso de Biodegradación de Lodos Petrolizados en Bio-reactores y en Suelos.

Autor:

Carmen Infante y Otilio Gonzáles. Gerencia de Investigaciones Ecológicas y Ambientales, Intevep, S.A. Revista Visión Tecnológica Vol. 3, 1995.

Objetivo:

Comparar la eficiencia de las técnicas de biodegradación con respecto a la remoción de crudos saturados y aromáticos de los suelos naturales frente a la ejecutada en reactores.

Conclusiones:

La eficiencia del proceso de biodegradación varía según la modalidad que se aplique. Los resultados demostraron que la tasa de biodegradación se duplica en un tratamiento en reactor, lo que hace el proceso más eficiente que un tratamiento en

suelo, ya que controla las variables abióticas-nutrientes, temperatura, aireación/agitación y dilución del lodo que inciden sobre el proceso.

La biodegradación es un proceso factible de aplicar para la detoxificación de lodos petrolizados. La disminución de las fracciones de aromáticos y saturados (componentes tóxicos) es un indicativo de la reducción del contaminante orgánico de interés, y la producción de CO_2, una medida de la transformación de estas fracciones en productos no tóxicos.

La presencia de la microflora en el suelo, con potencial para degradar las fracciones tóxicas en el lodo, favorece la aplicación de la técnica, ya que se reducen los gastos asociados a la preparación/adición de inóculos al campo, así como los riesgos ecológicos por introducir otros microorganismos no autóctonos. Esta flora autóctona puede ser estimulada o activada mejorando los factores abióticos que regulan los procesos de biodegradación.

Titulo:

Aspectos Ambientales del Uso y Disposición de Fluidos de Perforación No-Acuosos Asociados con las Operaciones de Producción de Crudo y Gas en Costa Afuera.
(Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations).

Autor:

International Association of Oil & Gas Producers. Report N°.342, Mayo 2003.

Objetivo:

Desarrollo de nuevos y sofisticados fluidos de perforación no-acuosos que permiten obtener un alto rendimiento en la perforación y aseguran una operación ambientalmente segura.

Conclusiones:

Las descargas directas al medio marino de los cortes de perforación generados por las operaciones desarrolladas con fluidos no-acuosos, aparentan ser una opción viable en muchos ambientes acuáticos. Los trabajos desarrollados para implementar nuevas

tecnologías para tratamientos de cortes de perforación, se basan en la reducción del contenido de fluidos en los cortes, previo a sus descargas. Las investigaciones continúan desarrollando un amplio rango de soluciones para el tratamiento y disposición.

Las descargas de los cortes de perforación con estos nuevos fluidos no acuosos, resultaron en una mínima zona impactada en el fondo marino, y las comunidades biológicas se recuperaron rápidamente. En general, el mayor potencial de impacto de estas descargas ocurrirá en los sedimentos y comunidades bentónicas. Los riesgos de impacto en la columna de agua son bajos debido al corto tiempo de residencia de los cortes, su baja solubilidad en agua y su bajo contenido de aromáticos. En muchos ambientes marinos, el fondo y sus sedimentos ya poseen una condición anóxica, por lo que la descarga de los cortes tiene un muy bajo efecto.

El grado y duración de una afectación causada por la descarga de los cortes de perforación desarrollados con estos fluidos, dependerá del espesor de la deposición, del estado original del sedimento y de las condiciones locales del medio. En algunos ambientes, los cortes pueden ser resuspendidos eliminando cualquier acumulación de sustancias en el fondo. El espesor inicial de la deposición dependerá de la cantidad de material descargado, profundidad del agua, profundidad de la descarga, la dirección y fuerza de las corrientes en el área y la tasa a la cual los cortes ingresan a la columna de agua.

Titulo:

Exención de los Residuos de Exploración y Producción de Petróleo Crudo y Gas Natural de los Reglamentos Federales de Residuos Peligrosos.
Exemption of Oil and Gas Exploration and Production Wastes from Federal Hazardous Waste Regulations.

Autor:

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Oficina de los Residuos Sólidos, Diciembre 2003.

Objetivo:

Entendimiento de la exención de ciertos residuos de la exploración y producción (E&P) de petróleo y gas de reglamentación como residuos peligrosos bajo el subtítulo C de la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA)

Conclusiones:

En diciembre de 1978, la EPA propuso estándares para el manejo de residuos peligrosos que incluyeron requisitos mínimos para varios tipos de residuos de gran volumen. En general, la EPA cree que estos residuos especiales de gran volumen tienen menos toxicidad que otros residuos que son regulados como peligrosos bajo la RCRA. Por consiguiente, el Congreso exoneró estos residuos de los reglamentos de residuos peligrosos del subtitulo C de la RCRA, dependiendo de un estudio y de una determinación regulada por la EPA. Sin embargo, aunque los residuos están dispensados de reglamentación como residuos peligrosos, la exención no significa que estos residuos no presenten peligros a la salud humana y al medio ambiente si se manejan desapropiadamente, por lo que no quedan excluidos de ser regulados bajo reglamentos estadales u otros reglamentos federales. Entre estas exenciones están cortes de perforación; sedimentos, agua y otras sustancias básicas en el fondo de los tanques de las instalaciones de almacenamiento; materiales acumulados como los hidrocarburos, los sólidos, las arenas y las emulsiones de los separadores de producción, y los recipientes de tratamiento de líquidos; arenas producidas entre otros.

Titulo:

Trabajo Especial de Grado: “Desarrollo de un Proceso de Tratamiento para las Arenas Asociadas a la Producción de Petróleo”.

Autor:

Hermoso Paiva Jennifer Milagros, Universidad Central de Venezuela, Junio 2003.

Objetivo:

Desarrollo de un proceso de tratamiento de limpieza, técnico, económico y ambientalmente factible, para las arenas asociadas a la producción de petróleo, en el área del Delta del Orinoco.

Conclusiones:

Las tecnologías de lavado de arenas, a nivel de laboratorio, son mayormente factibles técnica, económica y ambientalmente. Los resultados de laboratorio revelan que, a ciertas condiciones de presión y concentración de enzimas, las arenas de producción pueden alcanzar las características para ser esparcidas en suelos conforme a los requerimientos establecidos en el Decreto 2635 de la Normativa Ambiental Venezolana. Lo más conveniente es el tratamiento en sitio de forma inmediata para reducir el contenido de hidrocarburos al mínimo posible.

2.2. Aspectos Teóricos

El crudo es una mezcla de muchos compuestos de hidrocarburos que deben ser procesados para producir la amplia gama de productos que demanda el mercado (gasolina, diesel, jet fuel, ceras, asfaltos, plásticos, fertilizantes, químicos, etc.). Mayormente, se encuentra en el subsuelo, entrampado por ciertas formaciones que siguen un patrón establecido por la geología y la génesis de los suelos en sus diferentes etapas.

Cuando el crudo se extrae del subsuelo hasta la superficie, trae consigo una mezcla de gas natural y otros fluidos de producción constituidos básicamente por agua salada, sólidos disueltos y suspendidos. El gas natural asociado, mayormente, es separado en sitio y enviado por tuberías a la red de comercialización de gas, o en su defecto es reutilizado como combustible para las operaciones, o re-inyectado a la formación o, en el peor de los casos, tratado como una corriente de desecho y quemado. El agua y los sólidos también son separados, pero no siempre en sitio. Los tratamientos de separación en la fase primaria de procesamiento del crudo (exploración y producción) son, mayormente, procesos físicos basados en la diferencia de densidades entre los componentes a ser separados. Al final de los procesos se entrega un crudo con, al menos, 98% libre de impurezas antes de ser preparado para almacenamiento y embarque para su entrega a las refinerías.

Cada una de las corrientes no comercializables separadas del fluido de producción debe ser tratadas y adecuadamente dispuestas, según se establece en la normativa

ambiental venezolana. Existe una serie de tratamientos que son aplicados a las corrientes de descarga según sus características y niveles de peligrosidad, así como los volúmenes o tasa de generación que deberán ser manipulados. La API (American Petroleum Institute) efectuó un levantamiento de los diferentes tipos de tratamientos aplicados y la frecuencia o popularidad de los mismos (Cuadro 2).

CUADRO 2. Técnicas de Manejo de Desechos de Producción

Técnica de manejo	Porcentaje
Inyección en subsuelo	58%
Facilidades Comerciales-Empresas Manejadoras	9%
Evaporación	8%
Reciclaje	8%
Facilidades Municipales	4%
Esparcimiento en suelos	4%
Construcción de vialidades	3%
Empresas recuperadoras de crudo	2%
Incineración	2%
Otros (incluye rellenos de seguridad)	3%

Fuente: API 1997. Data de levantamiento de Campo EE.UU.

La relación volumétrica desecho/producto en las instalaciones de producción de la industria petrolera es muy variada, considerando que existe una fuerte dependencia entre la cantidad de corriente, el tipo de yacimiento y crudo a producir y el tiempo de explotación del yacimiento. Existen pozos donde la producción de agua de formación representa el 90% de la producción total y sigue incrementando a medida que se sigue aprovechando el yacimiento.

Por su parte, las arenas de producción pueden alcanzar una relación del 0,05% del volumen total de los fluidos, sin embargo representan el 21% del volumen total de desechos generados por la industria, sin tomar en cuenta otra buena parte que está incluida en los desechos de operaciones a pozos (workover). Estas arenas pueden alcanzar hasta un 5% de contenido en peso de hidrocarburos, y hasta 4% de los hidrocarburos totales luego de ser extraídas de los sistemas de separación, de allí su potencial de contaminación.

Para el caso de Venezuela, la data de generación de desechos de la industria petrolera no es pública ni de fácil acceso, sin embargo el promedio de los valores registrados en informes ambientales por parte de las operadoras, y extrapolando para la producción promedio anual resulta en 25 000 toneladas/año de desechos contaminados con hidrocarburos en operaciones de producción (no incluye emisiones y/o corrientes de descarga en estado gaseoso).

2.2.1. Las Arenas de Producción en Pedernales

En el área del Delta del Orinoco, el campo Pedernales es el más antiguo. Su inicio de explotación data de los años 30 con la Compañía Standard Oil de Venezuela (Creole Petroleum Corporation) quien descubre el campo en 1935. Por sus características geológicas, las formaciones que contienen las reservas de hidrocarburos explotadas y por explotar son rocas poco consolidadas y poco profundas de edad geológica joven (Cenozoico - Mioceno Tardío), que por tales características son arrastradas fácilmente a la superficie junto con los fluidos de perforación cuando se genera un diferencial de presión (presión del yacimiento vs presión de fondo fluyente del pozo) en los alrededores del hoyo.

Los yacimientos del campo Pedernales son esencialmente reconocidos en la Formación La Pica, sucesión dominada por clásticos y compuesta por arcillolitas con intercalaciones de arenisca. Incluye sedimentos del tope del Delta, plataforma (incluyendo las facies pro-delta) y de pendiente de agua profunda.

La formación La Pica ha sido subdividida en cuatro miembros (de tope a base):

- Miembro Cotorra
- Miembro Pedernales
- Miembro Amacuro Superior
- Miembro Amacuro Inferior.

El Yacimiento de Pedernales comprende una arenisca proveniente de un tope de Delta o frente de Delta, depositada dentro de una fase de progradación hacia el Este del delta del Paleo-Orinoco.

El miembro Pedernales (miembro productor) está definido como una sucesión dominada por arenisca con intercalaciones de arcillolitas de tope de delta y de plataforma interna.

El análisis de las facies sedimentarias permite identificar la distribución de canales distributarios, barras de desembocaduras, abanicos de rotura y zonas de bahías interdistributarios, así como también sus relaciones como cuerpos aislados o de conectividad lateral y vertical. De manera que, las arenas de producción que se obtienen en superficie proceden de estos canales distributarios que se formaron en las distintas edades geológicas del delta.



FIGURA 5. Muestra de Arena de Producción del Campo Pedernales

En superficie, estas arenas lucen de granulometría uniforme, puntas redondeadas y de tamaño un poco menor al grano de arena de playa (Figura 5).

2.2.2. Alternativas de Manejo de las Arenas de Producción

2.2.2.1 Opciones Primarias para la Disposición

Las opciones primarias para la disposición de arenas de producción generadas en plataformas marinas son:

a) Descarga al medio marino: las arenas son descargadas al medio marino después de ser sometidas a un tratamiento con equipos de lavado y separación.

b) Re-inyección al subsuelo marino: en donde las arenas son mezcladas con fluidos líquidos, para formar lechadas que luego son inyectadas a alta presión a formaciones del subsuelo no aprovechables (sin afectar las zonas de reservas de crudo o de aguas subterráneas).

c) Disposición en tierra: las arenas son recolectadas y transportadas a tierra para su tratamiento (desorción térmica, landfarming, incineración, etc.) y disposición final en rellenos, o esparcimiento en suelos, o inyección en el subsuelo, etc.

En cada una de las opciones anteriores hay una variedad de alternativas. La descarga directa al medio marino no es una práctica ambientalmente aceptable y está particularmente prohibida, y en especial en las áreas protegidas. Si las opciones de descarga o re-inyección no pueden ser aplicadas, las arenas deben ser tratadas y dispuestas en tierra de manera adecuada.

En la toma de decisiones para definir la disposición final de las arenas de producción, se debe considerar no solo el potencial impacto sobre el ambiente de la alternativa, sino también el potencial impacto sobre los costos y las implicaciones operacionales que ella conlleva (uso de otros recursos, emisiones atmosféricas, transporte y riesgos de manejo, peligros ocupacionales y exposición química). Todo estos factores son parte de un marco comparativo entre las relaciones ambientales, operacionales y económicas (costo beneficio) a ser evaluadas (Cuadro 3).

CUADRO 3. Parámetros de Evaluación entre las Opciones de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción en Plataformas Marinas

Económicos	Operacionales	Ambientales
▪ Costos generales inmediatos ▪ Costos unitarios ($/m^3 a disponer) ▪ Costos de energía ▪ Costos de mantenimiento ▪ Costos de mano de obra ▪ Costo de equipos ▪ Costos de transporte ▪ Costos de disposición de productos finales ▪ Costos de responsabilidades futuras	▪ Seguridad ▪ Salud ocupacional / exposición ▪ Tasas de procesamiento ▪ Confiabilidad del proceso ▪ Tamaño y movilidad de las unidades ▪ Espacio disponible ▪ Requerimientos de energía ▪ Condiciones de los productos finales ▪ Procesamiento ▪ Condiciones climáticas ▪ Métodos de disposición final ▪ Disponibilidad de instalaciones e infraestructura apropiadas	▪ Emisiones atmosféricas de las operaciones soporte ▪ Requerimientos de energía ▪ Reducción en el volumen del desecho ▪ Cumplimiento de las regulaciones ▪ Evaluación física del ambiente receptor ▪ Especies marinas potencialmente afectadas ▪ Estrés ecológico potencial ▪ Niveles de remoción de los hidrocarburos ▪ Aspectos ambientales de los ecosistemas en tierra (incluye potencial impacto en aguas subterráneas y aguas superficiales)

a) Descargas al medio marino

La descarga al medo marino es la opción técnica, operacional y económicamente preferida debido a su sencillez, puesto que las arenas de producción son descargadas, luego de un previo tratamiento, al medio marino local. Sin embargo, el componente

ambiental no la favorece, ya que se tiene que considerar los requerimientos establecidos en las regulaciones ambientales aplicables para cada zona marina en particular. No obstante, existe referencia para los cortes de perforación en base agua de pozos desarrollados en medios acuáticos, cuyas descargas al medio marino han sido permitidas en múltiples ocasiones, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones y limitaciones (niveles de concentración de los elementos contaminantes y características marino-ecológicas de las zonas donde la descarga ha sido permitida).

Técnicamente, esta opción es operacionalmente la más sencilla y puede no requerir equipos adicionales que no sean los convencionales que se tienen en la misma plataforma. Específicamente, una vez que las arenas han sido desalojadas de los equipos de separación, tuberías, tanques y fondos de pozos, un tratamiento secundario les da las características finales de composición para poder ser descargadas directamente al medio marino. Las arenas “limpias” se mezclan con agua del mar y luego son descargadas al medio a través de una tubería, cuyo extremo se ubica unos metros por debajo de la superficie libre del mar.

Luego de la descarga, las arenas alcanzarán el fondo marino y se acumularán de manera heterogénea. La acumulación dependerá del volumen y de las características de las arenas, así como de las características del medio receptor. Como consecuencia, la concentración de ciertos componentes presentes en la arena se incorporarán en el lecho y columna de agua afectando, posiblemente, la biota béntica.

A nivel mundial, las operaciones de perforación en costa afuera comúnmente descargan los cortes de perforación y lodos a base agua en el medio marino como una práctica rutinaria, excepto en áreas de alta sensibilidad. En el área deltana venezolana ya se ha practicado esta técnica y se está aplicando actualmente en las operaciones de perforación llevadas acabo por PDVSA en el bloque de Plataforma Deltana.

b) Re-inyección al subsuelo marino

Las arenas pueden ser inyectadas a formaciones geológicas del subsuelo usando las mismas plataformas de producción (Figura 6). Esta opción considera que las arenas deben ser pasadas por una criba que garantice tamaños adecuados para la inyección

(moler si fuera necesario), y luego mezclarlas con fluidos para formar una lechada de suspensión estable, que es bombeada a altas presiones en las formaciones geológicas a través de pozos de disposición. En esta opción deben ser considerados los problemas operacionales potenciales, causados mayormente por taponamiento o baja receptividad de las formaciones receptoras.



FIGURA 6. Re-inyección de Arenas de Producción en Plataforma Marinas

Operacionalmente, esta opción requiere de un sistema de recolección y transporte de las arenas al pozo inyector, unidades de cribado y molienda, bombas centrífugas para mezclar las arenas con los fluidos de la lechada, tanques de almacenamiento de la lechada, y bombas de alta presión para inyectar sólidos a la formación.

Aunque ambientalmente, esta opción parece más favorable que la anterior al no permitir el contacto de las arenas con el medio marino y su lecho, deben sopesarse los costos ambientales asociados el incremento del uso de combustible y de emisiones atmosféricas (bombas de inyección y sistema de generación de energía para cribas, molinos, mezcladores, etc.).

c) Manejo y Disposición en Tierra

Esta opción considera que las arenas de producción generadas en las plataformas sean almacenadas temporalmente y luego transportadas a tierra para su tratamiento y disposición. Entre las opciones de disposición final se tienen:

- Tratamientos previos de reducción de contenido de hidrocarburos (compostaje, incineración, desorción térmica, etc.) seguidos de un esparcimiento en suelo o disposición en rellenos (landfarming o landfilling)
- Reuso como material de construcción

- Disposición sin tratamiento previo en rellenos (si el contenido de aceite se encuentra por debajo de lo establecido en las regulaciones)
- Biodegradación o landfarming
- Inyección en formaciones geológicas del subsuelo

2.2.2.2 Tecnologías para el Tratamiento de las Arenas

Las tecnologías que existen para tratar las arenas son diversas: incineración, desorción térmica, solidificación/estabilización, extracción con solvente, biodegradación, etc. La selección o identificación de la mejor opción tecnológica, depende de un conjunto de factores como: tipo de desecho, en función de sus características físico químicas, volumen a manejar, costos y condiciones del área. Un mismo desecho, como por ejemplo ripios de perforación base aceite, puede ser tratado con diferentes tecnologías desde el punto de vista técnico, sin embargo los costos, área de disposición y la tasa de generación puede definir la selección de una en particular (Infante, 2001)[14]:

- **Incineración**[15]

La incineración consiste, básicamente, en poner en contacto directo las arenas con gases de combustión para permitir la oxidación de los hidrocarburos o la transformación completa de la materia orgánica por oxidación térmica. Los componentes orgánicos oxidados se transforman en CO_2, vapor de agua, dióxido de azufre, oxido nítrico y cenizas. Durante este proceso es necesario el acoplamiento de equipos de control de emisiones atmosféricas, tanto de material particulado como de contaminantes gaseosos, especialmente los compuestos de nitrógeno (NO_x) y de azufre (SO_x), antes de ventear la fase gaseosa a la atmósfera. Así mismo, durante la incineración no se destruyen los metales sino que estos se concentran en las cenizas o fase sólida, por lo que éstas pueden requerir estabilización u otro tratamiento posterior para prevenir lixiviaciones en los suelos donde se disponga.

Es una alternativa técnicamente viable, eficiente, segura y de reducido impacto ambiental, para el tratamiento de los residuos sólidos contaminados. Se debe efectuar

[14] Infante C,. "Tecnología para el Manejo de Desechos Sólidos". PDVSA Intevep, 2001.
[15] Basado en: Sellers, K. "Fundamentals of hazardous waste site remediation". Lewis Publishers, 1999.

un análisis teórico del proceso de combustión de los residuos y de los aspectos operativos de los incineradores, para determinar si efectivamente se obtiene la destrucción del desecho en 99.9% de eficiencia, como lo exige la regulación ambiental.

Los parámetros operativos claves en la incineración son la temperatura, el tiempo de residencia de residuos en la etapa de combustión y la turbulencia. Requerimientos cuantitativos de los rangos operativos para estos parámetros son necesarios para una destrucción eficaz de los elementos contaminados.

Durante la quema inadecuada, temperaturas relativamente bajas, pueden formarse dioxinas colateralmente (las dioxinas se forman entre 250^{o} y 450^{o} centígrados), debido a la presencia de materia orgánica y sal.

Para obviar la formación de dioxinas en los procesos de combustión debe efectuarse la incineración de los residuos en instalaciones modernas, debidamente equipadas, cuyo proceso observe la regla de las tres T:

- ✓ Temperatura mínima de combustión alrededor de 850^{o}C.
- ✓ Tiempo de residencia mínimo de 2 segundos de los gases de combustión a esta temperatura.
- ✓ Turbulencia en exceso de oxígeno para asegurar la combustión completa.

En el Cuadro 4, se muestran las principales ventajas y desventajas de esta tecnología.

CUADRO 4. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Incineración

Ventajas	Desventajas
▪ Procesa mayor volumen de desecho por unidad de tiempo	▪ Emisión de gases que deben ser controlados
▪ Un desecho puede ser combustible de otro proceso industrial, lo que permite su reciclaje	▪ Generación de cenizas que pueden contener metales, y en consecuencia, requerirían de tratamiento y disposición posterior
▪ Disminuye el volumen del residuo que requiere de disposición posterior	▪ Remoción del desecho del sitio en que se encuentra.
	▪ Costos elevados, en comparación con otros procesos 286-1430 \$/m^3
	▪ Desechos con alto volumen de agua, pueden resultar difícil de incinerar y muy costoso

- **Desorción térmica**[16]

Con esta tecnología, el material contaminado o desecho se somete a temperaturas entre 90 y 650°C, con la finalidad de vaporizar los componentes que poseen un punto de ebullición a esas temperaturas. De esta manera pueden ser separados los sólidos de los componentes orgánicos que son recondensados a una fase líquida, teniendo agua e hidrocarburos. La fase sólida resultante, esencialmente no contendrá hidrocarburos pero puede retener sales y metales pesados. Para que el proceso opere en condiciones óptimas es necesario un bajo contenido de humedad, entre 20 y 35%. A mayor contenido de humedad mayor gasto energético, y por ende, costos más elevados de la tecnología. En el Cuadro 5 se muestran las ventajas y desventajas.

CUADRO 5. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Desorción Térmica

Ventajas	Desventajas
▪ Los compuestos orgánicos vaporizados pueden ser recuperados, siempre que vaporicen a T< 648°C	▪ Es dependiente del contenido de humedad ▪ En desechos con humedad mayor al 35%, se incrementa significativamente el costo
▪ Las unidades de tratamiento son portátiles, pudiéndose transportar hasta el sitio donde son generados los desechos	▪ El desecho debe contener menos del 20% de sólido y, el contenido de compuestos orgánicos en los desechos a tratar no debe exceder el 10%, aunque existen algunos sistemas que operan con concentraciones entre 20 y 30%
▪ Costos en el orden de 59-429 $/m^3, inferiores a incineración	▪ Altos costos de operación
▪ Reconocida por la EPA como una de las mejores tecnologías para el tratamiento de desechos	

- **Solidificación/Estabilización**[17]

Se refiere a los procesos que reducen o disminuyen la movilidad de los contaminantes de un desecho, empleando para ello diversos aditivos químicos cementantes que inmovilizan o retienen los contaminantes en una matriz inerte sólida. El Cuadro 6 muestra ventajas y desventajas.

[16] Basado en: Romero A. Hernández O. "Desorción Térmica. Estado del Arte". Informe Técnico INT-5928,1999.
[17] Basado en: Freeman, H.M., H.M. "Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal". Editor. Mc Graw-Hill Book Company. EE.UU. 1989.

CUADRO 6. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Sodificación/ Estabilización

Ventajas	Desventajas
▪ Facilita la manipulación del desecho	▪ Incrementa el volumen del desecho tratado que debe ser manejado (puede duplicarse en algunos casos)
▪ Aplicable cuando los contaminantes a remover son metales pesados	▪ No aplica cuando el desecho tiene un contenido de compuestos orgánicos mayor del 15-20 %
▪ Acorde a la formulación empleada puede ser utilizado el material en caminerías, carpetas asfálticas, para su reciclaje	▪ Los contaminantes sólo se inmovilizan, por lo que no se elimina su peligrosidad, como ocurre con la biodegradación
▪ Aplicable a contaminantes orgánicos e inorgánicos	▪ Costos superiores a biotratamiento, entre 50-330 $/m^3

- **Extracción con solventes**[18]

La extracción con solventes es una técnica de tratamiento que consiste en usar un solvente (un líquido capaz de disolver otra sustancia) para separar o retirar contaminantes orgánicos peligrosos de lodos residuales, sedimentos o tierra. (El lodo residual es un material parecido al barro que se forma a partir de desechos industriales o cloacales; los sedimentos son fragmentos de rocas y minerales de grano fino que se van depositado en el fondo de una masa de agua, como un río o un lago). La extracción con solventes no destruye los contaminantes, sino que los concentra para que sea más fácil reciclarlos o destruirlos con otra técnica.

Cuando la arena entra en el extractor (tanque donde la arena de producción se mezcla con el solvente), se separa en tres componentes o "fracciones": solvente con contaminantes disueltos, sólidos y agua. Los distintos contaminantes se concentran en fracciones diferentes.

La extracción con solventes puede dar resultado para separar contaminantes orgánicos peligrosos de algunos tipos de lodos residuales, sedimentos y tierra. No reduce la toxicidad de los contaminantes; por consiguiente, el producto final del proceso (los residuos concentrados) debe ser sometido a un tratamiento ulterior o eliminado.

[18] Basado en: Freeman, H.M., H.M. “Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal”. Editor. Mc Graw-Hill Book Company. EE.UU, 1989.

- **Inyección[19]**

Esta técnica contempla la colocación del desecho sólido y agua bajo presiones de fracturamiento dentro de formaciones geológicas a altas profundidades. Una suspensión (slurry) acuosa, bien dispersa, es hecha con el desecho sólido al mezclarlo con agua fresca o de producción, manteniendo una densidad controlada de 1,12 - 1,28 g/cm^3 para luego ser inyectada a altas presiones dentro de formaciones arenosas profundas. La densidad de la lechada, composición, tasa de inyección, período de inyección y otros factores que dependen de la formación, la naturaleza del desecho y la respuesta/evolución de la formación con el tiempo, deben ser considerados. Cuadro 7 muestra ventajas y desventajas.

CUADRO 7. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Inyección por Fracturamiento

Ventajas	Desventajas
▪ Económica, sí el pozo inyector esta cerca de la generación del desecho 50-70 $/m^3	▪ No es una tecnología de tratamiento, sino de disposición. El contaminante se confina a altas profundidades por lo que no se eliminan los mismos
▪ Proceso relativamente rápido comparado con otras tecnologías de tratamiento	▪ Los costos pueden incrementar significativamente si hay que transportar el desecho largas distancias del pozo inyector
	▪ Requiere continuo monitoreo para asegurar la retención del contaminante en la formación receptora

- **Lavado con Agua a Chorro[19]**

El tratamiento de lavado es un método mecánico de extracción y separación del crudo adherido a las arenas, usando únicamente chorro jet de agua a alta presión. El sistema de limpieza puede separar, bajo ciertas condiciones, el crudo de la arena sin el uso de productos químicos. El crudo y el agua se restablecen de nuevo al proceso, y la arena limpia con menos de 1% en peso de crudo puede ser dispuesta (Venezuela Chemicals S.A., 2002)[20] en suelo, de acuerdo al artículo 50 del Decreto 2635. Cuando el suelo que se lava no queda lo bastante limpio, a menudo se utilizan otros químicos y métodos que acaben la limpieza general.

[19]Basado en: Bruno M.S.; R.A. Bilak; M.B. Dusseault and L. Rothenburg. Economic Disposal of Solid Oil Fields Waste Through Slurry Fracture Injection. SPE 29643, 313-320, 1995 EE.UU.
[20] Folleto comercial de Venezuela Chemicals S.A., 2002.

Hay que destacar que los productos químicos absorben los contaminantes de algunos tipos de suelo más que de otros. Por ejemplo, los productos químicos absorben más de los suelos de textura fina, como limo y arcilla, que de textura gruesa como la arena y la grava. El papel del químico en el lavado del suelo es separar el limo y la arcilla de las partículas más gruesas, más limpias. El lavado del suelo puede retirar una variedad de productos químicos, tales como combustibles, metales, y pesticidas, que pueden ser absorbidos por el suelo.

Antes de usar el lavado, el suelo contaminado se tamiza para quitar objetos grandes como rocas. El suelo tamizado se coloca en una máquina llamada unidad despojadora, donde se le agregan agua, y a veces los detergentes. Esto lava el limo y la arcilla del suelo y los separa de la arena. Algo de la contaminación puede disolverse en el agua o subir a la superficie, por lo que el agua contaminada se retira del lavador-despojador y se limpia en una planta de tratamiento para luego ser reutilizada en el proceso.

Aunque todo el hidrocarburo es removido en el agua de lavado, con frecuencia el limo y la arcilla necesitan una limpieza posterior y tratados nuevamente usando otro método como la bioremediación o la desorción térmica. Si la arena y la grava están limpias pueden ser colocadas en el sitio en un área destinada para tal fin. Si la contaminación todavía está presente, se lavan otra vez en la unidad de despojo. La Figura 7 muestra un esquema del proceso.

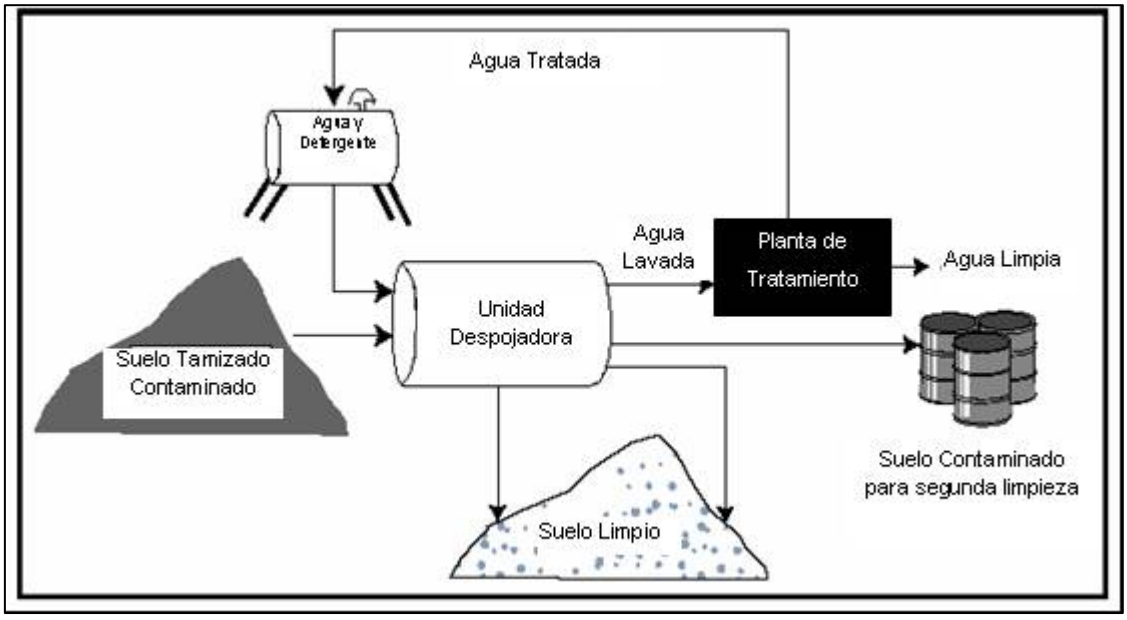


FIGURA 7. Diagrama de Lavado con Agua a Chorro

El lavado del suelo se realiza generalmente en el sitio. Esto evita los riesgos asociados con el acarreo del suelo contaminado hasta una facilidad para la limpieza general. Durante la limpieza general, se debe tener equipo para el control de la contaminación atmosférica y otros problemas potenciales de la contaminación. Aunque los productos químicos raramente van de la unidad despojadora al aire, la EPA recomienda monitorear el aire en el sitio para asegurarse de que los productos químicos no sean descargados a la atmósfera en cantidades que generen riesgos. EPA también analiza el suelo para estar seguro de que éste está limpio antes de que sea dispuesto. Cuando está diseñado correctamente y funcionando, el lavado del suelo es absolutamente seguro.

El tiempo que toma el lavado del suelo depende de varios factores: cantidad de limo y de arcilla en el suelo, tipo y cantidad de contaminación, y tamaño de la unidad despojadora (las unidades más grandes pueden limpiar hasta 100 yardas cúbicas de suelo por día). La limpieza general lleva generalmente semanas, dependiendo del sitio.

La ventaja más grande del lavado del suelo es que reduce la cantidad de suelo que necesita limpieza general adicional (en caso de requerirla). Esta reducción baja el costo de limpieza general y el de disposición del material. Aunque el lavado del suelo puede eliminar muchos tipos de contaminación, puede no ser rentable para bajos niveles de contaminación, o cuando existen grandes cantidades de limo o arcilla. Cuadro 8 muestra ventajas y desventajas de ésta tecnología.

CUADRO 8. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Lavado con Agua

Ventajas	Desventajas
▪ Se pueden quitar muchos tipos de contaminantes	▪ Puede no ser eficiente del todo y requerir de otras tecnologías para eliminar la contaminación
▪ El tiempo del tratamiento es de semanas	▪ No es favorable si el suelo posee grandes cantidades de limo y arcillas
▪ Costos en el orden de 59-250 $/m^3, inferiores a incineración	▪ Altos costos de tratamiento en caso de requerirse otros métodos complementarios
▪ Reconocida por la EPA como tecnología innovadora para el tratamiento de desechos	

- **Surfactante**[21]

El surfactante es una sustancia en baja concentración que absorbida entre la superficie y la interfase disminuye la energía libre de la superficie, alterando drásticamente la tensión superficial, interacción entre una fase condensada y una fase gaseosa, e interfacial, interacción entre dos fases condensadas.

Los surfactantes son compuestos anfifílicos, los cuales poseen una composición molecular hidrofílica e hidrofóbica. La estructura de la parte polar de la molécula puede ser un carbohidrato, un aminoácido, un grupo fosfato o algún otro compuesto.

Los tipos de surfactantes o agentes de superficie de acuerdo a su función y propiedades son:

Aniónico: compuestos orgánicos derivados de ácidos grasos Naturales y Alquilbenceno en general. Sus principales aplicaciones son: los detergentes, jabones grasas lubricantes, inhibidores de corrosión, etc. Químicamente se encuentran los siguientes productos: Alquil sulfatos, alquil/aril sulfonados, ésteres de ácidos fósforicos, alquil éter carboxilados, olefinas sulfonadas y los alquil sufosuccianatos.

No Iónicos: compuestos orgánicos derivados de ácidos grasos naturales. Son compatibles con otros tipos de surfactantes. Son buenos humectantes, emulsionantes y espumantes de baja toxicidad. Químicamente se encuentra en los siguientes productos: aminas etoxiladas, ácidos grasos etoxilados, alcohol graso etoxilado, derivados de azúcares, derivados propoxilados tri-ésteres de ácido fosfórico, entre otros.

Catiónicos: son aminas grasas y sus derivados. No son buenos detergentes y espumantes pero son buenos suavizadores (acondicionador o suavizantes). Se utiliza como emulsionante-dispersante en pinturas, pigmentos y emulsiones asfálticas. Su carga positiva permite absorberse sobre substratos cargados negativamente. Químicamente se encuentran en los siguientes productos: acetato de amina grasa, cuaternarios, cloruro de diesterail amonio, entre otros.

[21] Basado en: Infante C, INTERBIOS ®. Biodegradation Technology for treating organic waste from oil industry operations. Visión Tecnológica, 2000.

Anfóteros: son betainas.

La mayoría de los surfactantes son tensoactivos, es decir, reducen la tensión de las interfases líquido-líquido, la cual es también la energía libre de Gibbs por unidad de área interfacial. Cuando se reduce la tensión es más fácil deformar las interfases y, por lo tanto, formar las burbujas de una espuma o las gotas de emulsión. La tensión es responsable de los efectos capilares, de los fenómenos de adhesión de una plaquita de vidrio sobre otra mojada, de las formaciones de lágrimas de las pinturas en las paredes, etc.

En las interfaces sólido – líquido, el surfactante adsorbido es capaz de producir una monocapa extremadamente fina, que protege la superficie sólida, por ejemplo mediante lubricación del cabello en el enjuague. También el surfactante es susceptible de cambiar la mojabilidad de una superficie respecto a un fluido y por lo tanto de humectar (mojar al agua) o de hidrofobar (lo opuesto.) Estas propiedades son extremadamente importantes en los mecanismos de la detergencia y en la acción de los medicamentos en forma de crema o ungüentos.

Los surfactantes son también agentes estabilizadores de dispersiones, bien sea gas – líquido (espumas), líquido – líquido (emulsiones) o suspensiones sólido – líquido (suspensiones). Las moléculas de surfactantes se adsorben en las interfases de los fragmentos de materia, y cuando se acercan dos fragmentos, producen un efecto de repulsión que puede ser de naturaleza electrostática, estérica o entrópica.

De acuerdo a los usos, los surfactantes se denominan tensoactivos, humectantes, hidrofobantes, espumantes, emulsionantes o dispersantes. Algunos surfactantes, particularmente los que poseen una carga positiva (llamado surfactantes catiónicos) son bactericidas a muy bajas concentraciones y se usa en formulaciones desinfectantes.

La segunda propiedad fundamental de los surfactantes es su capacidad de auto-asociarse en solución, la cual se debe a que en cualquier tipo de solvente, sea polar o no polar, una parte del surfactante tiene afinidad por el solvente mientras que la otra no. En consecuencia, existe una tendencia espontánea en la asociación de las partes no compatibles con el solvente en agregados llamados polímeros de asociación. Los

agregados más simples son de tipo esférico y se llaman micelas, las cuales miden típicamente 5 o 10 nanómetros. Si se trata de un solvente polar se forman micelas normales o directas, las cuales poseen una orientación de la parte no polar hacia adentro y de la parte polar hacia fuera. En un solvente orgánico, la orientación se presenta al revés y se dice que el agregado es una micela inversa. El interior de las micelas directas es una zona de exclusión del agua que es por lo tanto no polar. Es capaz de albergar moléculas de aceite, y por lo tanto de hincharse, en un fenómeno llamado solubilización. Las micelas que contienen sustancias solubilizadas pueden crecer considerablemente y asumir formas bien curiosas como varillas, espaguetis, lámelas. Cuando hay muchas micelas en un sistema, se pueden formar estructuras más complejas como los cristales líquidos, los liposomas o las microemulsiones.

- **Biotratamiento**

La bioremediación es un proceso biológico, en el cual los microorganismos autóctonos (bacterias, hongos, levaduras) transforman las sustancias orgánicas tóxicas presentes en un crudo, aceite de perforación o lodo petrolizado, en presencia de oxígeno suficiente (condiciones aeróbicas), en componentes como CO_2, H_2O y masa microbiana. En ausencia de oxígeno (condiciones anaeróbicas) los contaminantes son metabolizados en metano y masa microbiana.

Este proceso biológico se conoce como biodegradación y está regulado por una serie de factores abióticos, tales como: humedad, pH, oxigenación, disponibilidad de nutrientes, entre otros. Esta tecnología es muy eficiente en los trópicos, dado que las altas y constantes temperaturas, prácticamente durante todo el año, permiten mantener una población microbiana diversa y activa, lo cual se traduce en una alta tasa de biodegradación del hidrocarburo o fracciones de saturados y aromáticos presentes en los desechos orgánicos de la industria petrolera (Hinchee et al, 1994)[22].

La bioremediación “in situ” involucra el tratamiento en el lugar de origen de la contaminación usando la inyección de nutrientes y oxígenos disueltos para bioremediar

[22] Hinchee R., Alleman, B., Hoeppel., Miller R. Hydrocarbon Bioremediation, 1994.

suelos contaminados, dando origen a los productos citados en la Figura Nº 8 (Infante, 2000)[23].

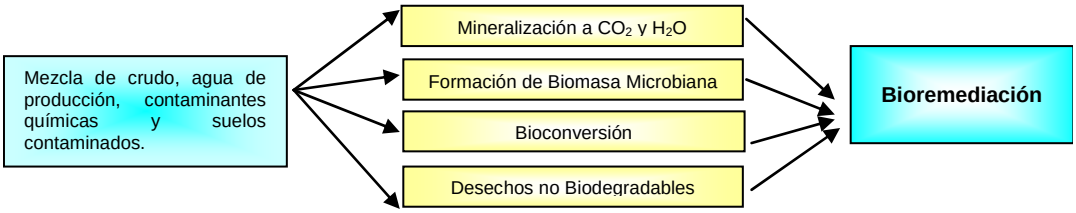


FIGURA 8. Esquema General Técnica de Bio-remediación

Cuando es necesario el transporte a plantas de tratamiento el método es llamado bioremediación ”ex situ” en donde se utilizan comúnmente bio-reactores.

La experiencia señala que la efectividad de este proceso depende estrechamente de las características y las cantidades del residuo petrolizado depositado en el sitio donde se va a emplear el tratamiento, tales como: temperatura, humedad, radiación solar y viento, presencia de microorganismos con capacidad de metabolizar hidrocarburos, pH del suelo, disponibilidad de oxígeno, nutrientes en el extracto superior del suelo, capacidad de retención de agua en el suelo (CRA) y textura en los primeros horizontes del terreno (Hinhee et al, 1994)[24].

Se ha observado experimentalmente que las mayores tasas de bioxidación de residuos de petróleo en el campo son realizadas por las bacterias aeróbicas, lo cual indica la necesidad de mantener aireado los suelos mediante actividad de rastreo, para que de esta forma se vea optimizada la degradación de los hidrocarburos (Infante, 1999)[25].

La cantidad y características de los hidrocarburos representa una de las variables más importantes dentro del proceso de biodegradación, ya que se ha determinado que descargas exageradas de petróleo generan una significativa disminución en el

[23] Infante C, INTERBIOS ®. Biodegradation Technology for treating organic waste from oil industry operations. Vision Tecnológica, 2000.
[24] Hinchee R., Alleman, B., Hoeppel., Miller R. Hydrocarbon Bioremediation, 1994.
[25] Infante C, Romero A., Arrocha A., Gilbert D., Brito F., In Situ Bioremediation of 14 pits of Puerto La Cruz Refinery Fourth International in-situ and on-site bioremediation Symposium. Battelle press, 1999.

intercambio gaseoso de la fase suelo-aire, como consecuencia de la saturación de los espacios porosos en los primeros horizontes superficiales del suelo.

Esta situación crea condiciones de anoxia que dificultan el desarrollo radicular de las plantas, altera la capacidad de infiltración del agua y reduce las comunidades de microorganismos.

La habilidad o capacidad que presentan ciertos microorganismos para utilizar ciertas fracciones presentes en el crudo, como fuente de carbono y energía, no se encuentra restringida a unos pocos géneros, sino comprende diversos grupos como son: bacterias, hongos, levaduras y algas.

Con respecto a los factores climáticos es importante señalar que las altas temperaturas, humedad y la fuerte radiación solar son condiciones favorables para que la biota acelere el proceso de metabolización de los hidrocarburos. En referencia al primero, se ha observado que la degradación del petróleo en el suelo puede presentarse en rangos de temperatura que van desde –2 ºC a 30 ºC. Esta situación se debe, básicamente, al incremento en el proceso metabólico de los microorganismos del suelo, su crecimiento poblacional y a la amplitud en la variedad de las especies con capacidad de desdoblar hidrocarburos. (Zobell, 1973)

En el caso particular de la humedad, se señala que la misma es requerida por los microorganismos para cubrir sus necesidades hídricas y nutricionales dentro de su configuración celular. Huddleston y Cresswell (1976) determinaron que el valor de humedad más aconsejable para el proceso de desdoblamiento de residuos de petróleo es, aproximadamente, el 20% del peso total del complejo residuo/suelo. Es decir, que por cada kilo de suelo-crudo, se requiere cerca de 200 gramos de agua.

Como toda actividad biológica, los nutrientes representan una variable clave en el proceso de oxidación microbiana. Entre los más requeridos se encuentran todos aquellos compuestos ligados al nitrógeno, potasio, fósforo, sodio, calcio, zinc, magnesio, hierro, molibdeno, azufre, manganeso, etc. (Jatar, 1990).

Vanloocke (1976) demostró que la aplicación de algunos macronutrientes en forma de fertilizantes podían duplicar la tasa de degradación microbial de los lodos petrolizados, y determinaron en sus mediciones que para suelos sin fertilización, la disminución de hidrocarburos estaba por el orden de 0,25 Kg. de petróleo/m^3 suelo-día.

Atlas (1981) estableció que las bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo en el suelo actúan como factores limitantes en la biodegradación. También observó experimentalmente que las relaciones petróleo / N y petróleo / P no deben excederse de 10/1 y 100/1 respectivamente, ya que se podría aumentar desfavorablemente los niveles de nitratos y fosfatos en las aguas superficiales y subterráneas.

Se ha determinado que rangos de pH entre 6 y 8, así como la presencia de textura con arcillas de alta capacidad de intercambio catiónico, dan al suelo una condición propicia para la degradación de los lodos petrolizados, ya que la mayoría de las bacterias capaces de metabolizar compuestos de hidrocarburos, se desarrollan satisfactoriamente en pH neutro Overcash, 1979).

En el caso de la granulometría, se tiene la experiencia de que las cargas de lodos a aplicar en un área de tratamiento dependen estrechamente de la textura del suelo. En este sentido, se tiene que suelos con altos porcentajes de arcilla pueden recibir mayores cargas de residuos petrolizados, ya que la presencia de este tipo de partículas le confiere al suelo mayor superficie de contacto e intercambio catiónico necesario para adsorber y metabolizar compuestos de hidrocarburos (Overcash, 1979).

En el Cuadro 9 se muestran las ventajas y desventajas de esta tecnología de tratamiento.

CUADRO 9. Ventajas y Desventajas de la Tecnología de Biotratamiento

Ventajas	Desventajas
▪ Proceso natural, reconocido por la EPA, como una de las tecnologías mejor demostrada en campo	▪ Tecnología más lenta, comparada con otras, como incineración, Solidificación/ Estabilización, o desorción térmica
▪ No requiere de maquinarias y/o equipos sofisticados. Aceptada como una de las tecnologías más amigables con el ambiente	▪ Requiere conocimientos específicos para su aplicación efectiva, pues se corre el riesgo, en caso contrario, de diluir, volatilizar o percolar los contaminantes
▪ La velocidad de la reacción de biodegradación es dos a tres veces superior en nuestro país vs. Países templados	▪ No aplica si existen concentraciones de metales por encima de los límites establecidos en el TCLP, por lo que habría que combinarla con otra tecnología
▪ No requiere excavación y transporte del desecho (caso específico de las fosas.) Aplicada bajo diferentes modalidades	
▪ Costos menores que los de otras tecnologías como incineración, desorción térmica, solidificación/ estabilización. En el orden de 30-270 $/m^3	

Dentro del concepto de bio-tratamiento, se corresponden las siguientes prácticas:

Esparcimiento en suelo (Landspreading)

Propone el esparcimiento de las arenas no tratadas en suelos que son mecanizados (labrados) con maquinarias para permitir la mezcla y aireación de las arenas, seguidos de la adición de nutrientes y agua necesarios para estimular la biodegradación natural por efecto de la digestión bacteriana. Los procesos enzimáticos de las bacterias degradadoras de hidrocarburos permiten la ruptura de los enlaces de las cadenas largas y/o complejas generando compuestos más simples (CO y CO_2). Esta técnica esta generalmente limitada a una sola aplicación.

Bioremediación (Landfarming)

Esta técnica es muy similar a la anterior con la diferencia de que el material a tratar puede ser aplicado varias veces en la misma zona. Dependiendo de la ubicación del área de aplicación, puede ser requerido el aislamiento del sector con mantos especiales que confinan el área del resto de los estratos del suelo más profundos. También serán requeridos aspersores o sistemas de riego.

Compostaje

En este proceso, las arenas son mezcladas con materiales a granel y suelo orgánico para mejorar la aireación y el aporte microbial. La mezcla debe ser manipulada periódicamente para incrementar la aireación, adicionando nutrientes y humedad. Como en el landfarming, el proceso primario es la biodegradación. En el compostaje, la mezcla es apilada para promover el calentamiento por adición de calor desde una fuente externa, lo cual acelerará el proceso biodegradable y la volatilización de los compuestos más livianos. El material resultante al final del proceso puede ser dispuesto por landfarming o landspreading. Considerando que a las arenas a tratar se les debe mezclar con material granular y suelos, el volumen final a disponer se incrementará considerablemente, requiriéndose de mayor área de disposición.

Una vez tratadas las arenas pueden ser usadas como material de construcción, material de relleno, material para conformación de vialidades, acondicionadores de suelos, etc. Sin embargo, se deberá remover la mayor cantidad de sales posibles.

- **Rellenos (Landfill)**

En esta opción, las arenas, tratadas y no tratadas, pueden ser dispuestas en un área especial de contención, la cual esta provista con mantos de aislamiento tanto inferior como superior que cubren la totalidad del área de disposición. La habilidad de contención del relleno dependerá de la calidad del diseño de los materiales y mantos aislantes, de las unidades o estratos geológicos subyacentes y del monitoreo efectivo y continuo que detecte cualquier anomalía.

2.2.3. La Contaminación Marina[26]

La contaminación se produce cuando, como consecuencia de la actividad humana, se libera al medio ambiente una sustancia, organismo o energía (por ejemplo, sonido o calor) que produce un efecto adverso sobre los organismos o procesos ambientales de los que éstos dependen.

[26] Marine Pollution in the United States. Pew Oceans Commission, 2002.

La contaminación marina se produce de muchas maneras y proviene de muchas fuentes (Cuadro 10). Algunos contaminantes, en concentración suficiente, son tóxicos para los organismos marinos. Entre otros, los productos químicos que se producen naturalmente y cuya presencia aumenta como consecuencia de las actividades humanas (como los oligoelementos y el petróleo), así como los compuestos que no existían en la naturaleza hasta que fueron fabricados por los seres humanos, tales como los pesticidas o DDT.

Otros contaminantes son perjudiciales, no porque sean tóxicos sino porque estimulan la actividad biológica o alteran el hábitat. Al añadir grandes cantidades de materia orgánica en forma de desagües o desechos, se permite la proliferación de microbios de descomposición que pueden agotar el oxígeno disponible. Los aportes de nutrientes, en especial diversas formas de nitrógeno y fósforo, si bien son responsables por la elevada productividad biológica de muchas aguas costeras, pueden estimular la producción de una cantidad de materia orgánica superior a la que puede asimilar el ecosistema. Como consecuencia, se enturbia el agua, se agota el oxígeno y florecen algas. Los sedimentos de la escorrentía continental o los que se suspenden por efectos de dragado pueden enturbiar el agua y asfixiar los hábitats sensibles de los fondos marinos, como los arrecifes.

La contaminación proviene de descargas directas o de fuentes difusas. Entre las descargas directas están las producidas por las operaciones de naves marítimas y la eliminación de desechos en el mar. Los contaminantes provenientes de fuentes difusas son los que se lanzan a la atmósfera debido a la combustión de combustibles fósiles y desechos, y la escorrentía continental de desechos tóxicos, nutrientes y sedimentos.

- **Descargas de Embarcaciones**

Las operaciones rutinarias de barcos y botes (lo que incluye las descargas de desagües y desechos de procesos industriales, así como la liberación de hidrocarburos de petróleo provenientes de los escapes de los motores y de las aguas de achique y lastre), son fuente de contaminantes que se descargan al océano. La contaminación proveniente de las embarcaciones también puede ser consecuencia de derrames accidentales y de la eliminación de residuos sólidos.

CUADRO 10. Formas de Contaminación Marina

Forma	Fuentes	Efectos y Tendencia
Toxinas (por ejemplo, biocidas, PCB, oligoelmentos)	Aguas servidas industriales y municipales; escorrentía de las explotaciones agrícolas, bosques, áreas urbanas y rellenos sanitarios; erosión de suelos y sedimentos contaminados; naves; deposición atmosférica	Envenenamiento, enfermedades e infertilidad; las toxinas solubles en grasas pueden bio-concentrarse, especialmente en aves y mamíferos, creando un riesgo para la salud humana. Aunque los aportes a las aguas disminuyen, los aportes subsistentes y los sedimentos contaminados de las áreas urbanas e industriales representan una amenaza para los recursos vivientes. (NRC, 1993ª, 2000ª)
Bio-estimulantes (desechos orgánicos, nutrientes de plantas)	Desagües y desechos industriales; escorrentía de explotaciones agrícolas y áreas urbanas; nitrógeno en suspensión aérea proveniente de la combustión de combustibles sólidos	Los desechos orgánicos sobrecargan los hábitats de los lechos y agotan el oxígeno; los aportes de nutrientes estimulan el florecimiento de algas (algunas de las cuales son perjudiciales) reduciendo la transparencia de las aguas, causando la pérdida de pastos marinos y arrecifes coralinos, y alterando las cadenas alimentarias que nutren los recursos pesqueros. Han disminuido los aportes de desechos orgánicos pero han aumentado las cargas de nutrientes (NRC, 1993ª, 2000ª)
Petróleo	Escorrentía y deposición atmosférica de actividades terrestres; operaciones de embarcaciones y buques tanque; derrames accidentales; actividades de producción de gas y petróleo marítimas y costeras; filtraciones naturales	Los hidrocarburos de petróleo pueden afectar los organismos y larvas de los fondos; los derrames pueden afectar las aves, mamíferos y la vida marina cerca de las costas. Aunque la contaminación de las naves, los derrames accidentales y las actividades productivas han disminuido, no ha sido el caso de los aportes difusos por las actividades terrestres (NRC, 1985).
Isótopos radioactivos	Lluvias atmosféricas; actividades industriales y militares	Se sabe poco de sus efectos en la vida marina; la bio-acumulación puede crear riesgos para la salud del hombre cuando hay fuerte contaminación
Sedimentos	Erosión por actividades agrícola, forestal, minera y de construcción; y por desvío de ríos, dragado y minería costeros	Se enturbia el agua y se modifica el hábitat de los lechos; aumenta el aporte de toxinas y nutrientes. La descarga de sedimentos de muchos ríos ha disminuido pero la sedimentación constituye un problema en algunas áreas; la erosión por el desarrollo de las costas y el aumento del nivel de los mares es causa de preocupación para el futuro
Plásticos y otros residuos	Barcos, redes de pesca, contenedores	Las especies marinas quedan atrapadas en ellos o los ingieren; se deterioran las playas, bofedales y hábitats costeros
Calor	Agua de enfriamiento de las plantas de energía e industriales	Muerte de especies sensibles a los cambios de temperatura; migración de otras especies. El riesgo para las especies marinas ha disminuido en comparación a hace 20 años
Ruido	Propulsión de barcos, sonares, investigación sísmica, sonido de baja frecuencia usado en actividades de defensa e investigación	Puede perturbar a los mamíferos marinos y otros organismos que se comunican por sonidos
Patógenos humanos	Desagües, erosión urbana, ganadería, vida silvestre	Plantean riesgos para la salud de los bañistas y consumidores de mariscos. Ha mejorado el saneamiento pero los estándares ahora son más altos (NRC, 1999ª)
Especies foráneas	Agua de barcos y lastre, naves de pesca, acuarios	Desplazan las especies nativas y se introducen nuevas enfermedades; creciente problema a nivel mundial (NRC, 1996)

Fuente: Adaptado de Weber, 1993.

La eliminación marina de aguas con aceites y petróleo es una cuestión que se ha debatido internacionalmente durante los últimos 30 años, y que se encuentra normada

por la Convención Internacional de Prevención de la Contaminación Proveniente de Barcos. Los compartimentos de los buques-tanque generalmente se llenan con agua de mar que sirve de lastre cuando dichos tanques están vacíos. En algunos puertos, como Puerto Valdez, en Alaska, se cuenta con instalaciones de tratamiento de agua de lastre. Aunque las descargas de agua de lastre pueden causar problemas a lo largo de algunas rutas de buques tanque, y son la causa de las manchas de alquitrán que contaminan la superficie en altamar, constituyen un porcentaje relativamente pequeño de la contaminación por petróleo del entorno marino (NRC, 1985). Las emisiones de escapes en el agua provenientes de las embarcaciones más pequeñas puede ser una fuente más significativa de hidrocarburos en las aguas costeras confinadas.

Las emisiones atmosféricas provenientes de los barcos también se consideran ahora como una fuente significativa de contaminación atmosférica global (Corbett y Fischbeck, 1997), a pesar de la cual todavía no son objeto de las mismas normas de protección de la calidad del aire que las plantas de energía y fábricas en tierra firme. Las naves oceánicas son la fuente de aproximadamente 14% de las emisiones atmosféricas de nitrógeno provenientes de combustibles fósiles, y del 16% de las emisiones atmosféricas de azufre por utilización de petróleo (Corbett y Fischbeck, 1997).

Si bien las descargas directas siguen siendo una fuente significativa de contaminantes y nutrientes tóxicos en las aguas costeras, es evidente que la protección del entorno marino de los múltiples efectos negativos de la contaminación requiere un control más eficaz de la escorrentía continental y de la deposición atmosférica, ya que actualmente, son las fuentes principales de los contaminantes más dañinos en muchos ecosistemas costeros.

- **Fuentes Difusas de Contaminación**

En la mayor parte de las regiones costeras de los Estados Unidos, las fuentes difusas de contaminación que incluyen la escorrentía continental y la deposición atmosférica, causan actualmente los principales problemas de calidad de agua (EPA y Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - USDA - 1998).

Las precipitaciones atmosféricas son una fuente difusa importante, hasta ahora no bien entendida, de un cierto número de contaminantes importantes, como el nitrógeno,

plomo, mercurio, y los compuestos órgano-clóricos, como el DDT y PCB. Algunos de estos contaminantes viajan largas distancias antes de caer al océano o a las cuencas que drenan hacia las costas. El transporte atmosférico es el mecanismo principal de contaminación en las regiones oceánicas alejadas de las actividades humanas, tales como los mares polares y los océanos abiertos.

- **Efectos Biológicos**

Los efectos tóxicos, tanto de metales como sub-metales, han sido ampliamente documentados mediante experimentos de laboratorio, pero se cuenta con ejemplos limitados y concretos de sus efectos sobre las poblaciones de organismos marinos (McDowell et al., 1999). En las investigaciones se consideran temas clave como la posibilidad de bio-acumulación de los elementos toxígenos en la vida marina; los efectos de la disrupción de los sistemas inmunológico, endocrino y reproductivo de las poblaciones de organismos; y los efectos sobre las colonias marinas por la exposición crónica a elevadas concentraciones de contaminantes presentes en los sedimentos costeros.

Los organismos pueden acumular en sus tejidos elementos contaminantes procedentes del agua, sedimentos o alimentos. Ello puede dar como consecuencia, concentraciones de contaminantes muy superiores a las que se encuentran en el medio ambiente. El grado de bio-acumulación depende del nivel de exposición y de los mecanismos mediante los cuales el organismo expulsa, almacena o metaboliza el contaminante. Los compuestos como los pesticidas órgano-clóricos o los PCB tienden a acumularse en los tejidos grasos (compuestos lipofílicos), donde pueden permanecer durante largos periodos de tiempo. Los animales de los niveles superiores de la red alimentaria pueden acumular estos compuestos provenientes de sus presas hasta que se saturan los puntos de acumulación de lípidos. Luego, su metabolismo tiene que degradar y expulsar los contaminantes o sus sub-productos metabólicos, algunos de los cuales son mucho más tóxicos que la fórmula original. De esta manera, los compuestos altamente persistentes y bio-acumulantes pueden magnificarse al pasar por la red alimentaria, aunque su efecto tóxico es poco discernible excepto cuando se llega a los niveles tróficos más elevados. Los oligoelementos también pueden bio-acumularse, pero excepto en el caso de los compuestos orgánicos con contenido metálico (por ejemplo, metilmercurio), no se bio-magnifican en los organismos marinos.

Existe gran evidencia que demuestra que los toxígenos pueden alterar los sistemas metabólico, regulatorio e inmunológico de un organismo dado, comprometiendo en último término su supervivencia y reproducción. Por ejemplo, el daño genético, las malformaciones y la reducción del crecimiento y la movilidad, fueron fenómenos que se han observado en los embriones de arenques del Pacífico expuestos a HPA (proveniente de petróleo expuesto al clima) en niveles de apenas 0,7 ppb (Carls et al.; 1999).

Sin embargo, aun no se entiende cabalmente las interacciones sinergísticas, aditivas o antagónicas entre los contaminantes, siendo su evaluación difícil y obstaculizando la predicción de respuestas biológicas basadas, simplemente, en el conocimiento de los tipos y concentraciones de los contaminantes que se encuentran en un área determinada (Yang, 1998).

Es extremadamente difícil determinar el grado en que la contaminación afecta los recursos marinos vivientes, la biodiversidad y los servicios que presta el ecosistema y comparar estos efectos con los de la pesca, modificación del hábitat y el cambio climático global. Se deben aislar los efectos de la contaminación de los efectos de la variabilidad natural y de otras actividades humanas. Más aún, las consecuencias más generales de los efectos no letales o localizados sobre las poblaciones y ecosistemas rara vez son claras. Las consecuencias para la bio-diversidad y la producción de recursos vivientes por los efectos tóxicos localizados o, más aún, los efectos más amplios de la contaminación por nutrientes, son por demás difíciles de cuantificar.

2.2.4. Riesgos en Transporte Marítimo[27]

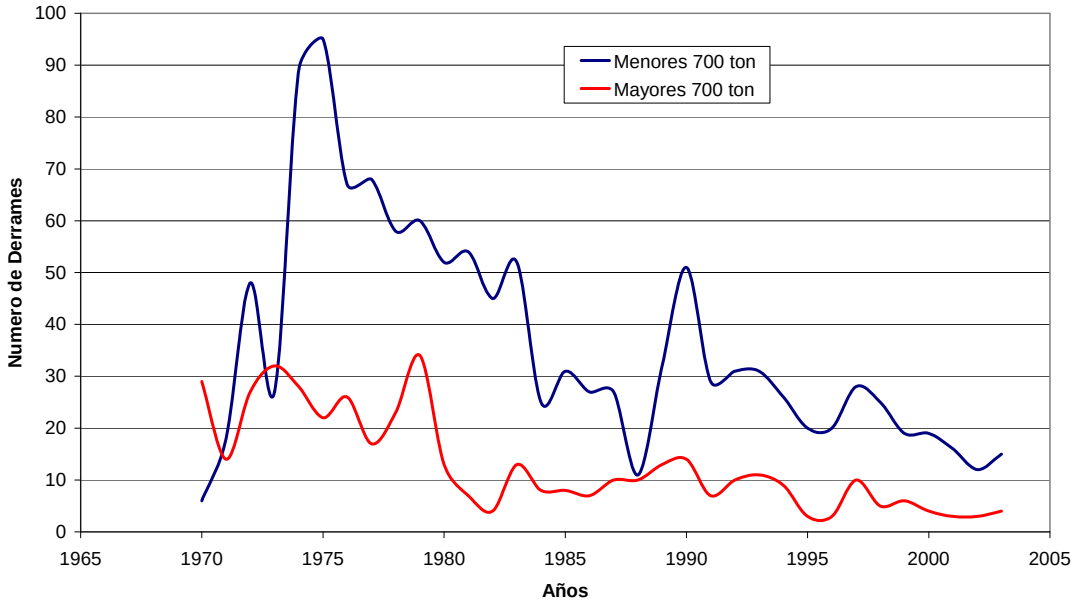
Como ya se hace referencia en el Capitulo I, el transporte marítimo también representa una fuente importante de contaminación marina, visto los riesgos de accidentes a los que se encuentra asociado. Los accidentes marítimos que tienden a ser registrados y comunicados, se refieren a grandes descargas provenientes de tanqueros y supertanqueros. Incidentes marinos de grandes proporciones en derrame

[27] The International Tanker Owners Pollution Federation Ltd. Oil Tanker Spill Statistics, 2003.

de hidrocarburos son relativamente escasos, y un detalle estadístico es escasamente posible, por lo que consecuentemente, lo que se tiene son análisis de la tendencia.

En la Figura 9 se muestra que en los últimos 30 años el número de derrames mayores a las 700 toneladas ha decrecido significativamente. La mayoría de los derrames corresponde a los menores de 700 toneladas, y la información estadísticas de estos incidentes y su cantidad siempre es incompleta. No obstante, en la mayoría de los años registrados, es probable que su contribución sea relativamente baja comparada con las cantidades vertidas por causa de los accidentes de buques tanques.

FIGURA 9. Derrames por Accidentes Marinos en los Últimos Años



Para la década de los 70's el promedio de derrames por accidentes marinos por año era de 25,2; mientras que para los 80's fue 9,3; para los 90's era de 7,8; y lo que va de inicio de siglo el promedio alcanza los 3,5 derrames por año.

El Cuadro 11 muestra los 20 mayores derrames ocurridos por accidentes de transporte marítimo desde 1967. Una parte de ellos no es muy conocida pese al importante volumen derramado, ya que causaron poco o ningún impacto en las líneas de costas. El incidente muy conocido del Exxon Valdez ocupa el puesto número 35, sin embargo es el más sonado.

CUADRO 11. Derrames Mayores de Hidrocarburos por Accidentes de Transporte Marítimo desde 1967

Posición	Embarcación	Año	Ubicación	Volumen derramado (toneladas)
1	Atlantic Empress	1979	Tobago	287 000
2	ABT Summer	1991	700 millas náuticas de Angola	260 000
3	Castillo de Bellver	1983	Bahía de Saldanha, Sudáfrica	252 000
4	Amoco Cádiz	1978	Brittany, Francia	223 000
5	Haven	1991	Génova, Italia	144 000
6	Odyssey	1988	700 millas náuticas de Nueva Escocia, Canadá	132 000
7	Torrey Canyon	1967	Islas Scilly, UK	119 000
8	Sea Star	1972	Golfo de Oman	115 000
9	Irenes Serenade	1980	Bahía Navarino, Grecia	100 000
10	Urquiola	1976	La Coruña, España	100 000
11	Hawaiian Patriot	1977	300 millas náuticas de Honolulu	95 000
12	Independenta	1979	Bosphorus, Turquía	95 000
13	Jakob Maersk	1975	Oporto, Portugal	66 000
14	Braer	1993	Islas Shetland, UK	85 000
15	Khark 5	1989	120 millas náuticas de la Costa Atlántica de Marruecos	80 000
16	Prestige	2002	Costas de España	77 000
17	Aegean Sea	1992	La Coruña, España	74 000
18	Sea Empress	1996	Milford Haven, UK	72 000
19	Katina P.	1992	Maputo, Mozambique	72 000
35	Exxon Valdez	1989	Prince William Sound, Alaska, USA	37 000

Fuente: Oil Tanker SIPI Statistics, 2003. International Tanker Owner Pollution Federation, Ltd.

Casualmente, el derrame de mayores proporciones ha ocurrido en Trinidad, cercano a aguas territoriales Venezolanas y del Delta del Orinoco, mientras que la mayor parte de los accidentes han afectado a aguas del viejo Continente.

La mayoría de los accidentes marítimos es el resultado de una combinación de acciones y circunstancias, todas contribuyendo en diferente grado al evento accidental. Buena parte de los derrames ocurridos por tanqueros resulta de operaciones de rutina como carga, descarga, conexión y transferencia, los cuales normalmente ocurren en puertos o



FIGURA 10. Embarcación de soporte Colisiona con Cabezal de Pozo Abandonado no Demarcado

terminales (Figura 10). El 91% de los derrames operacionales involucran cantidades menores de 7 toneladas de material derramado. Por su parte, los accidentes involucran colisiones y encajamientos, resultando en grandes derrames con cantidades superiores a las 700 toneladas (Cuadro 12).

CUADRO 12. Incidentes de Derrames Marinos y Causas, 1974-2003

CAUSAS	<7 ton	7-700 ton	>700 ton	Total
OPERACIONALES				
Carga y Descarga	2 812	326	30	3 168
Abastecimiento de combustible	548	26	0	574
Otras Operaciones	1 177	55	0	1 232
ACCIDENTES				
Colisiones	167	274	95	536
Encayamientos	228	212	114	554
Fallas de Casco/estructurales	572	88	43	703
Incendio y Explosiones	85	11	29	125
Desconocidas/OTRAS	2 175	143	24	2 342
TOTAL	7 764	1 135	335	9 234

Fuente: Oil Tanker SIPI Statistics, 2003. International Tanker Owner Pollution Federation, Ltd.

Para el caso particular de las costas Venezolanas, en los últimos tres (3) años se han reportado por lo menos tres (3) incidentes importantes que significaron la descarga de material contaminado al medio marino. El más reciente de ellos, la colisión del buque Maersk Holyhead con la nave de Carbón Pequot, el 6 de Noviembre 2005 en las cercanías al Terminal El Tablazo, generó un derrame de 3000 barriles de GLP (propano) que transportaba para Pequiven. Así mismo, el hundimiento de una gabarra cargada con cortes o ripios de perforación en el Lago de Maracaibo en Febrero del 2002, entre otros eventos menores no reportados en la prensa nacional. Data confidencial afirma que durante el año 2002, el taladro Maersk Piooner colisionó con uno de los mechurrios del campo Pedernales, sin ninguna afectación o perdida mayor.

De lo anterior, se puede inferir que los accidentes marinos asociados a las operaciones petroleras en Venezuela tiene una probabilidad de ocurrencia que no debe ser ignorada, más aun, cuando en el área de influencia del Delta del Orinoco se pretende desarrollar un importante polo industrial para el manejo de las significativas

reservas de gas confirmadas con la perforación del pozo Macura 1-X en uno de los bloques exploratorios del delta.

2.2.5. Efectos de la Contaminación de las Descargas Sólidas en las Áreas Deltanas

Uno de los paisajes principales y predominantes de las áreas deltanas son los estuarios. En estos, las aguas saladas se mezclan con el agua dulce de los ríos. La vida en el estuario está marcada por la salinidad, cuyo gradiente disminuye desde el mar abierto hasta las desembocaduras de los ríos. Según decrece la salinidad, la biodiversidad disminuye, porque la mayoría de los organismos que viven en un estuario son marinos. Los estuarios son unos ecosistemas muy productivos, si se tiene en cuenta que constituye el hábitat de gran parte de los seres vivos presentes en los mares y océanos del mundo: son zonas de cría para un gran número de pájaros, anfibios y peces, incluso pescados y mariscos comercialmente importantes. Esta productividad es resultado de la acumulación de nutrientes que se da gracias a la interacción entre las mareas y los aportes fluviales en las desembocaduras de los ríos. El agua dulce, más ligera que el agua salada, fluye sobre el agua del mar que entra en el estuario dando lugar a una contracorriente. Los nutrientes circulan entre una y otra; los fuertes vientos y los remolinos favorecen esta mezcla verticalmente. La contracorriente, que fluye en sentido contrario al movimiento del agua hacia el océano, mantiene en el estuario nutrientes y plancton, diminutos organismos flotantes que son la base de las cadenas alimenticias del océano. Los nutrientes presentes en el agua marina de los estuarios son aprovechados en las marismas por la vegetación y la vida animal, y son arrastrados de nuevo al estuario por las mareas (Encarta, 2003)[28].

Los estuarios y sus marismas saladas se ven amenazados continuamente por la contaminación, los vertidos de petróleo y los dragados y rellenos dirigidos a la expansión industrial y residencial. No obstante, lo que más afecta a los ecosistemas deltanos venezolanos son las aguas servidas y desechos sólidos que ingresan a los caños, rompiendo el equilibrio ecológico al incorporar nuevos elementos químicos y biológicos que alteran la condición natural, y afectan a las especies que coexisten en

[28] Enciclopedia Encarta 2003.

tales hábitat. Para el caso particular de los desechos sólidos, éstos modifican el lecho de los caños cuando precipitan o sedimentan por su peso, u obstruyen el ingreso de la luz solar a los estratos más profundos cuando permanecen en la superficie del agua.

Por su parte, la biocenosis, que depende directamente del biotopo, también se ve afectada por la descarga de desechos, ya que algunas especies no son capaces de diferenciar en la cadena trófica cuales son las fuentes de alimentación natural o alterada, consumiendo parte de los componentes químicos y físicos proporcionados por el desecho, e incorporándolos en toda la cadena.

Como consecuencia de estos procesos adversos y acumulativos, se tiene una disminución y extinción de las especies por cambios en las características del hábitat, calidad de las aguas, patrones de sedimentación y corrientes fluviales; afectación a las comunidades indígenas por deficiencias en los sistemas y recursos de los cuales se proveen; incremento de las enfermedades infecciosas por contacto directo de humanos y animales con el desecho y las aguas contaminadas; afectación a los patrones de desarrollo del ecosistema de manglar y de los bosques por disminución en el aporte de nutrientes del ámbito acuático; y la incorporación de químicos dañinos al sistema biológico de las especies.

2.3. Marco Legal

En esta sección se indican todas las disposiciones legales y reglamentarias, nacionales e internacionales, que fueron utilizadas en la investigación para establecer elementos de juicio.

2.3.1. Marco Legal Internacional (EPA – Environmental Protection Agency)

- ✓ **Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA)**

La Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA por sus siglas en inglés) regula los generadores y transportistas de residuos peligrosos, y las correspondientes instalaciones de tratamiento, almacenaje y disposición (TSDF por sus siglas en inglés). La RCRA fomenta métodos seguros ambientalmente para el manejo

de los residuos comerciales e industriales, así como los residuos domésticos y municipales.

- ✓ **Ley de Agua Limpia (CWA)**

La Ley de Control de la Contaminación en el Agua, comúnmente conocida como la Ley de Agua Limpia (CWA por sus siglas en inglés), es el programa federal diseñado para restaurar y mantener la integridad del agua superficial de EE.UU. La CWA controla las descargas directas a las aguas superficiales (por ejemplo, mediante un tubo) procedentes de los procesos industriales o los sistemas de aguas pluviales asociados con una actividad industrial. También regula las descargas indirectas, o las descargas a los Centros de Tratamiento Públicos (POTWs por sus siglas en inglés) mediante un sistema público de alcantarillado, exigiendo que las instalaciones industriales traten previamente sus residuos antes de descargarlos a un alcantarillado público.

- ✓ **Prevención de la Contaminación por Petróleo (Reglamentos de la Prevención, el Control, y las Contramedidas de Derrames)**

Las regulaciones para la prevención, el control, y las contramedidas de derrames (SPCC por sus siglas en inglés), promulgadas según la CWA, están diseñadas para proteger las aguas de EE.UU. de la contaminación por petróleo causada por derrames de petróleo que podrían llegar a las aguas navegables de los Estados Unidos o las costas adyacentes. Los reglamentos aplican a las instalaciones que están relacionadas con el transporte con una capacidad específica de almacenamiento de petróleo sobre tierra o bajo tierra que, debido a su ubicación, puede ocurrir descargas de petróleo en las aguas navegables de los Estados Unidos.

- ✓ **Ley de Agua Potable Segura (SDWA)**

La Ley de Agua Potable Segura (SDWA por sus siglas en inglés) ordena que EPA establezca reglamentos para proteger la salud humana de los contaminantes presentes en el agua potable. Bajo la autoridad de la SDWA, EPA desarrolló estándares nacionales de agua potable y creó un sistema conjunto federal y estatal para garantizar el cumplimiento de estos estándares. La EPA también regula la inyección subterránea de residuos líquidos mediante el programa de Control de Inyecciones Subterráneas (UIC) bajo la SDWA. El programa UIC regula cinco clases de pozos de inyección para proteger las fuentes subterráneas de agua potable.

- ✓ **Exención de los Residuos de la Exploración y Producción de Petróleo Crudo y Gas Natural de los Reglamentos Federales de Residuos Peligrosos[29]**

En el diciembre de 1978, la EPA propuso estándares para el manejo de residuos peligrosos que incluyeron requisitos reducidos para varios tipos de residuos de gran volumen. En general, EPA creía que estos "residuos especiales" de gran volumen tenían menos toxicidad que otros residuos que son regulados como peligrosos bajo la RCRA. Por consiguiente, el Congreso exoneró estos residuos de los reglamentos de residuos peligrosos del Subtítulo C de la RCRA dependiendo de un estudio y de una determinación reguladora por la EPA. En 1988, la EPA publicó una determinación reguladora estableciendo que el control de los residuos de exploración y producción (E&P) no está justificado bajo los reglamentos del Subtítulo C de la RCRA. Por lo tanto, los residuos de E&P han permanecido exentos de los reglamentos del Subtítulo C. Sin embargo, la exención del Subtítulo C de la RCRA no excluyó estos residuos de ser controlados bajo los reglamentos estatales, bajo los reglamentos menos estrictos para residuos sólidos del Subtítulo D de la RCRA, o bajo otros reglamentos federales. Además, aunque estos residuos están dispensados de reglamentación como residuos peligrosos, la exención no significa que estos residuos no presenten peligros a la salud humana y el medio ambiente si se manejan desapropiadamente.

Entre los residuos cubiertos por la propuesta de 1978 estaban “los lodos debidos a la perforación en busca de gas y petróleo y las aguas saladas debidas a la producción.” La exención de petróleo y gas fue ampliada en las enmiendas legislativas a la RCRA de 1980, las cuales incluyeron “líquidos de perforación, agua producida, y otros residuos asociados con la exploración, el desarrollo o la producción de petróleo crudo o gas natural. . . .” (Los residuos relacionados con la energía geotérmica también fueron exonerados.)

Según la historia legislativa, el término “otros residuos asociados” específicamente incluye materiales de residuo derivados intrínsecamente de las operaciones primarias del campo asociadas con la exploración, el desarrollo o la producción de petróleo crudo y gas natural. La frase “derivados intrínsecamente de las operaciones primarias del

[29] Exemption of Oil and Gas Exploration and Production Wastes from Federal Hazardous Waste Regulation. EPA Office of Solid Waste, 2002.

campo" pretende distinguir las operaciones de exploración, desarrollo y producción de las operaciones de transporte y fabricación.

Con respecto al petróleo crudo, las operaciones primarias del campo incluyen actividades que ocurren en o cerca de la cabeza del pozo, y antes del punto donde el petróleo es transferido de una instalación individual del campo o de una instalación central a un transportista para llevarlo a una refinería o a un refinador.

Con respecto al gas natural, las operaciones primarias del campo son aquellas actividades que ocurren en o cerca de la cabeza del pozo o en la planta de gas, pero antes del punto donde el gas es transferido de una instalación individual del campo, de una instalación central, o de una planta de gas a un transportista para el transporte al mercado. Ejemplos de transportistas incluyen camiones, tuberías interestatales y algunas tuberías intraestatales.

Las operaciones primarias del campo incluyen la exploración, el desarrollo y la producción primaria, secundaria y terciaria de petróleo o gas. El procesamiento de petróleo crudo, tal como la extracción de agua, la desemulsificación, la degasificación y el almacenaje en las baterías de tanques asociados con un pozo específico o unos pozos específicos son ejemplos de las operaciones primarias del campo. Además, ya que el gas natural a menudo requiere el procesamiento para remover agua y otras impurezas antes de entrar en la línea de ventas, las plantas de gas son consideradas una parte de las operaciones de producción sin importar su ubicación con respecto a la cabeza del pozo.

En general, el estado exento de un residuo E&P depende de cómo el material fue usado o generado como residuo, no necesariamente de si el material es peligroso o tóxico. Por ejemplo, algunos residuos de E&P exentos podrían ser perjudiciales a la salud humana y al medio ambiente, y muchos residuos no exentos podrían no ser tan perjudiciales. La siguiente regla empírica sencilla puede ser usada para determinar si un residuo de E&P está exento o no de los reglamentos del subtítulo C de la ley RCRA.

¿Proviene el desecho del fondo del hoyo, es decir, fue traído a la superficie durante las operaciones de E&P de petróleo y gas?

De otro modo, ¿se ha generado el residuo mediante el contacto con la fuente de la producción de petróleo y gas durante el retiro de agua producida u otros contaminantes del producto?

Si la respuesta a cualquiera de las dos preguntas es afirmativa, es probable que el residuo sea considerado exento de los reglamentos del Subtítulo C de la RCRA. Es importante recordar que todos los residuos de E&P requiere el manejo apropiado para garantizar la protección de la salud humana y el medio ambiente.

En su determinación reguladora de 1988, EPA publicó las siguientes listas de residuos que fueron determinados ser exentos o no exentos. Las listas están provistas como ejemplos de residuos que se consideran exentos y no exentos y no deben ser consideradas exhaustivas. La lista de residuos exentos aplica sólo a aquellos residuos generados por las operaciones E&P. Los residuos similares generados por otras actividades que no sean las operaciones de E&P no están cubiertos por la exención.

Las Figuras 11 y 12 muestran los diagramas de decisión para determinar si un residuo E&P esta exento.

Residuos E&P Exentos

- Agua producida
- Líquidos de perforación
- Cortes de perforación
- Lavado de equipo
- Líquidos de perforación y cortes de operaciones de alta mar desechados en tierra
- Líquidos de producción geotérmica
- Residuos de la disminución de sulfuro de hidrógeno de la producción de energía geotérmica
- Líquidos de la terminación, el tratamiento y el estímulo de pozos
- Sedimento, agua y otras substancias básicas en el fondo de los tanques de las instalaciones de almacenamiento que contienen productos y residuos exentos
- Residuos debidos a los trabajos de reacondicionamiento
- *Arena producida*
- Materiales acumulados como los hidrocarburos, los sólidos, las arenas y las emulsiones de los separadores de producción, los recipientes de tratamiento de líquidos, y los embalses de producción
- Lodos de fosa y fondos contaminados provenientes del almacenamiento o la disposición de residuos exonerados
- Residuos de deshidratación de las plantas de gas, incluyendo los compuestos con base de glicol, los filtros de glicol, y los medios de filtrado, la contracorriente y las cribas moleculares
- Residuos de arrabio de las líneas de acopio
- Descarga de la torre de enfriamiento
- Constituyentes retirados del agua producida antes de que se inyecten o se eliminen de otra manera
- Hidrocarburos líquidos retirados del flujo de producción pero no del refinamiento de petróleo
- Gases del flujo de producción, tales como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono, y los hidrocarburos volatilizados
- Orgánicas ligeras volatilizadas de los residuos en las fosas de reserva, los embalses, o el equipo de producción
- Sedimento, agua y otras substancias básicas en el fondo de los tanques de las instalaciones de almacenamiento que contienen productos y residuos exentos
- Materiales acumulados como los hidrocarburos, los sólidos, las arenas y las emulsiones de los separadores de producción, los recipientes de tratamiento de líquidos, y los embalses de producción
- Lodos de fosa y fondos contaminados provenientes del almacenamiento o la disposición de residuos exonerados
- Residuos de deshidratación de las plantas de gas, incluyendo los compuestos con base de glicol, los filtros de glicol, y los medios de filtrado, la contracorriente y las cribas moleculares
- Residuos debidos a los trabajos de reacondicionamiento
- Descarga de la torre de enfriamiento
- Residuos del proceso de endulzamiento de plantas de gas para la remoción de sulfuro, incluyendo aminos, filtros de aminos, medios de los filtros de aminos, contracorriente, lodo precipitado de aminos, esponja de hierro, y líquido y lodo de descarga de sulfuro de hidrógeno
- Filtros usados, medios de filtros y contracorriente (suponiendo que el filtro mismo no es peligroso y el residuo que contiene proviene de un flujo de residuo exento)
- Escama de tubos, sólidos de hidrocarburos, hidratos y otros depósitos retirados de la tubería y el equipo antes de su uso
- Suelo que contiene hidrocarburos
- Líquidos de empaque
- Residuos del almacenamiento y la recuperación de gas bajo la superficie
- Materiales expulsados de un pozo en producción durante una descarga
- Petróleo crudo de residuo proveniente de las operaciones primarias de campo

Residuos E&P No Exentos

- Los líquidos o ácidos de fractura no usados
- Los limpiadores cáusticos o ácidos
- Los residuos de limpieza de las torres de enfriamiento de las plantas de gas
- Los residuos de pintura
- Los solventes de desecho
- Los residuos de las compañías de servicio de petróleo y gas, tales como los tambores vacíos, el enjuague de los tambores, los medios usados en los chorros de arena, los residuos de pintura, los solventes usados, las químicas derramadas y los ácidos de desecho
- Los aceites de lubricación del equipo usados
- Los residuos de refinerías
- Los líquidos hidráulicos usados
- Los tambores, los aislantes y los sólidos varios
- El aceite de residuo de los compresores, los filtros y la descarga
- El desperdicio en las fosas relacionadas con las tuberías de transporte
- Los líquidos, los lodos y las cenizas de residuo de las calderas
- Los residuos de limpieza de las calderas
- Los ladrillos refractarios de las calderas
- El enjuague de los camiones de aspiración y los tambores transportando o conteniendo residuos no exentos
- Los residuos líquidos y sólidos generados por los recuperadores de petróleo crudo y de los fondos de los tanques
- La ceniza de los incineradores
- Los residuos de laboratorio
- Los residuos sanitarios
- Los residuos de pesticidas
- Los residuos de isótopos radiactivos

FIGURA 11. Diagrama de Decisión Residuos Exentos/ No Exentos

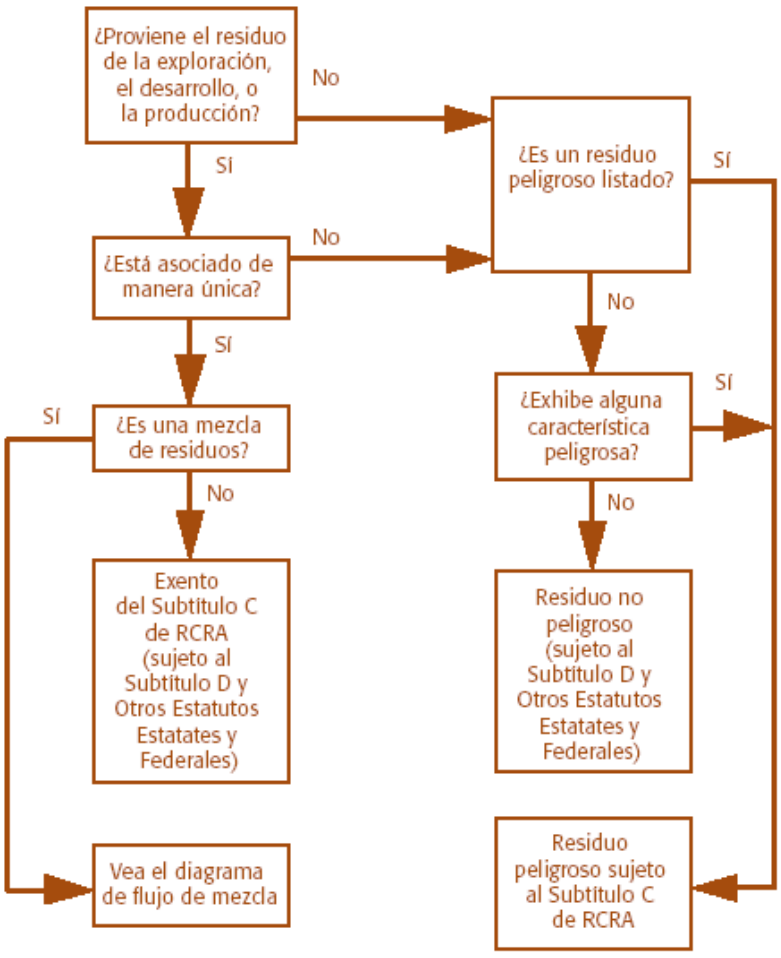
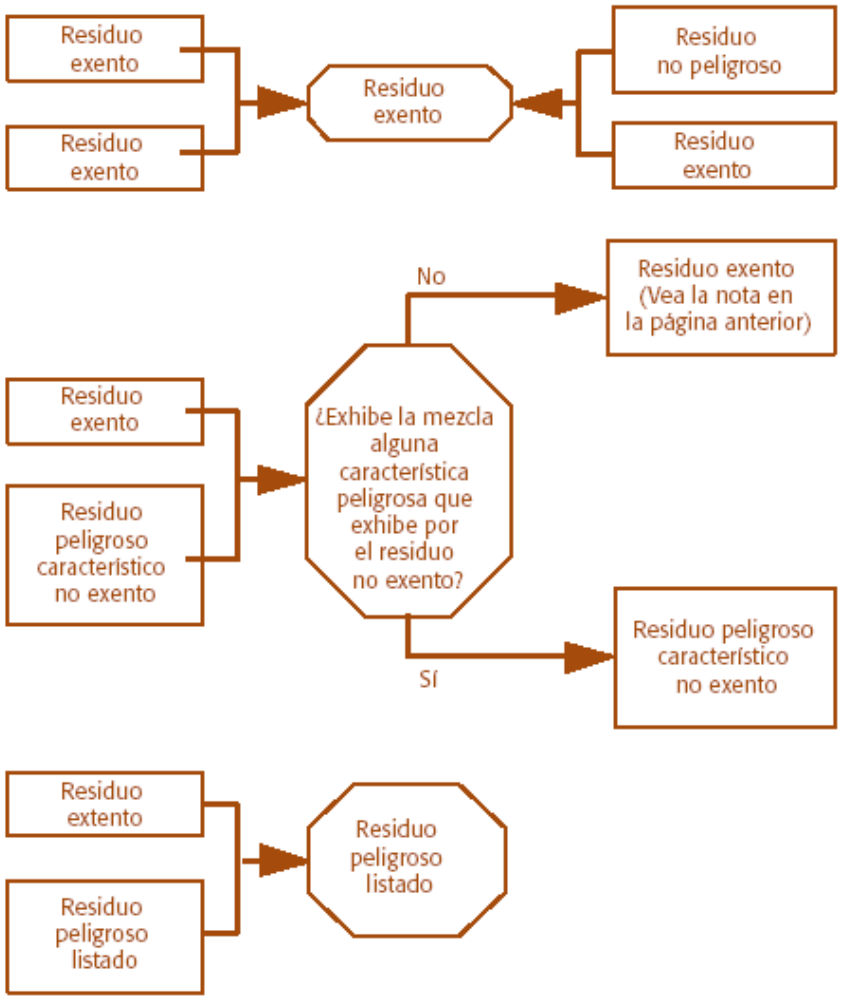


FIGURA 12. Mezcla de Residuos Posibles y su Estado Exentos y No Exentos



2.3.2. Marco Legal Nacional

Los instrumentos claves para la conducción y ejecución de una Evaluación Ambiental son: La Ley Orgánica del Ambiente, la Ley Orgánica de la Administración Central, la Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos, la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio, la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística y la Ley Penal del Ambiente; leyes que serán descritas en sus aspectos más relevantes (Martínez, 1996) [30].

[30] Martínez, E. 1996. Marco Legal Ambiental Venezolano. Ingeniería Caura, S.A.

2.3.2.1 Disposiciones Legales

- ✓ **Ley Orgánica del Ambiente**

La Ley Orgánica del Ambiente[31] (1976) establece, dentro de la política de desarrollo integral de la Nación, los principios rectores para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de la vida.

La Ley dispone que la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente comprende:

- La ordenación territorial y la planificación de los procesos de urbanización, industrialización, poblamiento y desconcentración económica.
- El aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables y demás recursos naturales, continentales y marinos.
- La creación, protección, conservación y mejoramiento de los espacios sujetos a un régimen de administración especial en beneficio del equilibrio ecológico y del bienestar colectivo.
- La prohibición o corrección de las actividades degradantes del ambiente.
- El control, reducción o eliminación de factores, procesos o componentes del ambiente que sean o puedan ocasionar perjuicios a los seres vivos.
- La orientación de los procesos educativos y culturales para fomento de la conciencia ambiental.
- La promoción de estudios e investigaciones ambientales.
- El fomento de la participación ciudadana en los problemas relacionados con el ambiente.
- La educación y coordinación de las actividades de los entes públicos y privados, relacionadas con el ambiente.
- La política internacional para la defensa del ambiente, y cualesquiera otras que se consideren importantes.

[31] Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 31.004 del 16 de junio de 1976.

- ✓ **Ley Orgánica de la Administración Central**

La Ley Orgánica de la Administración Central[32], dictada posteriormente a la Ley Orgánica del Ambiente, en 1976, determina el número, organización y competencia de los Ministerios, así como la organización y funcionamiento del Consejo de Ministros y de los demás órganos de la Administración Central. En particular, crea el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), al cual confía la planificación y realización de las actividades del Ejecutivo Nacional para el fomento de la calidad de la vida, del ambiente y de los recursos naturales renovables; la elaboración y ejecución de los programas de conservación, defensa, mejoramiento, regulación, aprovechamiento y uso de las aguas, de los bosques, de la tierra y de los suelos; la prohibición y regulación de las actividades degradantes del ambiente; etc.; en resumen, la casi totalidad de las atribuciones conferidas a los órganos de la administración ambiental creados en la Ley Orgánica del Ambiente.

- ✓ **Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos**

La Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos (LOPA)[33], vigente a partir de 1981, regula los aspectos centrales de la relación entre la Administración Pública y los particulares, y, en base a ello, prevé un conjunto de poderes, prerrogativas y obligaciones de la Administración, por una parte, y, por la otra, una serie de derechos y obligaciones de los particulares, transformando la informalidad administrativa en un formalismo procedimental, y la situación de impotencia y sujeción de los particulares, en una de garantías y derechos.

- ✓ **Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio**

La Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (LOPOT)[34], vigente desde 1983, establece las disposiciones que rigen el proceso de ordenación del territorio en concordancia con la Estrategia de Desarrollo Económico y Social de la Nación. Como instrumento básico de ordenación del territorio la Ley establece el Plan Nacional de Ordenación del Territorio (PNOT) y los planes en los cuales éste se desagrega: planes

[32] Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 3.599 Extraordinario del 07 de agosto de 1985.
[33] Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 2.818 Extraordinario del 1 de julio de 1981.
[34] Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 3.238 Extraordinario del 11 de Agosto de 1983.

regionales de ordenación del territorio, planes sectoriales, planes de ordenación de las áreas bajo régimen de administración especial, planes de ordenación urbanística y los demás planes de ordenación del territorio que demande el país sujetos a las normas que rijan para el Sistema Nacional de Planificación.

- ✓ **Ley Penal del Ambiente**

La Ley Penal del Ambiente[35] promulgada en 1991, establece o tipifica, entre otros, los siguientes delitos: la degradación, envenenamiento, contaminación y demás acciones o actividades capaces de causar daños a las aguas; la degradación, alteración, deterioro, contaminación y demás acciones capaces de causar daños a los suelos, la topografía y el paisaje; el envenenamiento, contaminación y demás acciones capaces de alterar la atmósfera o el aire; el no-cumplimiento con el requisito de estudio y evaluación de impacto ambiental; y cualquier contravención de las normas técnicas que dicte el Ejecutivo Nacional.

En la parte sancionadora, propiamente dicha, la Ley dispone, para las personas naturales, sanciones principales como prisión hasta diez años, multas, trabajo comunitario durante el tiempo de condena y sanciones accesorias que se aplicarán a juicio del Tribunal.

Para las personas jurídicas, la Ley establece la multa y como sanción acumulativa la prohibición, por un lapso de tres (3) meses a tres (3) años, de la actividad origen de la contaminación; cuando el daño causado fuera gravísimo, además de la multa, la Ley dispone la clausura o la prohibición definitiva de la actividad.

- ✓ **Ley Forestal de Suelos y Aguas**

La Ley Forestal de Suelos y Aguas[36], promulgada en 1966, deroga a la ley Forestal de Suelos y Aguas del 27 de agosto de 1955, rige la conservación, fomento y aprovechamiento de los recursos naturales que en ella se determinan y los productos que de ellos se deriven.

[35] Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.358 Extraordinario del 03 de enero de 1992.
[36] Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 997 Extraordinario del 08 de enero de 1966, modificada con la N° 1004 Extraordinario del 26 de enero de 1966.

La Ley declara de utilidad pública: la protección de las cuencas hidrográficas; las corrientes y caídas de aguas que pudieran generar fuerza hidráulica; los parques nacionales, los monumentos naturales, las zonas protectoras, las reservas de regiones vírgenes y las reservas forestales. Igualmente declara de interés público el manejo racional de los recursos naturales renovables; la conservación, fomento y utilización racional de los bosques y de los suelos; la introducción y propagación de especies forestales no nativas; la prevención, control y extinción de incendios forestales; la repoblación forestal y la realización del inventario forestal nacional.

Las personas naturales o jurídicas que pretendan obtener alguna de las autorizaciones previstas en la Ley, deberán acreditar suficientemente el derecho que les asiste. Por otra parte, queda establecido que la deforestación, la tala de vegetación alta o mediana, las rozas y quemas, desmontes, así como la explotación de productos forestales y cualquier otra actividad que implique la destrucción de la vegetación no podrán efectuarse sin previa autorización de los funcionarios competentes. Igualmente, el aprovechamiento de los suelos deberá practicarse con arreglo a las normas técnicas establecidas por el Ejecutivo Nacional y, con respecto a las aguas, quién no tenga derechos adquiridos para el aprovechamiento de aguas del dominio público no podrá desviarlos de su cauce natural sin la previa concesión del Ejecutivo.

2.3.2.2 Disposiciones Técnicas Complementarias

- ✓ **Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos**[37]

Tienen por objeto establecer las condiciones bajo las cuales se deben realizar las actividades de generación y manejo de los desechos peligrosos, a fin de prevenir daños a la salud y al ambiente.

Con respecto al manejo, las normas establecen que solo podrá efectuarse mezcla de desechos peligrosos de naturaleza similar o compatibles, y que los registros respectivos deberán ser conservados y enviados junto con estos a los centros de tratamiento o de

[37] Decreto N° 2.635 del 22 de julio de 1998, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.245 Extraordinario del 03 de agosto de 1998.

disposición final. El transporte solo podrá realizarse en vehículos aprobados en la Constancia de Inscripción en el Registro de Responsables y el transportista deberá solicitar al generador la Hoja de Seguimiento específica para cada operación, cuyo formato correspondiente está a disposición de los interesados en las oficinas regionales del MARN. Igualmente establecen que todo sitio que pretenda ser destinado al almacenamiento, tratamiento o disposición final de los desechos peligrosos deberá tener la respectiva Aprobación o Autorización Administrativa para la Ocupación del Territorio, y deberá llevar un registro de inspecciones que indique el organismo que las hubiese realizado y las fechas en que se realizaron. Las normas permiten la incineración cuando se demuestre que es posible alcanzar una eficiencia del 99,999%.

Para los responsables de las actividades que impliquen la generación de desechos peligrosos les establece el deber de: minimizar la cantidad de desechos que generen; separar adecuadamente y evitar la mezcla de desechos incompatibles; envasar los desechos en envases que permitan su manipulación y transporte en forma segura, y *minimicen los riesgos de pérdidas o derrames*; almacenar los desechos en sitios acondicionados para tal fin y darle el destino final más adecuado; suministrar la información necesaria a las empresas encargadas del manejo de los desechos; y presentar los informes sobre el origen, cantidades, características y destino de los desechos generados ante la Dirección Regional del MARN.

Por su parte, para quienes realicen actividades que impliquen alguna de las operaciones de manejo de desechos peligrosos les imponen el deber de cumplir las siguientes acciones: mantener un registro permanente sobre el origen, cantidad, características y destino de los desechos manejados; y presentar un informe semestral a la Dirección Regional del MARN, que incluya el registro y *descripción detallada de los sistemas y métodos de manejo y de las contingencias o accidentes que se hubiesen presentado en el lapso.*

A los efectos de las normas se presentan las categorías y características de peligrosidad para identificar a los desechos peligrosos; las concentraciones máximas permisibles en los lixiviados; los criterios para el transporte, almacenamiento, tratamiento e instalación y operación de rellenos de seguridad; y el control de las actividades de generación y manejo de desechos.

- ✓ **Normas para el Manejo de Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de Cualquier otra Naturaleza que no sean Peligrosos**[38]

Las normas regulan las operaciones de manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos, con el fin de evitar riesgos a la salud y al ambiente; en consecuencia, los desechos sólidos de ésta naturaleza deberán ser depositados, almacenados, recolectados, transportados, recuperados, reutilizados, procesados, reciclados, aprovechados y dispuestos finalmente de manera que se prevengan y controlen deterioros a la salud y al ambiente.

A los efectos de su aplicación, las normas presentan las condiciones para el manejo de los desechos sólidos: almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, tratamiento, reciclaje y disposición final; las características que deben reunir los terrenos propuestos para la ubicación de un relleno sanitario, incluyendo los métodos y manual de operación.

- ✓ **Normas Sobre el Control de la Contaminación Generada por Ruido**[39]

Las presentes normas controlan la contaminación producida por fuentes fijas o móviles generadoras de ruido. Su ámbito de aplicación, en el caso de las fuentes fijas, se circunscribe al ambiente no confinado ubicado fuera del local donde aquella opera y comprende cualquier instalación, proceso, equipo o artefacto capaz de producir ruido. Quedan exceptuadas las situaciones de emergencia productos de emisiones de ruido generadas por: ambulancias, camiones para extinción de incendios, vehículos de organismos de seguridad del Estado, sistemas especiales de alarma para casos de incendios o robos, y actividades de emergencias similares.

Los niveles de ruido tolerable están en función de la siguiente zonificación: sectores residenciales con parcelas unifamiliares (Zona I), sectores residenciales con viviendas multifamiliares (Zona II), sectores residenciales-comerciales (Zona III), sectores

[38] Decreto N° 2.216 del 23 de abril de 1992, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.
[39] Decreto N° 2.217 del 23 de abril de 1992, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.

comerciales-industriales (Zona IV), y sectores que bordean aeropuertos y autopistas (Zona V).

- ✓ **Normas sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica**[40]

Este Decreto tiene por objeto establecer las normas para el mejoramiento de la calidad del aire y la prevención y control de la contaminación atmosférica producida por fuentes fijas y móviles capaces de generar emisiones gaseosas y partículas.

A los efectos de estas normas se establecen límites de calidad del aire para los contaminantes de la atmósfera, la clasificación de las zonas de acuerdo con los rangos de concentraciones de Partículas Totales Suspendidas (PTS) y los métodos de muestreo, períodos de medición y métodos analíticos para la determinación de la concentración de los contaminantes en el aire.

- ✓ **Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos**[41]

Este Decreto tiene por objeto establecer las normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos. Para el control de los vertidos líquidos, las normas establecen las actividades sujetas a su aplicación, de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las Naciones Unidas, y establecen los rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados en forma directa o indirecta a *medos marinos costeros*, así como las condiciones para su descarga, infiltración o inyección en el suelo o en el subsuelo.

Para el seguimiento y control de las actividades se crea el Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente, bajo la responsabilidad de las Direcciones Regionales del MARN, en el cual deben inscribirse todas las personas que pretendan realizar o realicen una de las actividades contempladas en las normas.

[40] Decreto N° 638 del 26 de abril de 1995, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.899 Extraordinario del 19 de mayo de 1995.
[41] Decreto N° 883 del 11 de octubre de 1995, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995.

- ✓ **Cambios de Flujo, Obstrucción de Cauces y Problemas de Sedimentación**[42]

Las presentes normas tienen por objeto controlar el desarrollo de actividades que, por generar cambios en los sistemas de control de obras hidráulicas, obstrucción de cauces y escorrentías, y producción de sedimentos, son susceptibles de ocasionar daños tales como inundaciones, déficit en la distribución de aguas, inestabilidad de cauces y alteración de la calidad de las aguas; en consecuencia, todas las actividades capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación, estarán sujeta al otorgamiento previo de la autorización a la que alude el artículo 21 de la Ley Orgánica del Ambiente, la cual deberá ser tramitada ante la Dirección Regional competente del MARN.

Las normas consideran las siguientes actividades como capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación: Construcción de obras de infraestructura ejecutadas en el área de influencia de cuerpos de agua; movimientos de tierra y cambios de la topografía; las que tengan por objeto la canalización, derivación, diques o tomas de los cuerpos de agua; y todas aquellas que propendan a modificar el régimen hidrológico o el balance de erosión, transporte o acumulación de sedimentos en los cuerpos de agua.

2.3.2.3 Regulaciones y Disposiciones Técnicas de Aplicación Directa a la Investigación

La asignación de usos territorial para el área del Delta Amacuro, está contenida en el Plan de Ordenación del Territorio del Estado Delta Amacuro, aprobado por la gobernación de esta entidad el 22-03-92 bajo el decreto Nº 030-a y publicado en la Gaceta Oficial Nº 842 en fecha 20-05-92. De acuerdo a lo contemplado en este documento, los usos asignados en el área son:

- Turístico-recreacional, con altas limitaciones de infraestructura de apoyo.
- Pesquero
- Agricultura de subsistencia en pequeña escala y hasta semi-comercial.

[42] Decreto N° 2.220 del 23 de abril de 1992, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.

- Vegetación natural protectora y productora, en la isla Capure constituyendo un área bajo régimen de administración especial (ABRAE) con la denominación de "Área Boscosa Bajo Protección", la Nº 36 según el Decreto Presidencial Nº 1.661 publicado en la Gaceta Oficial Nº 4.409 extraordinario de fecha 04-04-92. Además, es un área sujeta a usos normados, preferentemente destinada al forestal, según queda establecido en el artículo 22 del Decreto Presidencial Nº 2.214 referido a las "Normas para la Administración de Actividades Forestales, Lotes Boscosos, Áreas Boscosas Bajo Protección y Áreas Boscosas en Terrenos de Propiedad Privada Destinadas a la Producción Forestal Permanente" publicado en la Gaceta Oficial Nº 4.418 extraordinario de fecha 27-04-92.

Las áreas de ecosistemas de manglares, están protegidas al amparo del Decreto Presidencial Nº 1.843 "Normas para la Protección de los Manglares y sus Espacios Vitales Asociados" publicado en la Gaceta Oficial Nº 34.819 de fecha 14-10-91.

Con respecto al manejo de los materiales recuperables peligrosos y desechos peligrosos, el Decreto N° 2635[43], que contiene las "Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos", define en su capítulo 3/Sección 1 (del manejo de los desechos peligrosos de las actividades de exploración y producción de petróleo y minerales) artículo 46, a las arenas de producción como desecho peligroso al incluirlo entre los desechos generados por la actividad, pasando por el anexo A (de las actividades generadoras potenciales de materiales peligrosos – 10. petróleo y petroquímica – 10.1 extracción de petróleo). Adicionalmente, el artículo 54 propone como práctica de disposición de las arenas de producción el bio-tratamiento, el esparcimiento en suelo y/o la incineración. Sin embargo, el parágrafo único indica que el *MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales) podrá autorizar otras prácticas para estos desechos previa demostración por parte del interesado de la factibilidad técnica y ambiental de su disposición*.

[43] Decreto N° 2635. Reforma Parcial del Decreto N° 2289 de fecha 18 de Diciembre de 1997, publicado en la gaceta oficial N° 5512 Extraordinario de fecha 12 de febrero de 1998, contentivo de las "Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos". Gaceta Oficial N° 5245 Extraordinario de fecha 03/08/1998.

Para el esparcimiento en suelo, el desecho no debe exceder las concentraciones máximas permisibles establecidas en el anexo D (Cuadro 13).

CUADRO 13. Concentraciones Máximas Permisibles en Lixiviados

Constituyentes	Concentraciones Máximas Permitidas (mg/l)	Constituyentes	Concentraciones Máximas Permitidas (mg/l)
Arsénico	5,0	Clorobenceno	100,0
Bario	100,0	Cloroformo	6,0
Cadmio	1,0	Cloruro de metilo	0,6
Cromo hexavalente	5,0	Cloruro de vinilo	0,2
Níquel	5,0	1.2-diclorobenceno	4,3
Mercurio	0,2	1.4-diclorobenceno	7,5
Plata	5,0	1.2-dicloroetano	0,5
Plomo	5,0	1.1-dicloroetileno	0,7
Selenio	1,0	Disulfuro de carbono	14,4
Acrilonitrilo	5,0	Fenol	14,4
Clordano	0,03	Hexaclorobenceno	0,13
D-cresol	200,0	Hexacloro butaleno	0,5
M-cresol	200,0	Isobutanol	36,0
P-cresol	200,0	Etilmetilcetona	200,0
Acido 2.4-diclo-rofenoriaceticos	-10,0	Piridina	5,0
2.4-dinitrotolueno	0,13	1.1.1.2-tetracloroetano	10,0
Endrín	0,02	1.1.2.2-tetracloroetano	1,3
Heptacloro (y su epoxido)	0,008	Tetracloruro de carbono	0,5
Hexacloroetano	3,0	Tetracloroetileno	0,7
Lindano	0,4	Tolueno	14,4
Metoxicloro	10,0	1.1.1-tricloroetano	30,0
Nitrobenceno	2,0	1.1.2-tricloroetano	1,2
Pentaclorofenol	100,0	Tricloroetileno	0,5
2.3.4.6-tetraclorofenol	1,5		
Toxacloro	0,5		
2.4.5-triclorofenol	400,0		
2.4.6-triclorofenol	2,0		
Acido 2.4.5-tricloro fenoxiproposiclo	1,0		
Benceno	0,5		
Eterbis (2-cloroetílico)	0,05		

Fuente: "Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos" (Decreto Nº 2.635 publicado en la Gaceta Oficial de fecha 03-08-98), Anexo D.

Además, el Decreto N° 2220[44] que contiene las "Normas para Regular las Actividades Capaces de Generar Cambios de Flujos, Obstrucciones de Cauces o Problemas de Sedimentación" establece ciertos criterios de control de las actividades

[44] Decreto N° 2220. "Normas para Regular las Actividades Capaces de Generar Cambios de Flujos, Obstrucción de Cauces y Problemas de Sedimentación". Gaceta Oficial N° 4418 Extraordinario de fecha 27/04/1992.

capaces de generar cambios de flujo y problemas de sedimentación. Y el Decreto N° 883[45] que contiene las "Normas para la Clasificación y Control de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos" que establece las normas para el control de la calidad del agua y de los vertidos líquidos. En este caso particular de la investigación, referida a las descargas del medio Marino Costero

Para el caso del Decreto 883, se toma en cuenta la revisión del decreto, la cual esta en circulación para la consulta publica desde 15-02-2005, pero aun no aprobado. En dicha revisión se establecen 4 clases de agua (excelente, muy buena, buena o aceptable), según su artículo 10, y que se definen de acuerdo al uso asociado. Y en el artículo 11, se establecen algunos parámetros, físicos, químicos y biológicos que definen las clases antes mencionadas. (ver Anexo I borrador de la revisión del Decreto 883 aun no aprobada).

En su artículo 17, la revisión del decreto 883 establece:

ARTICULO 17.- Los límites de descarga del segundo grupo de constituyentes, señalados en el Artículo 15, podrán ajustarse a las características actuales del receptor, sujetas a las restricciones que imponga la capacidad de asimilación de éste, aplicando como criterio general que las descargas no alteren la calidad del mismo. En los casos de cuerpos de agua sujetos a una clasificación la calidad de las aguas estará definida por los parámetros que correspondan según el uso a que hayan sido destinadas. El control de estos parámetros se efectuará con base en límites de cargas másicas, en kg/d o en kg de constituyente/unidades de producción (expresadas en la unidad que aplique a cada caso particular).

Así mismo, en la sección VII del control de otras fuentes contaminantes:

ARTICULO 27.- Se prohíbe:

1. El uso de sistemas de drenaje de aguas pluviales para la descarga de efluentes líquidos.

[45] Decreto N° 883. "Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos ". Gaceta Oficial N° 5021 Extraordinario de fecha 18/12/1995.

2. La descarga de desechos sólidos a los cuerpos de agua y a las redes de cloacales.
3. La dilución de efluentes con agua limpia para cumplir con los límites establecidos en el presente Decreto.
4. La descarga, en los cuerpos de agua, de aguas residuales provenientes de la limpieza de pozos sépticos y baños portátiles.
5. La descargar de efluentes considerados peligrosos, cuya disposición y tratamiento deberá realizarse bajo la normativa ambiental legal vigente aplicable.

Además de los antes mencionados, se consideran los convenios Internacionales como el MARPOL 73/78 y la Organización Marítima Internacional (OMI), a los cuales Venezuela se acoge. El convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL) abarca la contaminación por hidrocarburos, productos químicos, sustancias perjudiciales transportadas en bultos, aguas sucias y basura. En 1972 el convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otros materiales, entra a regular el vertimiento en el mar de desechos industriales y otros desechos procedentes de buques y aeronaves.

En 1973, el convenio amplia las restricciones sobre la contaminación operacional por hidrocarburos y prescribe características de proyecto y equipos en los buques tanques y otros tipos de buques, a la vez que introduce controles respecto de otras formas de contaminación procedentes de los buques. En 1978 se incorporan nuevas medidas sobre el proyecto y la operación de buques tanque, basados en la experiencia de los accidentes de buques tanques ocurridos en 1976-1977.

Todas estas disposiciones legales y reglamentarias referidas a la calidad ambiental son aplicables y consideradas en la investigación.

CAPITULO III: Marco Metodológico

3.1. Tipo y Diseño de la Investigación

Basados en que la investigación identifica procedimientos técnicos y evalúa efectos ambientales de hábitats particulares, se requiere recopilar y analizar información existente o secundaria en lo referente a: la caracterización del medio acuático del delta, actividad de plataformas petroleras, caracterización de las arenas de producción y tasa de generación unitaria, tendencia del desarrollo de la actividad petrolera en la zona, técnicas de tratamiento aplicadas, frecuencia de transporte y otros estimados. Dicha información procede de reportes técnicos y publicaciones realizados por: las organizaciones gubernamentales (MARN, INE, PDVSA, MEM, INTEVEP), de las ONG´s (DELMOS) que han operado en el área, de estudios técnicos efectuados por empresas de consultoría ambiental contratadas por la industria petrolera (Ingeniería Caura, S.A., Ecology & Environment, Jantesa, etc.) y estudios previos realizados sobre el tratamiento de desechos sólidos peligrosos de la industria. Además de otras fuentes de investigación mediante el uso de las paginas web, como las páginas de la EPA, SPE, MARN, Vitales, Cepis, World Bank, etc. Desde este punto de vista se define una primera parte de *investigación documental* que tiene un gran peso sobre el desarrollo de los procedimientos de la investigación.

Por otra parte, se efectúa la captura de información de campo específica delimitada en un área de actividad y/u operación petrolera, puesto que representa la información fidedigna del tipo de desechos que se genera, de la tasa unitaria real de generación y de la caracterización física del medio receptor (caso particular del campo Pedernales). En este sentido, se efectuaron mediciones de la tasa de generación de las arenas, se caracterizó el desecho, se muestreo y analizó el agua del estuario, entre otras actividades, lo que implicó recopilación de información que se enmarca en una *investigación de campo*.

Por tanto, la investigación fue: en primera etapa de tipo documental y en segunda de campo.

En lo que al diseño de la investigación se refiere, la captura de información de campo y documental es analizada para generar una información que define las variables involucradas y las que deben ser consideradas con mayor atención. Las variables arrojadas por el manejo de la información de esta fase primaria de la investigación no son controladas o manipuladas experimentalmente; por lo que el diseño de la investigación se define de tipo *no experimental*.

Analizada la calidad de las arenas a ser tratadas y los parámetros de calidad para una menor afectación del medio marino por una potencial descarga, se efectuó una evaluación de las alternativas de tratamiento que mejor se ajustan a las características de la arena y el medio receptor, de la factibilidad técnica de aplicación en sitio y de las alternativas de disposición final. Para el caso particular de la operadora: Perenco Venezuela, se desarrolla el plan metodológico a seguir para la implementación de la alternativa que incluye la propuesta de una planta piloto, la logística operativa, los costos y los requerimientos de carácter legal ambiental requeridos por el MARN para la implementación de la alternativa seleccionada.

Basados en lo anterior la investigación se define como de tipo:

Documental y de Campo de Diseño No Experimental.

3.2. Metodología y Procedimientos

La investigación esta estructurada básicamente en:

- Búsqueda y recopilación de datos e información documental,
- Búsqueda y recopilación de datos e información de campo (incluye muestreo),
- Análisis preliminar de los datos y de la información recopilada (diagnostico de situación actual),
- Definición de variables y parámetros relevantes,
- Evaluación ambiental preliminar,
- Consulta a expertos,
- Análisis de factibilidad y selección técnica de la alternativas de tratamiento y disposición de arenas de hidrocarburos,
- Evaluación ambiental y económica de la alternativa de tratamiento y disposición de arenas de hidrocarburos,

- Estimación de las calidad de las arenas de producción tratadas por pre-tratamiento en sitio,
- Análisis de resultados y selección final de la alternativa de tratamiento y disposición de arenas de hidrocarburos,
- Procedimientos de implantación,
- Conclusiones y recomendaciones

La búsqueda y recopilación de los datos e información se inicia en forma ordenada con lo referente a la caracterización ambiental del área y la calidad de las aguas del Delta en Caño Mánamo, a partir de información documental técnica de estudios y evaluaciones ambientales efectuados en el área y que están revisados y aprobados por el MARN. Estos estudios son del dominio público y están disponibles en las bibliotecas del MARN. Así mismo, a partir de la información de los informes de supervisión ambiental de las actividades de producción y perforación efectuadas en el campo Pedernales; data e información de suma valor puesto que contiene el seguimiento de la calidad ambiental y las estadísticas de manejo de desechos sólidos.

La siguiente fase en la búsqueda y recopilación de datos e información se corresponde a la de las actividades de producción del campo y sus instalaciones, la caracterización de las arenas de producción en cuanto a los compuestos que la conforman y niveles de hidrocarburos que contiene, así como también de los procedimientos actuales de manejo, tratamiento y disposición de las arenas de producción.

Una vez recopilada la data documental, se procede a capturar las muestras de aguas del caño y del material de fondo o sedimentos marinos para ser trasladados a sus respectivos laboratorios y, así iniciar la fase analítica. Las muestras de material de fondo servirán para evaluar contenido de materia orgánica, bentos y microorganismos, y la capacidad de degradación de la materia orgánica, aceites y grasas.

Con la data e información recopilada se efectúa el análisis preliminar y diagnostico actual de los procedimientos de manejo y de la calidad ambiental del área, se realiza una primera recopilación estructurada de la información técnica de las alternativas de tratamiento, y se inicia una etapa de evaluación técnico-ambiental para definir los parámetros y variables relevantes, y proceder con la consulta a los expertos.

Con los resultados del análisis preliminar y de laboratorio de las muestras captadas en campo, y la opinión inicial de los expertos, se establecen las variables a analizar para las alternativas de tratamiento (screening).

Una vez definidas las variables a ser analizadas, se realiza una segunda revisión bibliográfica más minuciosa que permite definir las bondades de cada tratamiento y su factibilidad de aplicación, basados en la caracterización del medio deltano y los resultados de laboratorio obtenidos en estudios previos, efectuados para las arenas de producción del campo Pedernales.

Seleccionada la opción de tratamiento, los parámetros, y la calidad del producto final tratado, se realiza una evaluación de la variación de la calidad de agua del estuario por efecto de la aplicación de la nueva alternativa seleccionada; así como, las opciones de disposición final. La calidad final esperada de las arenas tratadas por la alternativa en evaluación es un pronóstico basado en la proyección de los resultados obtenidos en laboratorios y referencias bibliográficas, lo que lo hace netamente referencial.

Definida la alternativa de tratamiento y las opciones de disposición, se elabora un plan metodológico para su implementación que incluye los procedimientos para la obtención de las autorizaciones requeridas. También, se efectúa un análisis de costo por la implantación del sistema de tratamiento en el campo, terminando así la investigación, y dando a conocer los resultados, conclusiones y recomendaciones.

3.2.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

- *Revisión Bibliográfica Tecnico-Ambiental*

La revisión bibliográfica se basa en la búsqueda de información en páginas web como la EPA, CEPIS, MARN, SPE, Greenpeace, CAF, IFC (Internacional Financial Corporation/World Bank) Vitalis, etc., así como en bibliotecas de la UCAB, UCV, IVIC, MARN e INTEVEP, y diferentes consultoras ambientales: Ingeniería Caura, Ecology & Environment, y Jantesa.

- *Revisión Bibliografía de Campo*

Comprende la revisión bibliográfica de los informes trimestrales del Plan de Supervisión Ambiental y Programa de Seguimiento ambiental del campo Pedernales y, de las caracterizaciones físico-químicas de aguas y sedimentos, mayormente realizadas por la firma Benthos (empresa especializada en fauna béntica). Esta información se complementa con los diagramas de procesos de producción y equipos de control de arena del Campo Pedernales (instalados por British Petroleum).

- *Recolección de Data e Información de Campo (Muestreo)*

Entre los instrumentos utilizados en la recolección de data e información de campo, se tienen:

- Muestrador manual de arenas,
- Envases de vidrio esterilizados de 1 lt de capacidad para guardar las muestras de arena de producción sin tratar, extraídas de la plataforma del campo Pedernales,
- Cámara fotográfica,
- GPS Garmin para captura satelital de posicionamiento,
- Envases de vidrio de 1-1,5 litros con preservador para colocar muestras de agua y de sedimentos del lecho fluvial o marino,
- Bayler con extensión para la toma de muestras del lecho marino,
- Cavas para preservar las muestras de agua y arenas no tratadas a temperatura de 4°C,
- Apoyo logístico para desplazamiento/transporte marino/fluvial,
- Planos de ubicación en coordenadas UTM de la zona seleccionada.

Las muestras de agua, arenas de producción y sedimentos del lecho marino son trasladadas al laboratorio de Benthos y Envirotec: laboratorios autorizados por el MARN para tales análisis.

Los sitios de muestreo seleccionados coinciden con los realizados en el campo Pedernales desde el año 2000, para poder garantizar que a pesar de la acentuada

influencia estacional del Caño Mánamo (según se muestra en el monitoreo histórico del campo Pedernales), los resultados sean continuos y permitan establecer una tendencia.

- *Consulta a Expertos*

Otra fuente de información particular es la consulta a expertos. En total se consultaron 6 especialistas ambientales con amplia experiencia en el manejo de desechos peligrosos en la industria petrolera, biología marina, y funcionarios del MARN.

La consulta a experto es de vital importancia dado lo especializado del tema, y a la escasa información disponible acerca del desarrollo de técnicas especiales para manejar descargas accidentales de arenas de producción en áreas de humedales y/o manglar. La opinión de expertos ayuda a identificar las variables de mayor interés, y la ocurrencia de posibles problemas sobre la basa de experiencias previas.

Visto que la población técnica consultada no representa un número significativo (menores de 10), no se desarrolla un muestreo probabilístico (muestreo intencional no probabilístico) que requiere de un análisis estadístico de la población encuestada. La consulta a experto cubre los tópicos que se muestran en el formato de consulta (Anexo II). No obstante, el formato de consulta solo representa una lista de chequeo para asegurar que en la entrevista se cubran la totalidad de los tópicos que se desea cubrir. Esto es porque la entrevista se hace en forma directa con el experto, y en función de la dinámica de la entrevista, se cubren en mayor o menor grado los parámetros de interés. Dicha dinámica es función directa de la experticia y especialización del experto, el grado de interés, y las inclinaciones y tendencias hacia la sobre-evaluación o subestimación de las capacidades del medio receptor.

3.2.2. Técnicas e Instrumentos de Evaluación de Alternativas de Tratamiento de Arenas de Producción de Hidrocarburos

En este caso, se realiza una matriz de evaluación que sigue un procedimiento similar a la Matriz de Leopold. En esta matriz se evalúan las ventajas y desventajas ambientales de las alternativas de tratamiento seleccionadas, posterior a la evaluación de factibilidad técnica de aplicación, debido a que en las plataformas en mar la

disponibilidad de espacio, energía, y facilidades de soporte son muy limitadas. Cada ventaja y desventaja tiene un peso, pero la desventaja en signo negativo. Luego se toman los valores de la suma del producto ponderado y se selecciona la alternativa que disponga de mayor valor. La asignación de los pesos es cualitativa y esta basada en el aporte ambiental y técnico de la alternativa en cuestión.

Por otra parte, la definición de ventajas y desventajas incluyen las alteraciones o perturbaciones a la calidad del aire, calidad de suelos y aguas subterráneas y afectaciones a la biota marina, pero para estas variables, la valoración es cualitativa a diferencia que para el caso de la calidad de agua.

3.2.3. Técnicas e Instrumentos de Evaluación Ambiental

La evaluación de la variación de la calidad del agua del Delta por descarga accidental de arenas de producción se basa en un análisis del comportamiento histórico de las variables de calidad como el DBO, oxígeno disuelto, concentración de sólidos suspendidos, temperatura, aceites y grasa, y TPH, así como en el Índice de Calidad de Agua (ICA) basado en el de Martínez Boscarón (1979).

EL ICA se obtiene para la condición actual de la calidad de agua, y para los escenarios de descargas accidentales de arenas tratadas y no tratadas. Posteriormente, el ICA es usado como variable independiente para la lectura de la calidad ambiental del agua definida según la curva de transformación. El ICA se determina para los diferentes escenarios, de manera que para aquellos en el que la calidad ambiental leída de la curva de transformación es más alta, se infiere que la perturbación o alteración a la calidad del agua es menor.

3.2.4. Técnicas e Instrumentos de Evaluación Económica

La evaluación económica de las alternativas se basa en la inversión inicial (que incluye el equipo y la instalación), el costo operativo en el tiempo, y los costos administrativos y de gestión. Estos costos establecen un flujo de caja negativo (desembolsos) en el tiempo, que es analizado en base a una tasa de rendimiento fijada

de acuerdo a las políticas financieras de la empresa (de 15%), para luego efectuar la evaluación económica en base al Valor Presente Neto (VPN).

La alternativa de menor VPN resulta ser la alternativa de mayor rendimiento económico o, dicho de otra forma, de menor gasto. Luego, el VPN es llevado a una anualidad o costo anual equivalente, esto es para representar un costo operativo. De manera que, la alternativa de menor costo anual representa la mejor opción de carácter económico a ser aplicada. No obstante, la alternativa final seleccionada estará sujeta no solo al análisis económico sino a la factibilidad técnica, ambiental y legal.

Bajo este esquema, la evaluación es netamente financiera y no incluye una evaluación económica de los beneficios ambientales que se obtienen con la alternativa. La inclusión de la evaluación económica ambiental favorecería a la alternativa seleccionada adicionando un valor económico no tangible. Esto es porque se mejora la preservación de recursos naturales que también tienen un valor económico. Sin embargo, dicho valor no podría ser asimilado por la gerencia de la operadora Perenco Venezuela, debido a lo especializado del tema de la economía ambiental, quienes están enfocados en los beneficios económicos tangibles.

CAPITULO IV: Caracterización del Campo Pedernales

4.1. Generalidades[46]

El Campo Petrolero Pedernales esta localizado al noreste de Venezuela, en el Delta del Orinoco, entre las Islas Misteriosas y Mánamo, y al sur del golfo de Paria, frente al extremo suroeste de la isla de Trinidad, aproximadamente a unos 80 Km hacia el este de la ciudad de Maturín; jurisdicción del Municipio Pedernales del Estado Delta Amacuro (Figura 13). La poligonal que define el campo abarca 28 500 hectáreas, e incluye los centros poblados Capure y Pedernales, y asentamientos indígenas erráticos de la etnia Warao.

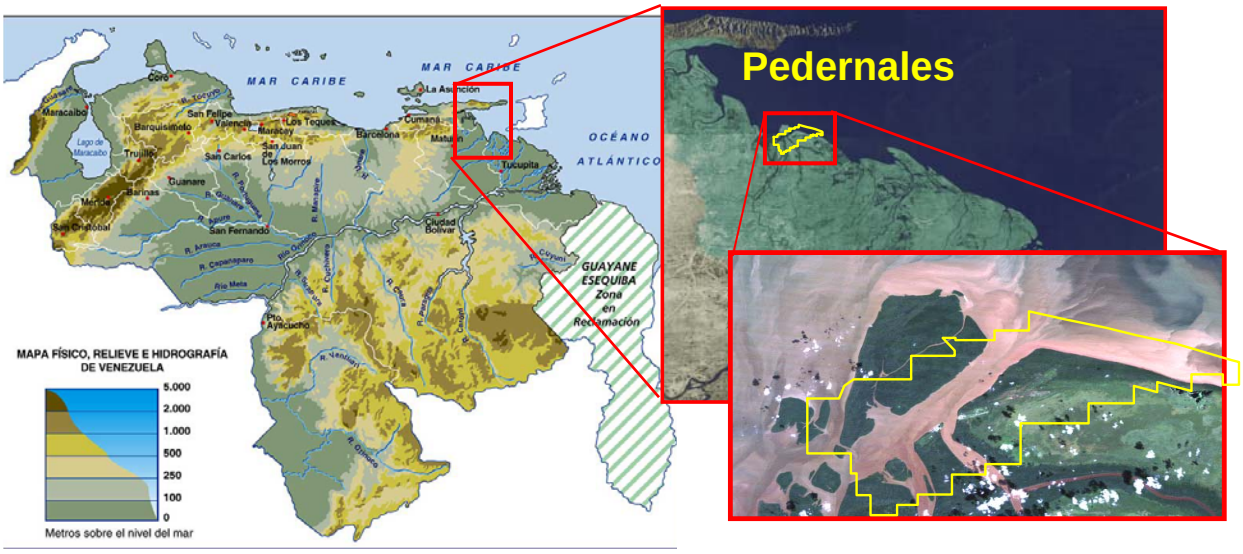


FIGURA 13. Ubicación Relativa del Campo Pedernales

El campo petrolero Pedernales, se encuentra actualmente bajo la operación de la empresa PERENCO VENEZUELA S.A. (PERENCO), como se establece en el convenio firmado con Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) en fecha 4 de Mayo de 2000.

La historia de este campo se remonta a finales del siglo XIX, cuando compañías petroleras comenzaron a perforar pozos en las cercanías de Capure y a explotar los recursos petrolíferos y de asfalto natural existentes en la zona. Sin embargo, no es sino

[46] Plan de desarrollo del Campo Pedernales, 2000. Departamento de Geociencias. Perenco Venezuela.

hasta comienzos de la década de los '30 cuando la Standard Oil de Venezuela (Creole Petroleum Corporation) comenzó con un programa sistemático de exploración y producción del campo.

Luego de un período de inactividad, durante la Segunda Guerra Mundial, el campo Pedernales estuvo operativo con 60 pozos perforados por la CREOLE entre 1947 y 1964, cuando cerró por motivos económicos.

Posteriormente, LAGOVEN, S.A. asumió en 1976 el control del campo, reactivándolo en 1981. Aplicando tecnología de perforación direccional, se construyeron las nuevas plataformas de producción A y E en el caño Pedernales, y en 1983 se cerró nuevamente el campo (en Anexo III plano de instalaciones).

En la Primera Ronda del Proceso de Apertura Petrolera para la reactivación de campos marginales (1992), promovido por PDVSA y el Ministerio de Energía y Minas, se asignó la operación a la empresa British Petroleum, quien estuvo a cargo del campo Pedernales hasta el año 2000, en cuyo periodo desarrolló un total de dos (2) nuevas plataformas con capacidad para 45 pozos cada una, y las instalaciones de producción y procesamiento del campo. A mediados del año 2000, British Petroleum cedió a PERENCO VENEZUELA, S.A. el Convenio de Operación firmado con PDVSA.

4.2. Descripción Ambiental del Área del Campo Pedernales[47]

De acuerdo con la división fisiográfica del Delta del Orinoco, realizada por Alfonzo J. Freile, el área de investigación corresponde a la unidad denominada: Llanos Deltáicos Pedernales, la cual comprende el área central en forma de abanico o triángulo, entre el caño Pedernales y el río Grande, caracterizada por tener los principales tributarios del río Orinoco.

Dicha área se corresponde al sector costero del Delta Inferior, de origen fluvio-marino y marino, donde es determinante la gran influencia de las mareas dinámicas o vivas. Este sector está constituido por marismas, estuarios y formas fluvio-deltaícas, y en él

[47] Estudio de Impacto Ambiental Plan de Desarrollo del Campo Pedernales. E&E 2003.

predominan condiciones de muy mal drenaje, permaneciendo gran parte del área bajo inundación permanente.

4.2.1. Aspectos Climáticos

En términos climáticos, el área se corresponde con un Bosque Húmedo Tropical (bh-T), según la Clasificación Climática de Holdridge, caracterizado por la poca variabilidad del régimen térmico anual, y donde la estacionalidad de las lluvias determina las diferentes situaciones climáticas.

El régimen anual de precipitación tiene dos temporadas lluviosas, la más acentuada en los períodos comprendido entre los meses de junio-agosto y de octubre-diciembre, el período seco se presenta entre los meses febrero – abril, siendo los meses de mayo y enero transaccionales. En el Cuadro 14, se muestran los promedios anuales de los parámetros climáticos más importantes, para el periodo 1990-2000.

CUADRO 14. Promedios Anuales Parámetros Climáticos más Relevantes del Área de Pedernales

Parámetro	Promedio Anual
Precipitación	1500,9 mm
Evaporación	1896,8 mm
Temperatura media	27,1^{o} C
Velocidad de viento	6,6 km/h
Humedad relativa	79%

Fuente: Dirección de Hidrología y Meteorología. Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica 2005.

4.2.2. Suelos e Hidrografía

Los suelos deltanos son poco evolucionados, de mal drenaje, con influencia de las mareas y aporte continuo de sedimentos. Son suelos de texturas pesadas, permanentemente saturados, ubicados en planicies cenagosas, desarrollándose sobre ellos formaciones de lodazal y de pantano. La gran planicie fluvio-marina que constituye el Delta del Orinoco, es un medio de acumulación Holocénica (Cuaternario), considerado como un medio dinámico, donde se evidencia una continua deposición de

sedimentos fluviales y marinos, además de la acumulación reciente de materia orgánica.

Los suelos minerales constituyen casi la totalidad de la superficie estudiada. Según la procedencia del material parental, en el Delta existen dos tipos de suelos: los derivados de la sedimentación fluvial y los que se desarrollan sobre material marino. Los sedimentos son más importantes al sur y a medida que se progresa hacia la costa, la sedimentación fluvial es más débil y el material marino es más importante.

El importante aporte de materia orgánica y la permanente inundación provocan una descomposición anaeróbica que acidifica los suelos. La actividad metabolizante aeróbica exige concentraciones de oxigeno que la lamina de agua no puede incorporar al suelo con la misma velocidad con que se consume.

En cuanto a la hidrografía, el Golfo de Paria es una cuenca con características particulares, ya que en él convergen aportes fluviales así como aguas atlánticas y caribeñas. Recibe el aporte de aguas continentales por medio de ríos y caños entre los cuales encontramos el río San Juan y el caño Mánamo en el que descargan los ríos Uracoa y Morichal Largo, con sus afluentes el Nabo y el Tigre, con su afluente el Aribí.

En el sector deltaíco predominan los procesos fluviomarinos y marinos que han dado origen a los paisajes de planicies cenagosas, marismas, turberas y estuarios. Las condiciones de anegamiento de los suelos son permanentes o sujetas a largos períodos de inundación.

Los aportes de agua son difíciles de drenar debido al relieve muy plano, hasta depresional, y a la fisiografía característica de las islas, relativamente elevada en los bordes y deprimidas en el centro (MARNR, 1979).

4.2.3. Dinámica de las Aguas

La dinámica de las aguas del Golfo es dominada por la corriente Ecuatorial de Guayana, que es bastante fuerte, y entra por Boca de Serpientes con una velocidad de 0,42 m/s. A esto se suma la acción de las mareas y los efectos producidos por la

topografía del Golfo de Paria. La circulación general es afectada por las corrientes locales y los aportes de agua dulce que desembocan en el Golfo.

Las corrientes de marea penetran por las dos Bocas (Dragones y Serpientes), tanto del Atlántico como del Caribe, y se desplazan hacia el Oeste del Golfo donde las velocidades son de 0,6 m/seg, en tanto que hacia la costa trinitaria las velocidades disminuyen debido al efecto de reflexión. En el Anexo V se muestra un esquema de la dirección de las corrientes.

El parámetro velocidad y dirección de corrientes es de suma importancia para quienes tienen la responsabilidad del modelaje de deriva de un derrame de petróleo, pues, sea cual fuere su origen, son las corrientes quienes dictarán la dirección a tomar en caso de un derrame.

4.2.4. Vegetación

La vegetación presente en el área se define como Bosque Húmedo Tropical según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (Ewel y Madriz, 1976). La característica principal del paisaje del Bajo Delta, viene dada por el notorio efecto de la dinámica fluvio-marina y litoral que se refleja, tanto en la morfogénesis del sector, como en el régimen hidrológico a que están sometidos los terrenos (Danielo, A. 1976).

Debido a las condiciones edáficas muy húmedas que caracterizan al medio Deltano, la vegetación del área, su composición florística, estructura poblacional y su distribución, están fuertemente condicionadas por la fisiografía del terreno, los cuales originan variados hábitats que representan condiciones particulares para el desarrollo de un tipo específico de comunidad vegetal.

En la zona litoral, donde predominan los sedimentos de origen marino y una fuerte influencia de la marea, se establece el **manglar**, formación vegetal adaptada a condiciones de elevada salinidad y anegamiento constante.

Se observan dos especies del género Rhizophora. En la Isla Capure, en el sector norte, donde la influencia del océano es directa y las salinidades del agua son mayores,

se observa R. mangle; mientras que en los bordes del caño Cotorra, caño Pedernales y caño Mánamo (Sector Isla de Mánamo), la especie observada es R. racemosa.

El género Avicennia, es más tolerante a condiciones de salinidad elevada, se encuentra en el sector Nor-este de la poligonal. Finalmente, la especie Laguncularia racemosa se encuentra sobre suelos más evolucionados, ocupando un área menor al 5%.

El Pantano Herbáceo constituye otra formación vegetal que, por si sola, ocupa mayor cobertura en el área de investigación (más del 25%). Se encuentra en los terrenos de mayor elevación que no presentan influencia de la marea dinámica, aunque sí de la marea viva. El Pantano Herbáceo se encuentra localizado en la región central de las islas, inmediatamente después de la formación de manglar.

El Bosque de Pantano ocupa menos del 1% en el área de estudio, sobre suelos inundados con una lámina de agua dulce. Florísticamente, presenta menor diversidad que el manglar y mayor que el Pantano herbáceo; dentro de su composición están presentes árboles y palmas.

4.2.5. Fauna

En el área de investigación se presenta una buena variedad de especies asociadas a ambientes marino costeros y fluviales. Las unidades de mayor extensión (ambientes acuáticos) y diversidad de ecosistemas y formaciones vegetales (islas de gran extensión) albergan la mayor riqueza faunística, pues la fauna silvestre está relacionada con cualidades tales como: diversidad de ecosistemas presentes, aislamiento con respecto a otras unidades, recursos disponibles (alimento, refugio, etc.) y grado de intervención antrópica.

- Comunidad Planctónica

Las especies planctónicas, tanto en su componente vegetal (fitoplancton) como animal (zooplancton), son organismos microscópicos pertenecientes a la base de las cadenas alimentarias y son utilizadas comúnmente como indicadores de la calidad del

agua. En el Delta del río Orinoco, la composición de especies fitoplanctónicas varía a lo largo del cuerpo de agua, en relación con la distancia desde su desembocadura al Golfo de Paria, de tal manera que, en las cercanías a la zona deltaíca, domina el grupo de las diatomeas, con altos contenidos de nutrientes y con una proporción muy baja de cianofitas; mientras que en la zona alta y media del río, la proporción se invierten.

Similarmente, en la porción alta y media de este cuerpo de agua, se presenta una menor diversidad de especies, respecto a su sección deltaíca (Varela y Varela, 1983), debido a que en esta última se desarrollan especies estuarinas, dulceacuícolas y marinas, que modifican estacionalmente su proporción.

La densidad total de la comunidad planctónica, disminuye para la época de lluvia o de aguas altas, debido, según algunos autores, a una dilución del número de organismos, al incrementar el volumen de agua presente en el sistema (Holden y Green, 1960).

En la zona más alejada del golfo, el caño Mánamo, la variedad de especies disminuye e incrementa la densidad total de organismos, se registra así una menor equitatividad.

Las poblaciones zooplanctónicas presentes en el área de estudio, también son influenciadas por las condiciones fisicoquímicas existentes en la columna de agua, esta consideración es reforzada por la estructura de la población encontrada a finales de la época de lluvia, la cual indica la presencia de especies marinas y estuarinas en todos los puntos evaluados.

- Comunidad Íctica

El área de investigación también se corresponde con el hábitat de una gran variedad de especies de peces. Una buena parte de estas especies son utilizadas como fuente de alimento por parte de pescadores e indígenas. La fauna de origen marino ocupa esos espacios entre noviembre y abril, siendo reemplazada progresivamente por la fauna dulceacuícola durante los meses de aguas altas, entre mayo y octubre.

El ecosistema manglar en el delta, al forma extensos y tupidos bosques a lo largo de la costa y en las márgenes de los caños, conforma el soporte de una fauna acuática diversa, constituida por larvas y juveniles de peces e invertebrados, que obtienen refugio y abundante oferta de alimentos de distinto origen, alrededor de la intrincada red de raíces que el mangle rojo establece durante el proceso de colonización del medio acuático.

Los aportes sedimentarios de la Cuenca del Orinoco transportados por los caños, al depositarse masivamente en el área de las desembocaduras, forman una capa de sedimentos blandos, con una gran acumulación de nutrientes, que crea un hábitat adecuado para el desarrollo de una diversa y muy rica microflora y fauna acuática de fondo o demersal, principal fuente de entrada de energía al sistema, constituyendo la base de la cadena alimenticia.

La combinación de los factores ambientales mencionados, ha hecho posible el desarrollo de una diversa fauna íctica, así como de macroinvertebrados, algunos de los cuales tienen importancia económica al sostener pesquerías comerciales diversas.

La mayoría de estos organismos (55%) que pertenecen a la categoría estuarino-marinas, penetran las bahías y áreas protegidas como larvas, para luego crecer y migrar al mar a desovar en las zonas próximas a la costa. Dentro de este grupo destacan los bagres marinos de la familia Ariidae tales como: el bagre cabezón, bagre amarillo, bagre mucuro, bagre piedrero (A. Proops); bagre cuinche y la doncella (Bagre Bagre).

Algunos representantes de la familia Carangidae, son muy abundantes como juveniles, especialmente el jurel, el pámpano, y la lamparosa. El camarón blanco y el cangrejo, destacan entre los invertebrados. Entre las especies marinas, típicamente eurihalinas, resaltan el sábalo, la lisa y el lebranche, las cuales son muy abundantes en ciertas épocas del año.

Hay especies que tienen presencia permanente en el estuario, donde cierran o completan su ciclo de vida, entre los que destacan el sapo y el lenguado. Finalmente, hay que destacar la presencia de especies de peces de origen dulceacuícolas que se

presentan casi permanentemente en la desembocadura del caño Mánamo, frente a Pedernales y sus alrededores.

- Comunidad Béntica

La distribución de estas especies, especialmente de aquellas pertenecientes a la macroinfauna béntica, se relaciona principalmente con dos características de los sedimentos: la granulometría y el contenido de materia orgánica. En el área de investigación, ambas características presentan una distribución heterogénea, encontrándose una correlación de spearman positiva entre el contenido de materia orgánica y la densidad total de organismos.

La distribución de especies por grupo, se mantuvo similar a lo señalado en otras áreas del país, donde el mayor porcentaje de dominancia corresponde a los poliquetos, seguido por los crustáceos.

Como parte importante de esta comunidad, se encuentran varias especies intensamente explotadas en el área de estudio, como son los camarones, los cuales son comercializados por pescadores venezolanos y trinitarios, sobre la base del acuerdo pesquero establecido entre ambos países.

Con respecto a los organismos presentes en el área, se puede decir que los poliquetos y los malacostracos son los más comunes en este tipo de ambiente estuarino. Los primeros pueden vivir en diversos tipos de hábitats, desde aguas someras hasta zonas abisales y muy en especial, fondos blandos (Barnes, 1985). Los organismos pertenecientes al orden malacostraca, son principalmente marinos y con frecuencia habitan el fondo de las zonas litorales en ambientes estuarinos y dulceacuícolas (McLaughlin, 1980).

- Especies amenazadas

El Bloque Pedernales se encuentra dentro del área de distribución de algunas especies cuyas poblaciones, por presentar bajas densidades, están protegidas por la legislación venezolana.

Entre las especies a considerar, se destacan algunos mamíferos como el manatí, en peligro de extinción y considerado en veda indefinida por la Resolución MARN N^{o} 95 del 28-11-1979. El delfín de río y el delfín estuarino, clasificados como especies insuficientemente conocidas y en menor riesgo casi amenazado, respectivamente, no se encuentran incluidos en la lista oficial de animales de caza, por lo tanto su cacería está prohibida por la Ley de Protección de la Fauna Silvestre de 1970.

Varias especies de reptiles utilizan el Golfo de Paria como hábitat, considerándose a la tortuga caguama, la tortuga cardón, la tortuga verde, la tortuga carey y la tortuga guaraguá, como especies vulnerables y en peligro de extinción, estando bajo veda por tiempo indefinido, según Resolución MARN N^{o} 95 de fecha 28-11-1979.

Entre los moluscos se encuentran la ostra de mangle, la ostra perla, la pepitona, el caracol pentagrama, las cuales son clasificadas como especies en menor riesgo; en el caso de las ostras se regula su tamaño mínimo de captura (> 8 cm).

- Invertebrados

Destaca la gran cantidad y variedad de insectos, algunos de los cuales resultan molestos y/o perjudiciales para el hombre, tales como la palometa peluda (Hylesia Mutabus), mariposa cuyas cetas (pelos) y huevos resultan urticantes y generan lesiones muy dolorosas al contacto con la piel humana. Los mosquitos también son importantes, especialmente por el repunte en el país de enfermedades como dengue y paludismo, de las cuales son vectores.

Los pequeños invertebrados (crustáceos, gusanos), presentes en los suelos fangosos, constituyen otro grupo importante como alimento para los niveles tróficos superiores y determinantes para la presencia de una gran variedad de aves acuáticas.

- Vertebrados

En cuanto al número de especies de vertebrados registradas en el campo, el grupo de las aves ocupa el primer lugar (58 especies), seguido en número por los reptiles (32),

los mamíferos (26) y finalmente los anfibios (5). Una publicación reciente (Linares, 1998) indica que el número de especies de mamíferos presentes en el sistema deltaíco alcanza a 66.

El hábitat de los mamíferos de menor tamaño, en las zonas de vegetación más densas (bosques de pantano y manglares), se extiende desde el estrato superior de los árboles hasta el suelo. Entre las especies reportadas se mencionan: cunaguaros, zorros, lapas y varias especies de murciélagos. Igualmente, aunque en una baja proporción, se han reportado varios géneros de monos y algunos roedores.

En las zonas de bosque de manglar se encuentra la mayor diversidad de especies de aves con relación a las demás formaciones vegetales, y se observan las mayores colonias de anidación de aves acuáticas zancudas, como garzas, tijeretas e ibis. Son importantes para las épocas reproductivas, los morichales y diversas asociaciones de palmas presentes en el área de estudio, ya que en ellas anida una gran cantidad de loros, pericos y guacamayas (Phelps, 1979).

4.3. Descripción de las Instalaciones del Campo Pedernales

Las instalaciones del campo Pedernales comprenden cinco (5) plataformas de perforación de pozos y dos (2) plataformas de procesamiento que le dan al campo una capacidad nominal total para 50 000 barriles diarios de crudo. De un total de 117 pozos perforados en el campo, solo 47 están en plataformas, el resto son pozos individuales y, mayormente, ya abandonados. Las plataformas de procesamiento pueden separar gas y agua de la corriente de crudo, y utilizar el gas para generar su propia energía eléctrica de consumo. El perfil de producción del campo ha declinado en los últimos 5 años, pasando de una producción de 12 000 BPD a 5 500 BPD para mediados del 2005, pero incrementando la producción de las corrientes asociadas como las de gas, agua de formación y arenas de producción (plano de instalaciones en Anexo III).

- Plataforma Central “B” – “Orgullo del Delta” (ODD)

Esta es una planta y/o plataforma de procesamiento de crudos denominada “Orgullo del Delta”, con capacidad para procesar hasta 20 000 barriles por día (BPD). Fue

construida en 1996 durante la denominada Fase I como parte del desarrollo inicial del campo. Posee un total de 26 pozos de los cuales 9 son pozos productores, 13 pozos están cerrados, 3 son de inyección de gas y 1 de inyección de aguas de formación. Disponía también de un pequeño muelle, actualmente fuera de operación. Esta plataforma tiene equipos para el tratamiento del crudo, incluyendo deshidratación, compresión de gas asociado para inyección en el yacimiento, tratamiento del agua de formación y de producción, y bombeo de crudo a la plataforma auxiliar. La mayor parte del gas producido se reinyecta al yacimiento.

- Plataformas de Perforación y Producción "F" (NE) y "G" (ENE)

Estas dos plataformas de perforación y producción se construyeron en la Fase II (1997) de las operaciones de British Petroleum. La plataforma Nor-Este (NE) o F está ubicada a 3,5 Km de la Plataforma Central B u ODD, adyacente a la Isla Cotorra; la Este-Nor-Este (ENE) o plataforma G, se localiza fuera del canal de navegación adyacente, y al este de la Isla Capure en el Golfo de Paria. Ambas instalaciones, NE y ENE, son casi idénticas y están diseñadas como plataformas para perforación, producción y protección de pozos.

Estas plataformas se diseñaron para manejar veinticinco (25) pozos, y permitir las operaciones simultáneas de perforación y producción, con una capacidad de procesamiento de 25 000 BPD de líquidos y 80 millones de pies cúbicos diarios (MMPCD) de gas, utilizando equipos básicos para la separación primaria del gas y los líquidos para enviarlos a la Plataforma de Procesamiento Flotante Sumergible (PPFS).

Las operaciones que se realizan en la plataforma "F" ("NE") se pueden agrupar básicamente en: extracción de crudo y separación líquido-gas; mantenimiento del yacimiento mediante manejo de agua de formación, gas de inyección, y agua de inyección; y remoción de Arena.

En la plataforma "F" se perforaron cinco (5) pozos, de los cuales tres (3) son productores, uno (1) para inyección de gas y el otro para inyección de agua; en la plataforma "G" se tienen doce (12) pozos (10 productores y 2 cerrados).

- Plataforma de Procesamiento Flotante Sumergible (PPFS) – Gabarra de Producción “La Pinta”



FIGURA 14. Plataforma FSPP – La Pinta

La Plataforma de Procesamiento Flotante Sumergible (PPFS, o también conocida como FSPP por sus siglas en Inglés) funciona como una estación de flujo. Es una gabarra de producción diseñada para contener los equipos requeridos para la deshidratación del crudo húmedo, compresión del gas asociado hasta la presión requerida para su inyección, tratamiento del agua de formación, y producción y bombeo del crudo a la plataforma auxiliar. Se ubica en la zona marina en la Boca de Pedernales sujeta una estructura con pilotes. La Figura 14 muestra una imagen de la Plataforma de Procesamiento Flotante Sumergible.

- Instalaciones para el Sistema de Recolección y Transferencia de Fluidos

La Plataforma Auxiliar está ubicada a unos 240 metros al este de la plataforma NE. Proporciona un sitio de entrada y salida de las líneas de flujo de las plataformas NE y ENE, y a su vez para diferentes sistemas utilizados por la plataforma PPFS. La conexión entre la plataforma auxiliar y la plataforma de perforación NE, terminal de almacenamiento y embarque, mechurrio y la plataforma PPFS es por puente de tuberías y da acceso al personal. Las líneas de flujo desde la plataforma ENE van por tubería submarina. La plataforma auxiliar está diseñada para manejar 45 000 BPD de crudo, 5 000 BPD de agua y 125 MMPCD de gas. La Figura 15 muestra una vista de la plataforma auxiliar.



FIGURA 15. Vista de la Plataforma Auxiliar

- Instalaciones para el Almacenamiento y Despacho de Crudo “Carite”

El Terminal de embarque está ubicado en el canal y alejado de la costa, para permitir que las gabarras de exportación tengan fácil acceso, con profundidades superiores a los 6 m. El Terminal de Embarque cuenta con facilidades para almacenamiento de crudo en gabarra para 50 000 barriles (“Carite”, Figura 16) nominales de capacidad con sistemas para bombear crudo a la gabarra de exportación, y se ubicada en el lado interno del muelle, paralela a la costa de la Isla Cotorra.



FIGURA 16. Vista de Gabarra de Almacenamiento “Carite”

- Instalaciones para Alojamiento de Personal – Gabarra “La Tonina”

El alojamiento del personal que se requiere para operar las instalaciones se hace en una gabarra de alojamiento que se ubica en el canal al Sur-Oeste de la plataforma NE, a una distancia aproximada de 97,5 m, y que está conectada al resto de las instalaciones por medio de puentes de acceso.

Esta instalación dispone de facilidades para alojar hasta 120 personas, con un Centro de Respuesta para Emergencias (CRE); recepción y oficina de seguridad; enfermería; cocina, comedor y almacén, incluyendo refrigeradores; lavandería; talleres varios y área recreacional. Adicionalmente, la gabarra cuenta con talleres mecánicos, área para la planta de tratamiento de aguas servidas, almacenamiento de agua, y otros. El abastecimiento de agua potable e industrial se realiza a través de agua traída de Güiria. La electricidad es suplida desde la planta de procesamiento PPFS al tablero de distribución de la gabarra. La Figura 17 muestra una vista de la gabarra de almacenamiento.



FIGURA 17. Gabarra de Alojamiento “Tonina”

- Pozos Existentes

La empresa PERENCO ha desarrollado sus actividades en el campo Pedernales manejando las instalaciones de procesamiento alimentadas por un total de cincuenta (50) pozos, emplazados en las diferentes plataformas y localizaciones aisladas. La plataforma “B” contiene un total de 25 pozos, la “F” tiene 5, la “G” tiene 9, la “E” tiene 4, además de otros 7 pozos en localizaciones aisladas. No obstante, el total de pozos perforados en el campo desde su descubrimiento es de 117, de los cuales 45 están abandonados. El Anexo III muestra un plano de ubicación general de las instalaciones del campo Pedernales.

4.4. Corrientes de Desechos del Campo Pedernales

Las actividades en el campo Pedernales se definen en dos grandes grupos, Perforación y Producción. Las actividades de producción son ejecutadas por el personal de campo que se aloja en la gabarra “La Tonina”, mientras que las actividades de perforación y servicios a pozos las ejecutan las empresas de servicio que llegan a las instalaciones con sus propios equipos. En términos generales son operaciones independientes, si bien, las últimas requieren apoyo de las facilidades de producción. No obstante, cada una de estas actividades posee diversas corrientes de desecho, las cuales fueron levantadas durante la investigación de campo.

- Actividades de Perforación y Servicios a Pozos

Las actividades de perforación generan una parte muy importante de los desechos o corrientes de descargas cuando éstas se llevan a cabo en el campo. Por su parte, las actividades de servicio a pozos son de menor magnitud, y las corrientes de descarga representan un menor volumen. Cada servicio a pozo dependerá del grado de dificultad de la actividad a ejecutar y de las condiciones del pozo y, en consecuencia, los volúmenes de desechos son muy variados entre una actividad y otra (o para diferentes pozos). Por ejemplo, un servicio de cañoneo de intervalos adicionales genera una variedad de desechos diferentes, en composición y en volumen, que un servicio de limpieza de arena en el mismo pozo.

El departamento de Seguridad, Higiene y Ambiente establece cláusulas contractuales a las empresas de servicio que manipulan y desalojan la mayor parte de los desechos generados en la actividad, con excepción de los desechos domésticos, arenas de producción y de las aguas servidas. Por lo general, el resto de las corrientes se refieren a fluidos de control de pozo y limpieza química, cuyos recipientes y envases deben ser retirados al término de los trabajos para luego ser recuperados y llevados a tierra firme para su neutralización.

Para el caso de la perforación, se tienen registros de mayor detalle de las corrientes generadas en el Taladro. El Cuadro 15 muestra un detalle de las corrientes de desecho para las actividades de perforación del pozo PCG-B llevadas a cabo a mediados del 2002 en el campo Pedernales por Maersk Drilling.

Un análisis general de los volúmenes manejados en la perforación del pozo indica que la mayor parte de los desechos son transportados a tierra (ripios en base aceite) o descargados al mar (caso de los ripios en base agua).

- Actividades de Producción

Por su parte, las actividades de producción son manejadas por la operadora en su totalidad. Entre las corrientes de desechos que deben ser manejadas por la operación del campo Pedernales, se han identificado las siguientes.

Agua de formación: un promedio de 33 000 barriles por mes de aguas de formación que son inyectados al subsuelo mediante un pozo de inyección en la formación La Pica.

Gas de Quema: un promedio de 4 a 6 millones de pies cúbicos por día son quemados en los tres mechurrios que poseen el campo Pedernales. La mayor parte del gas de producción (85%) es inyectada como fluido de recuperación secundaria y utilizada como gas lift para mejorar la producción de los pozos. Otra parte se quema en las unidades generadores para producir la energía eléctrica que requieren los equipos e instalaciones y los centros poblados de Capure y Pedernales, y una última fracción (3%) es utilizada como gas de quema.

CUADRO 15. Resumen de Corrientes de Desechos Generadas en la Perforación del Pozo PCG-B. Campo Pedernales

Compuesto	Volumen	Tratamiento	Observaciones
Ripios Base Agua (sección 17 1/2")(m^3)	160,48	Descarga a Boca de Serpiente	Generados en la primera sección de perforación y colocados en la Gabarra para su descarga
Ripios Base Aceite (sección 12 1/4")(m^3)	130	Landfarming (Proambiente)	Colocados en cajas metálicas y transportados por mar y tierra a Proambiente en Maturín
Ripios Base Aceite (sección 8 1/2")(m^3)	56	Landfarming (Proambiente)	Colocados en cajas metálicas y transportados por mar y tierra a Proambiente en Maturín
Restos de cementación (m^3)	40	Landfarming (Proambiente)	Colocados en cajas metálicas y transportados por mar y tierra a Proambiente en Maturín (empresa de servicio)
Consumo de combustible (lts)	145 720		Emisiones atmosféricas por sistemas de escape de los motores de combustión
Aceites y combustibles desechados (lts)	450	A la FSPP en línea de flujo	Transportados en cajas metálicas e incorporados a la línea de producción
Desechos Doméstico (Kg)	1 600	Relleno Sanitario Güiria	Colocados en sacos de nylon y compactadas para su disposición en el relleno sanitario de Güiria
Trapos y desechos aceitosos (Kg)	2 400	Incinerados por EOICA, empresa de servicios	Colocados en tambores y transportados por mar y tierra a EOICA Anaco Edo. Anzoátegui para su incineración
Madera (kg)	780	Reciclada en Güiria	Transportada por mar al muelle de Güiria
Baterías (und)	5	Reciclada en Güiria	Entregadas a recuperadores
Crudo (bbl)	110	A la FSPP en línea de flujo	Transportados en cajas metálicas e incorporados a la línea de producción
Restos de comida (kg)	2 400	Descargados al mar	Triturados en macerador e incorporados en la línea de descarga de aguas servidas tratadas
Aceite comestible usado (lts)	80	A la FSPP en línea de flujo	Mezclados con aceites usados e incorporados a la línea de producción
Desechos Peligrosos (cortes, muestras, etc.)(m^3)	3	Landfarming (Proambiente)	Colocados en cajas metálicas y transportados por mar y tierra a Proambiente en Maturín
Lodos base agua, fluidos de cementación y limpieza del sistema (sección 17 1/2")(m^3)	319,5	Descarga a Boca de Serpiente	Generados en la primera sección de perforación y colocados en la Gabarra para su descarga, autorizada por el MARN

Fuente: Informe de Supervisión Ambiental, Pozo PCG-12. Campo Pedernales, 2002. Perenco Venezuela.

Desechos Sólidos Domésticos: Un promedio de 2 700 a 3 000 kg/mes de desechos domésticos son almacenados en bolsas plásticas y transportados al relleno sanitario de Güiria con una frecuencia inter-diaria.

Desechos Sólidos Industriales: Para el año 2005 se registró un promedio de 2 150 kg/mes de desechos industriales, los cuales incluyen: tambores vacíos, desechos metálicos y desechos contaminados con hidrocarburos (textiles, filtros, etc.), de los cuales el 55% se corresponde con los desechos petrolizados o contaminados. Los

aceites usados y fluidos lubricantes de recambio son incorporados en la corriente de producción.

Aguas Servidas: las aguas servidas procedentes de las instalaciones de alojamiento se conducen a la planta de tratamiento en "La Tonina", y luego son descargados directamente al Caño. Un promedio de 6,5 m^3/d de aguas tratadas son descargadas al caño.

Arenas de Producción: la tasa de generación de las arenas de producción es variable en el tiempo y depende de la tasa de producción de crudo, de los pozos que están fluyendo y del mantenimiento y operación (control de Choke) de los mismos. En los últimos 5 años, el promedio o tasa de producción ha oscilado entre 28 a 3,5 barriles de arena por día, aproximadamente.

Entre los desechos que, por sus características, pueden ser definidos como desechos peligrosos, y además se producen con cierta frecuencia y significativo volumen se identifican las arenas de producción, las cuales son evacuadas de las instalaciones y transportadas a tierra para su tratamiento. De allí el objetivo de la investigación. El Cuadro 16 muestra los indicadores de desechos del campo Pedernales para el año 2005.

CUADRO 16. Tasas de Generación de Corrientes de Desechos de Producción Campo Pedernales, 2005

Mes	Arenas (Kg)	Aguas de Producción (Barriles) 1 bbl=159 L	Desechos Médicos (Kg)	Desechos Metálicos (Kg)	Tambores Vacíos (Kg)	Desechos Petrolizados (Kg)	Desechos Domésticos (Kg)
Enero	82 940	35 867	-	-	210	1 450	2 920
Febrero	-	24 159	-	-	680	300	1 684
Marzo	6 000	24 952	2	-	890	1 350	2 640
Abril	-	24 086	-	-	882	750	3 040
Mayo	22 500	34 151	-	-	800	360	2 400
Junio	27 800	27 922	2	-	300	1 800	3 360
Julio	-	29 871	-	-	670	1 050	3 520
Agosto	12 000	26 084	-	1 440	920	1 050	3 680
Septiembre	67 500	24 800	3	500	1 030	1 800	4 000
Octubre	-	23 236	-	1 320	480	2 700	3 500
Noviembre	-	24 450	2	-	1 080	450	2 750
Diciembre	-	30 981	2	450	620	450	2 840
Total del Año	218 740	330 559	11	3 710	8 562	13 510	36 334

Fuente: Informe trimestral de Supervisión, Octubre-Diciembre 2005. Campo Pedernales.

4.5. Caracterización de las Arenas de Producción del Campo Pedernales

Como se ha comentado en las secciones y capítulos anteriores, el campo Pedernales explota la formación La Pica, del terciario, en el Miembro Pedernales, donde el hidrocarburo quedó entrampado en los canales de arena y facies del delta antiguo, siendo el componente sellante las arcillas y materiales finos que evolucionan acorde con la pro-gradación del delta y pro-delta. De profundidades ligeramente someras (6000 a 7000 pies), las formaciones del miembro Pedernales son poco consolidadas y de buena porosidad y permeabilidad. No obstante, la matriz del cuerpo del canal es muy sensible al movimiento de los fluidos y a las alteraciones y variaciones de presión.

Los cuerpos de arenas que son penetrados por los pozos, cuando entran a producción son sometidos al movimiento de los fluidos en extracción, y a las variaciones de presión en el yacimiento, especialmente en la cara o alrededor de los pozos. Estas variaciones y movimientos de fluidos en una matriz sensible provocan el desprendimiento de los granos finos, ya que las fuerzas de corte son mayores a las fuerzas de cohesión de la matriz. Así, los pozos entran en producción y los fluidos que se extraen arrastran las partículas finas que se desprenden de la matriz ingresando a los pozos y, posteriormente, a las líneas de producción e instalaciones en superficie.

Cuando las tasas de producción se reducen, el fluido disminuye su velocidad de ascenso y las partículas de arenas decantan en el interior del pozo. Al pasar el tiempo, el interior del pozo se satura logrando acumular un volumen importante de arenas que cubre casi la totalidad de la zona productora (zona cañoneada), y muchas veces por encima de ésta.

Bajo este esquema de producción, el campo Pedernales produce un volumen significativo de arenas de producción, el cual sedimenta en las líneas de crudo y en los equipos de separación. Anualmente, se efectúan 2 paradas de mantenimiento en cada uno de los trenes de producción en forma alterna para no detener la producción. Las arenas sedimentadas son extraídas de los equipos mediante un proceso de lavado con agua a chorro que las resuspende para luego extraerlas por efecto de turbulencia. Para el caso de las líneas de flujo, un equipo raspatubo (cochinos) se introduce en cada una de las líneas desde las trampas ubicadas en cada extremo de las mismas. A la salida

del raspatubo, este expulsa todo el material sólido que se va decantando en el interior de la línea, el cual se recolecta antes de reponer la operatividad de la línea.

Visto que las arenas de producción son arena de la matriz de roca que entrampa al hidrocarburo, estas emergen impregnadas en crudo, y así permanecen hasta que son extraídas del pozo o de las líneas y equipos. La arena de producción esta conformada en un 90% de arena impregnada con petróleo y un 10% de agua dulce contenida en esta arena como consecuencia del lavado de las tuberías y/o equipos. La Figura 18 muestra una imagen de las arenas de producción contenidas en cajas metálicas de 25 barriles. El contenido de líquidos se aprecia alto, pues es la parte flotante o "nata" que se acumula en la parte superior luego que las arenas permanecen en la caja por más de 24 horas.

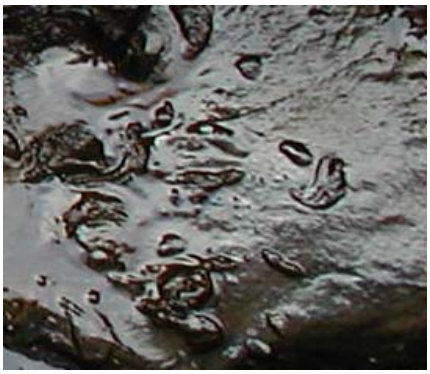


FIGURA 18. Arena de Producción en Contenedores de recolección

Un primer test de lixiviados, localizado en la base de información de estas arenas, fue elaborado por British Petroleum (BP) en 1999. El Cuadro 17 muestra los resultados. El mismo test de lixiviados, para las arenas de producción sin tratar, se efectuó durante los años 2002 y 2004. La Tabla 18 Muestra los resultados.

Para el caso particular de la densidad de la arena, los valores promedios obtenidos de 1,8 a 2,2 ton/m^3 indican una alta presencia de arenas en contraste con limos o arcilla. Y en lo referente a la granulometría se tienen granos que oscilan entre 0,2 a 0,9 mm (arenas finas) con D_{50}= 0,3 mm.

CUADRO 17. Test de Lixiviados Arenas de Producción no Tratadas, BP 1999

Parámetros	Arenas de Producción	Limite Lixiviados Decreto 2635.
Inflamabilidad (^{o}C)	>100	>60,5
Corrosividad (s.u.)	>8,1 - <8,3	>2 y <12,5
Reactividad (ppm)	>0 - <1,3	0
Test de Lixiviación (mg/l)		
Antimonio	0,9 – 1,6	5
Arsénico	0,005 – 0,014	5
Bario	1 – 2,4	100
Cadmio	0,02 – 0,06	1
Cromo	0 - <0,01	1
Cobre	0,3 – 0,34	5
Mercurio	0 – 0,04	0,2
Níquel	0,003 – 0,34	1
Plata	0 – 0,02	10
Plomo	0 – 1	5
Selenio	0,001 – 0,07	10
Titanio	0 – 0,1	10
Zinc	0,18 – 11	10
Metales totales	2,487 – 15,764	10
Compuestos de Fenoles	0 – 0,1	2
Piridinas	0 – 0,01	0,5
Fluoruros	0 – 0,1	150
Total Bifenilos Policlorados	0 – 0,005	0,01
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos	0,057 – 0,39	1
Aceites Minerales y Grasas	2 – 7	30

Fuente: E&P Waste management in The Orinoco Delta. SPE 66577. 2001.

CUADRO 18. Test de Lixiviados Arenas de Producción no Tratadas, 2002-2004

Parámetros	Arenas de Producción 2002	Arenas de Producción 2004	Limite Lixiviados Decreto 2635.
pH	7,7	7,6	
Densidad (g/cc)	2,5	2	
Test de Lixiviación (mg/l)			
Antimonio			5
Arsénico	<0,05	<0,005	5
Bario	16,5	1,4	100
Cadmio	0,050	<0,01	1
Cromo	0,118	<0,5	1
Mercurio	<0,05	<0,01	0,2
Níquel	0,281	<0,01	1
Plata	<0,050	<0,01	10
Plomo	0,531	<0,01	5
Selenio	<0,050	<0,001	10
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos	2,07	4,1	1
Aceites Minerales y Grasas	3,99	5	30
Zinc	0,11	-	10
Metales Totales	1,5	-	10

4.6. Sistema de Tratamiento y Disposición Actual de las Arenas de Producción del Campo Pedernales

- Tasas de generación

La tasa de generación de las arenas de producción en el campo Pedernales es variable en el tiempo, y está función de: la tasa de producción de crudo, la forma como se ha completado el pozo y el control de Choke que reciben. No obstante, en términos generales, las tasas medias de producción oscilan entre 3 a 10 cajas por mes (10 a 40 m^3/mes), a excepción de las épocas de mantenimiento (abril a mayo) de los trenes de producción donde en un mes se pueden tener entre 30 a 50 cajas. Estos valores están ajustados a las tendencias de los últimos 2 años (2003-2004). En el Cuadro 19 se muestra la variabilidad del volumen generado durante los últimos 5 años.

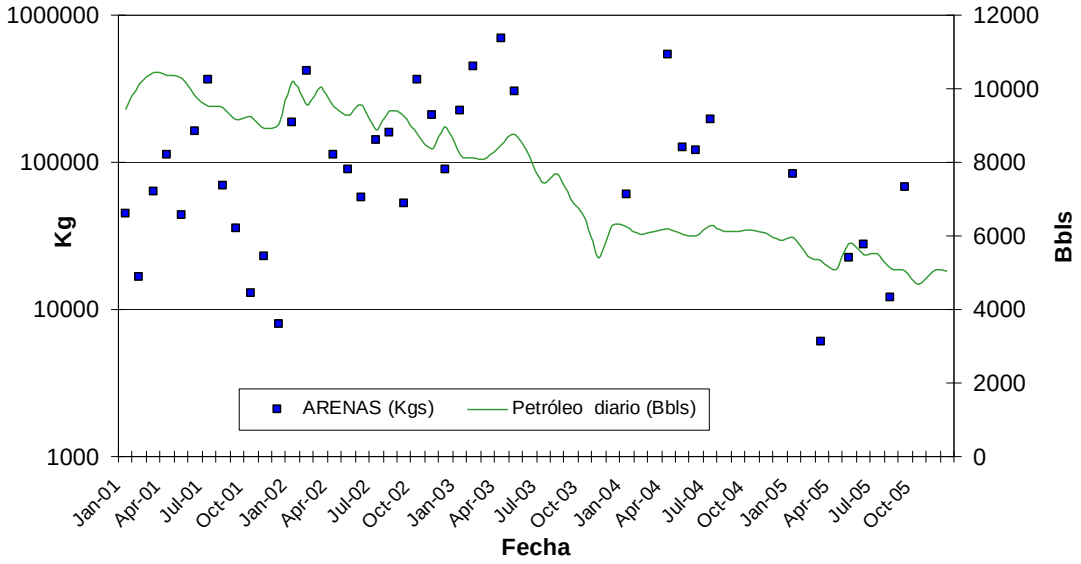
CUADRO 19. Tasas de Generación de Arenas de Producción en el Campo Pedernales (Unidades en Cajas)

Años	2001	2002	2003	2004	2005
Enero	6	27	37	10	14
Febrero	3	48	75	0	0
Marzo	9	3	0	0	1
Abril	18	22	115	91	0
Mayo	6	9	50	21	4
Junio	33	7	0	20	5
Julio	60	17	50	33	0
Agosto	15	24	15	0	2
Septiembre	6	9	0	0	11
Octubre	3	39	14	0	0
Noviembre	3	21	30	0	0
Diciembre	2	9	13	9	0
Total	164	235	399	183	36
Promedio/mes	14	20	33	15	3

La tabla anterior indica una marcada tendencia a la baja en la producción de arenas en el último año, debido, en parte, por la disminución de producción (Figura 19), esto es en términos dinámicos, por el efecto de ecualización de la presión del yacimiento y velocidad de flujo de los fluidos extraídos. A mayor presión en yacimiento, mayor

empuje de fluidos (y producción), por ende mayor arrastre de arenas desde el yacimiento hacia el pozo.

FIGURA 19. Producción de Crudo vs Arenas 2001-2005



Visto que en los planes de desarrollo del campo Pedernales[48] se plantea una campaña de perforación de pozos inyectores de agua y gas para incrementar la presión (energía) del yacimiento, se espera que la producción de crudo se incremente en un 55% pasando de 4000 bbl/día a 7000 bbl/día. Esto implica un incremento de las tasas de generación de arenas de producción para el futuro cercano.

- Almacenamiento y Transporte

Las arenas de producción son recolectadas en cajas metálicas (Figura 20), de forma cubicular y de tapas marinas que se sellan mediante gomas en los bordes o juntas de la cubierta hermética. Las cajas se llenan hasta el 75% de su capacidad (4 m^3), llegando a tener un peso de hasta 12 toneladas (incluye peso muerto). Este llenado parcial se hace con la intención de minimizar la fuga de los fluidos, durante el transporte, que permanecen en la superficie de las arenas almacenadas.

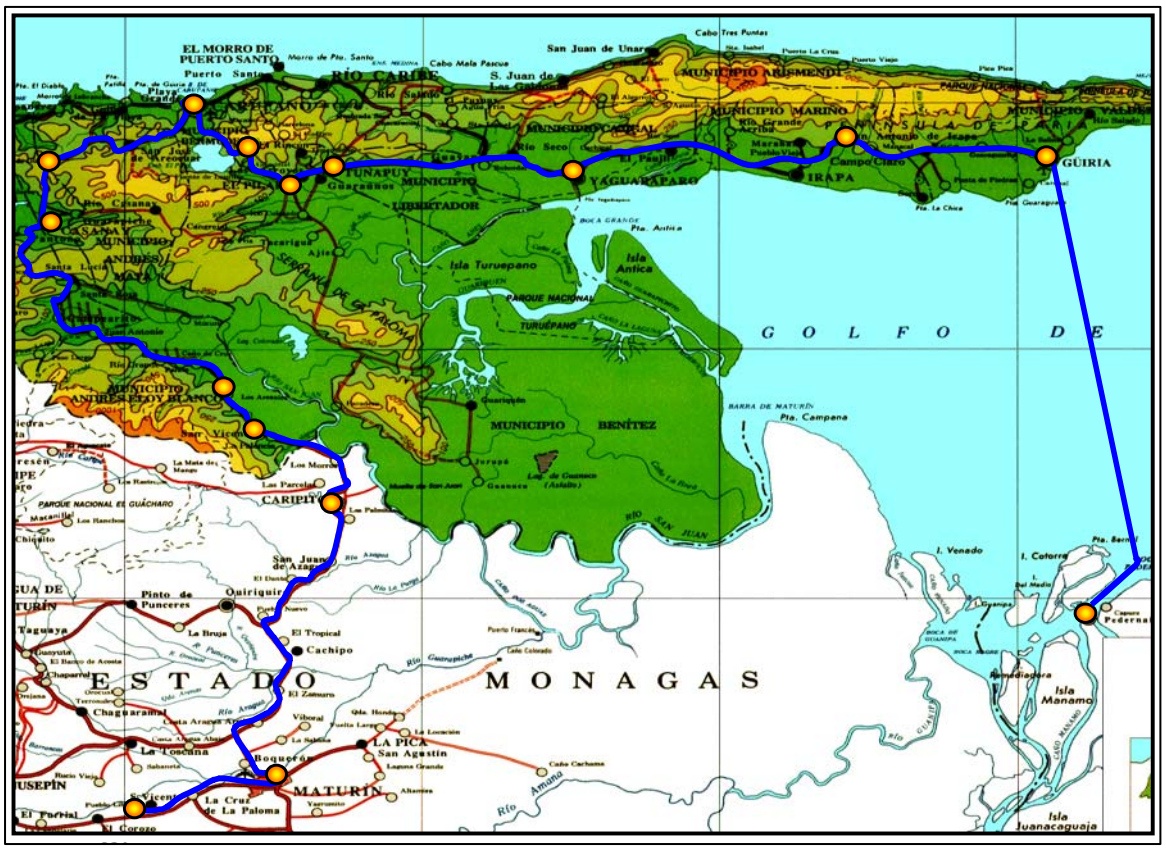


FIGURA 20. Cajas de Almacenamiento de Arenas de Producción

[48] Proyecto de Inyección de Agua del Campo Pedernales. Perenco Venezuela, 2004.

Luego se utiliza un remolcador o embarcación de carga para transportar las cajas metálicas al puerto en tierra por una ruta de 75 km hasta el puerto de Güiria en el estado Sucre, de donde son transportadas por tierra en carga pesada hasta una localidad de Maturín (260 km por tierra) hacia las instalaciones de PROAMBIENTE (empresa de servicios), donde se le practican un tratamiento de land-farming. Una vez vaciada, las cajas son lavadas, revisadas y transportadas de nuevo al muelle de Güiria para su re-embarque hacia la plataforma cuando sean requeridas. El costo de esta operación alcanza los 950 $ por cada caja de 25 bbl. La Figura 21 muestra la ruta (en azul) de los sistemas de transporte de las cajas de arenas de producción.

FIGURA 21. Ruta de Transporte de las Arenas de Producción. Campo Pedernales



El tiempo de transporte marino tiene una duración aproximada de 7 horas, desde la plataforma FSPP hasta el Muelle de Güiria. El remolcador posee una capacidad máxima de 40 cajas, pero, por lo general, no se permite acumular este volumen en plataforma y son transportadas con mayor frecuencia en cantidades de 3 a 5 cajas, tomando provecho de otros viajes de carga.

El transporte vía terrestre es en camiones de carga larga autorizados para transportar desechos sólidos contaminados (Figura 22). El transporte comienza en la población de Güiria y luego toma la carretera que conduce hasta Carúpano, de ahí a la cuidad de Maturín. Los centros poblados principales asociados a la vialidad son: Güiria, Yoco, Campo Claro, Irapa, Yaguaraparo, Tunapuy, El Pilar, Carúpano, Casanay, San Vicente, Caripito, la cuidad de Maturín, y Puerto Libre. La duración del viaje por tierra es de ocho (8) horas. Cada unidad puede transportar un máximo de tres (3) cajas de 25 bbl. La frecuencia de viaje es de 2 veces por mes desde Pedernales hasta Güiria, cuando no se esta en periodo de limpieza y mantenimiento de pozos y equipos. En muelle Güiria, las cajas se arreglan en un almacén y son transportadas según la disponibilidad de transporte terrestre.



FIGURA 22. Transporte Terrestre de Cajas de Arenas de Producción

- Tratamiento y Disposición Final

El tratamiento y disposición final se realiza en la empresa PROAMBIENTE, especializada en la bioremediación, ubicada en la localidad de Puerto Libre, Maturín, Estado Monagas.

Básicamente, el tratamiento consiste en mezclar las arenas de producción con suelo del área a una razón de 3:1. Posteriormente, se colocan nutrientes para acelerar los procesos enzimáticos de las bacterias, el suelo se mezcla y remueve cada 6 semanas para airear las zonas que se encuentren al fondo de la celda de tratamiento. El tratamiento dura de tres a cuatro meses, para poder recuperar por completo las arenas que luego son dispuestas sobre un terreno asignado, estando ya disponibles para la siembra de especies no comestibles.

Para asegurar que la mezcla de las arenas de producción/suelo han adquirido el tratamiento adecuado, se toman muestras y se efectúa análisis de lixiviados para medir la concentración de aceites e hidrocarburos totales, mercurio y otros metales pesados.

Una vez que la concentración de compuestos analizados se encuentren por debajo del rango permisible (Decreto 2635), el suelo tratado se extrae de la celda y se ubica en celdas de reforestación, para que la actividad vegetal promueva el desarrollo de nuevas bacterias de descomposición y fracturamiento de las cadenas moleculares más cortas o no fracturadas en el tratamiento previo.

4.7. Calidad de Aguas y Sedimentos

En esta sección se presenta el análisis histórico de la información de monitoreo y muestreo de aguas y sedimentos, así como la información de campo muestreada y analizada durante el periodo de investigación. La Figura 23 indica los sitios donde se efectúa la captura de las muestra de aguas y sedimentos. Los sitios de muestreo se corresponden con puntos de monitoreo fijo, los cuales vienen siendo analizados y muestreados durante los últimos 8 años, para garantizar un mejor seguimiento, visto la variabilidad de las condiciones del Delta. En el Anexo III se muestra un plano en mayor detalle de los sitios de muestreo.

- **Calidad del Agua**

En zonas deltaícas, las características fisicoquímicas del agua poseen cierta complejidad, como resultado de procesos naturales característicos de ambientes estuarinos. La dinámica cambiante y la interrelación estrecha que existe con un amplio sector industrial del país, consecuencia de la dinámica fluvial asociada al Orinoco, no permite establecer un patrón tendencial certero y confiable, toda vez que hasta las perturbaciones climáticas que se ocurran en la parte sur del país, se ven reflejadas en menor o mayor grado en el Delta, y además desplazadas en el tiempo. De manera que, los análisis de calidad de agua y sedimentos son análisis puntuales que reflejan una condición particular en un momento dado, y que puede variar perfectamente en otro estado del tiempo, aun sin tener ninguna inherencia a las instalaciones de producción de campo Pedernales, cosa que también es muy difícil de discernir y precisar en este particular ecosistema.

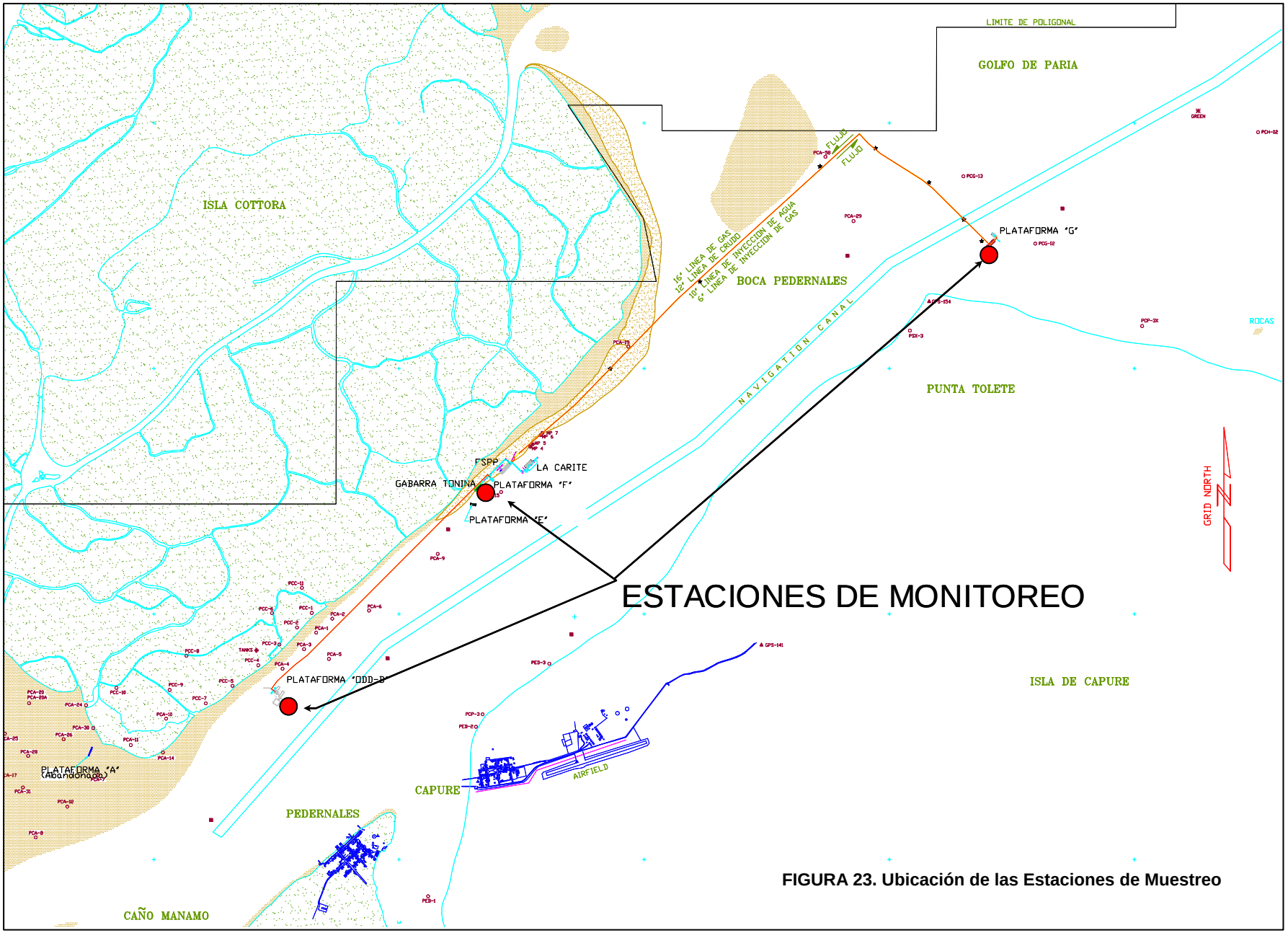


FIGURA 23. Ubicación de las Estaciones de Muestreo

En consecuencia, para un análisis coherente que pueda contrarrestar en parte el efecto de la variabilidad de los afluentes del delta, se hará referencia a toda la información de muestreo y análisis de laboratorio de los últimos 5 años, haciendo énfasis en las épocas de lluvia y de estiaje.

Los procesos principales que determinan las condiciones encontradas en la primera campaña de muestreo 1997-1998, se asocian a la presencia de dos masas de agua con características diferentes, que confluyen en estas áreas, y que al entrar en contacto generan cierta estratificación de la columna de agua, debido a la diferencia en densidad o contenido de sales disueltas. Sin embargo, grandes diferencias en temperatura pueden generar el mismo efecto. La presencia de dos o más estratos afecta la dispersión y acumulación de sustancias disueltas y suspendidas, ya sean de origen natural o antrópico.

Las mediciones realizadas en 1998 indican la ausencia de estratificación en la zona evaluada, como resultado de una mezcla completa de las capas de agua generada por los vientos y las corrientes de marea. Esta condición permite la presencia de homogeneidad vertical observada en las mediciones de las variables: pH, Oxígeno Disuelto y Temperatura, para cada punto de muestreo.

Los mayores niveles de salinidad y conductividad se han encontrado en el Golfo de Paria, los niveles intermedios en Boca de Pedernales y en puntos cercanos a éste, y los menores valores en los puntos ubicados a mayor distancia de la masa de agua marina.

Las concentraciones de sólidos disueltos, debido a las variaciones en el contenido de iones en solución, plantean una alta correlación entre esta variable y los cambios en salinidad y conductividad. A su vez, ésta variable ejerce una gran influencia en el contenido de sólidos totales, los cuales mantienen el mismo comportamiento.

En relación con los sólidos en suspensión, su concentración se incrementa en la zona intermedia del área, probablemente relacionada con la presencia de una mayor turbulencia, ocasionada por su cercanía al Golfo de Paria y por ende, al efecto del

oleaje y una mayor presencia de embarcaciones, entre otras condiciones, lo cual reduce la tendencia a la sedimentación de estas partículas.

En cuanto a componentes de hidrocarburos, ya para los años 97 y 98, los aportes naturales existentes en el área de estudio indicaban una contribución a la modificación de las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua del área. Los diversos menes presentes generan que los mayores niveles de hidrocarburos totales (TPH) y Vanadio, se presentan en la zona de los caños, especialmente frente al mene llamado isla de Brea, ubicado en Boca de Pedernales.

Es importante destacar que en la zona de los caños, específicamente en Boca de Pedernales, están presentes a mayor escala, pozos de producción petrolera, operaciones de carga y descarga de crudo y tránsito de embarcaciones, respecto al resto de las localidades, actividades que pueden contribuir a generar la distribución de TPH y Vanadio descritos. No obstante, debido al aporte de los diferentes afluentes, no se puede asumir directamente que la contribución es puntual o acumulada, debido a los efectos de la transición de las corrientes marinas llenantes que ejercen un efecto de retorno o punto muerto según la época del año.

El transporte por escorrentía de materia degradada o en proceso de degradación, así como las sustancias asociadas (Nitrógeno, Fósforo, ácidos húmicos, entre otras) desde las zonas pantanosas que rodean a los caños, hasta los cuerpos de agua, es otra fuente natural de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se refleja en un incremento del contenido de Carbono Orgánico Total, hacia la zona interna de los caños.

De forma similar, las concentraciones de Fenoles detectadas en el área de estudio están asociadas con los procesos de descomposición de material vegetal, encontrándose concentraciones altas en la sección de los caños, respecto a lo encontrado en el Golfo de Paria.

La comparación de los resultados obtenidos en diversas épocas del año, refleja la variabilidad física existente en el área. Los valores de sólidos suspendidos, hidrocarburos totales de petróleo (TPH), níquel y vanadio, obtenidas para la etapa de transición lluvia-sequía (febrero; Benthos, 1998), son similares a lo registrados durante

la temporada de lluvia (septiembre; Jantesa, 1996); mientras que el zinc y el carbono orgánico total, disminuyeron.

Las variables que mostraron un incremento en sus concentraciones son la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los aceites y grasas; sin embargo, estos últimos se mantienen dentro del intervalo natural señalado para las aguas bajas del río Orinoco (Sánchez, 1990, citado por Benthos, 1998).

Con el fin de determinar la clasificación de lo cuerpos de agua presentes en el área, sus características físicas y químicas fueron comparadas con los rangos establecidos en las Normas de Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, Gaceta Oficial 5.021 (Presidencia de la República, 1998), para cuerpos de agua clasificados como Tipo 2b (aguas destinadas al riego de cultivos excepto vegetales de consumo humano y uso pecuario) y tipo 4 (aguas destinados a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial o de subsistencia) (Decreto 883).

La comparación (Cuadro 20), indica que los niveles de pH y Oxígeno Disuelto, se encuentran por debajo de los límites establecidos para aguas Tipo 4 (> 0,5 mg/l y entre 6,5 mg/l y 8,5 mg/l respectivamente); mientras que los Hidrocarburos Totales de Petróleo se encuentran por encima del límite.

CUADRO 20. Comparación de Resultados de Muestreo vs Normativa Ambiental (Decreto 883, Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos)

Fuente	TPH (mg/ l)	Vanadio (mg/ l)	Níquel (mg/ l)	Zinc (mg/ l)	Fenoles (mg/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)
Año 2005	< 0,01	0,2–51,6	6,03–38,25	12,51–108,54	0,0006–0,0022	7 230–8 260
Aguas Tipo 4	Residuos de petróleo ausentes	No Detectables	No Detectables	No Detectables	0,002	---
Aguas Tipo 2b	---	10,0	0,5	5,0	---	3 000

Fuente: Elaboración propia según datos de Bentos, 1998 y Gaceta Oficial 5.021 ext.

Con relación a los metales, los límites para aguas Tipo 2b, son inferiores a lo registrados durante la caracterización (época de lluvias); sin embargo, la normativa para aguas Tipo 4 indica que los metales deben estar en niveles no detectables.

Los sólidos disueltos se encuentran en concentraciones muy por encima del límite establecido para aguas Tipo 2b, debido al importante aporte de agua marina.

El análisis y monitoreo efectuados por Perenco a partir del 2000, se mantuvieron la mayoría de los parámetros de calidad, mejorando las concentraciones de TPH con tendencia hacia la baja, lo que se asume es producto de las mejoras y mantenimiento de las instalaciones en el campo. Los parámetros que presentan una variación importante a lo largo del tiempo, referidos a la calidad de agua, mayormente son la salinidad y los sólidos en suspensión.

Cabe destacar que entre el períodos comprendido entre meses de enero y septiembre de 2001, se observó un incremento significativo en las concentraciones de sólidos suspendidos, acompañado de un incremento proporcional en la concentración de sólidos disueltos, lo cual indica la presencia de una importante penetración de la masa de agua marina, con un elevado contenido de sales disueltas, que pudieran relacionarse con un período de baja precipitación en la cuenca media de los ríos aportantes, o la coincidencia de la toma de muestras con el período de pleamar.

En el Anexo IV, se incluyen tablas comparativas de los parámetros monitoreados por Perenco, con los valores obtenidos en los monitoreos de años 96-98. En ellos se observa continuidad en los valores, siguiendo la variación característica de las condiciones de lluvia y sequía y se concluye lo siguiente:

- Ninguno de los parámetros analizados mostró evidencias de un incremento progresivo en su concentración;
- El contenido de Carbono Orgánico Total, muestra grandes variaciones en su concentración debido a que en la zona deltaíca, el encuentro de masas de agua fluviales y marinas favorece la formación de flóculos distribuidos heterogéneamente en la masa de agua, a partir de los compuestos orgánicos transportados por las corrientes;

- Las variaciones en la precipitación, con una mayor intrusión de la masa de agua marina, se refleja en un incremento de la conductividad, salinidad, sólidos disueltos y totales;
- Los parámetros: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez, se han mantenido en niveles esperados para este tipo de ambientes, donde la capa superficial del agua posee una alta concentración de sólidos en suspensión y es sometida a una incidencia directa de los rayos solares;
- La presencia de parámetros asociados a las actividades petroleras como son los hidrocarburos totales de petróleo y los aceites y grasas, han mantenido concentraciones muy bajas, indicando la ausencia de derrames significativos durante la explotación del campo, o en su defecto una alta capacidad de biodigestión del medio fluvial;
- La calidad del agua en términos generales no experimentada un cambio relevante, lo que puede llevar a inferir que el medio posee una capacidad de recuperación, subestimada por los especialistas y evaluadores.

Lo que sí es importante resaltar es que el incremento de la población en Capure y Pedernales, tiene un efecto negativo directo sobre la calidad del agua. Un crecimiento de la población, sin servicios de cloacas, ni sistemas de tratamiento de aguas servidas, influye directamente en las condiciones de la calidad del agua del caño. Esto se acentúa si se considera que son zonas internas someras, donde la acción de corrientes es menos intensa, y disminuye el efecto de dispersión, mezcla y renovación de las masas acuáticas, hecho que debe ser considerado por los entes reguladores del estado, a fin de establecer medidas de control y mejoramiento de los servicios municipales de los centros poblados.

- **Calidad de los Sedimentos**

Las características químicas de los sedimentos son un reflejo de las condiciones existentes en la masa de agua en contacto con ellos.

El primer muestreo (Diciembre 1997) indicó la presencia de sedimentos superficiales compuestos por partículas finas, pertenecientes a cuatro categorías: fangosas, fango-arenosas, arenas finas y arenas finas fangosas, de origen continental y oceánico (Benthos, 1998), distribuidos de forma heterogénea en el área de estudio, debido a la alta variabilidad en la velocidad y dirección de las corrientes que las transportan.

La distribución de algunas sustancias químicas presenta un patrón lógico; metales como el Bario y el Hierro, presentaron elevadas concentraciones, debido a la presencia natural de estos compuestos en los alrededores del área de estudio.

Existe una relación entre la presencia de los menes y las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), vanadio y zinc, al encontrarse las mayores concentraciones en Boca de Pedernales, cercanos al mene denominado Isla de Brea.

El elevado contenido de partículas en suspensión pudiera indicar una alta tasa de recambio en la capa superficial de los sedimentos, lo cual generará variaciones temporales, detectadas en diferentes épocas y años

El análisis de la información de los monitoreos lleva a las siguientes conclusiones acerca de los posibles cambios generados en los sedimentos del campo Pedernales:

- El análisis de ciertos metales evidenció la presencia de elevadas concentraciones de bario, con tendencia a una progresiva disminución. Se pudiera considerar la presencia natural de este metal en las capas superficiales o, la ocurrencia de un aporte significativo por parte de los lodos de perforación con presencia de este compuesto entre sus constituyentes (ej. Bentonita),
- Las bajas concentraciones de vanadio, níquel, hidrocarburos totales de petróleo y de aceites y grasas, consideran la ausencia de fugas significativas de productos durante la explotación del campo. Al igual que la presencia de características granulométricas constantes,
- Se recomienda emplear el menor número de laboratorios posible, debido a que se observan grandes variaciones entre las determinaciones realizadas por empresas diferentes.

4.8. Dinámica Sedimentaria del Caño Pedernales[49]

En esencia, el Caño Pedernales es un caño de marea en equilibrio. Normalmente el flujo es oscilatorio y regido por la marea. En períodos de crecida fluvial, el drenaje de la

[49] Proyecto de Dragado de las Estructuras de Producción del Campo Pedernales. Coflumar, 2004.

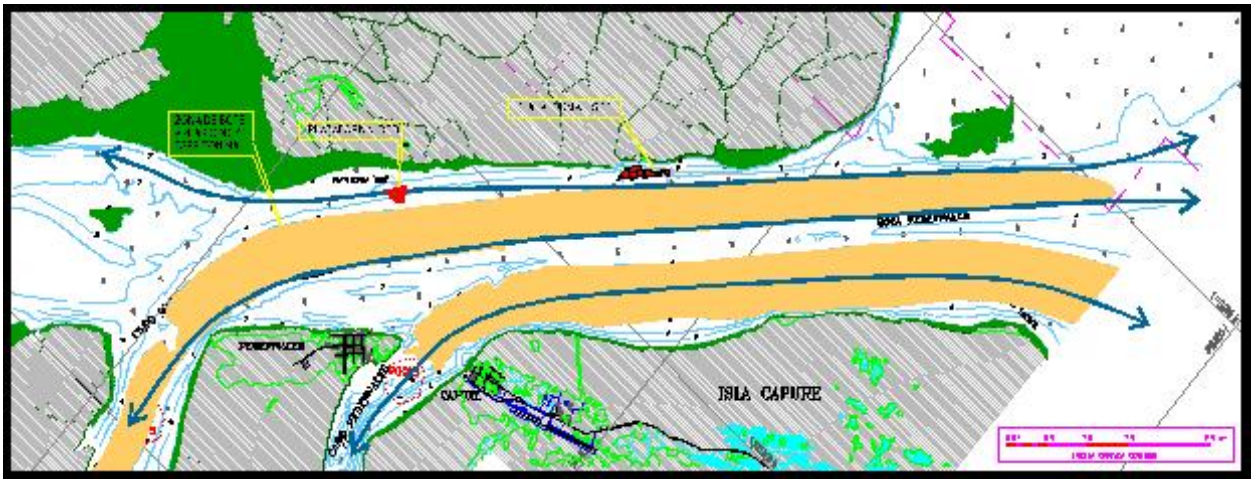
hoya hidrográfica de los caños Mánamo y Pedernales añade caudales de descarga que modifican el flujo de marea que sigue siendo predominante, salvo en condiciones de crecidas muy extremas.

El movimiento de sedimentos es esencialmente oscilatorio. Los sedimentos del fondo son básicamente limos arcillosos exentos de arena, tal como corresponde a un medio estuarino regido por la marea, con importancia secundaria de los flujos pluviales.

El flujo de marea se mantiene con velocidades relativamente altas en todo el caño. En condición de vaciante, las masas de agua sufren una rápida desaceleración cuando salen del caño y se proyectan hacia el Golfo. La desaceleración propicia la decantación de los sedimentos en suspensión por lo que cualquier exceso derivado de los aportes fluviales (o carga de material dragado/descargado) es depositado en los bajos que materializan el avance del delta hacia el golfo.

Otro aspecto importante para el análisis del comportamiento de los sedimentos es el patrón de las líneas de corriente. La morfología del fondo muestra que las líneas de corriente son esencialmente paralelas y adicionalmente rectilíneas en la porción del caño aguas abajo de la confluencia con el Caño Pedernales (Figura 24). El promontorio que separa los dos subcanales evidencia la baja mezcla entre las masas de agua de los caños tributarios, es decir, la reducida mezcla en dirección transversal. En el Anexo V se muestra en mayor detalle la batimetría y dirección de las corrientes.

FIGURA 24. Dirección de las Corrientes en Caño Mánamo y Boca Pedernales



En el caso de un proceso de descarga de sólidos (arenas), la mayor parte del material se decantará en forma masiva formando un montículo en el fondo. La superposición de todas las descargas y la acción de las corrientes va formando una meseta de menor profundidad que los sectores adyacentes. La reducción de profundidad origina un incremento en el esfuerzo cortante debido a la corriente. El incremento de esfuerzo cortante, a su vez, causa un incremento en la tasa de puesta en suspensión de los sedimentos del fondo y de la concentración de los sedimentos en suspensión. En la fase de corriente muerta la decantación del material en suspensión es esencialmente la misma que en la condición original, por lo que en cada ciclo de marea se produce un incremento en la erosión hasta que el fondo queda nivelado en la condición original.

Durante el proceso de erosión progresiva de la meseta constituida por el material vertido hay un exceso de la concentración de sedimentos en suspensión, en relación con la condición de equilibrio previa. En principio, tal como se expuso anteriormente, dicho exceso debe traducirse en la sedimentación en el pro-delta del Caño Mánamo en el Golfo de Paria. En la condición más improbable, los sedimentos en exceso se decantarían en forma aproximadamente uniforme en los 8 kilómetros en que el caño es esencialmente rectilíneo y de ancho uniforme.

Las mediciones de corriente en el caño Mánamo indican que la velocidad crítica de fondo alcanza los 0,8 m/s en marea media, sin embargo velocidades de 0,5 m/s en fondo implican altas erosiones para materiales limo-arcillosos. Para el material de fondo del caño con D_{50}= 0,04 mm y densidad y situ de 1400 kg/m^3, la velocidad media requerida para mantener el sedimento en suspensión es de 0,8m/s. A una velocidad de 0,6 m/s, el sedimento requerirá de 3 horas para decantar. El caudal estimado del caño en marea media alcanza los 720 m^3/s. Las estaciones de monitoreo muestran variaciones en sólidos en suspensión según la marea y la época del año, que van desde un mínimo de 10 a un máximo de 400 mg/l en la misma estación. Como resultado se tiene aguas muy turbias que van desde 4 hasta 100 UNT (Unidades de Turbidez Nefelométrica) de turbiedad. Y la penetración del disco Secchi no supera los 40 cm.

4.9. Comunidad Béntica[50]

Los procesos que se llevan a cabo en las plataformas petroleras generan una gran variedad de desechos líquidos, los cuales son tratados y luego vertidos al medio marino (Black, y col. 1994). ICES (1991) reporta que un estudio biológico en zonas aledañas a un punto de descarga es considerado más relevante que, por ejemplo, un estudio químico de la distribución de un contaminante, dado que por lo general, se trata de medir los cambios biológicos que podrían ser causados por actividades antropogénicas en un área determinada, y la comunidad bentónica puede reflejar de manera clara algún tipo de variación, tanto en escala espacial como temporal.

Muchas son las razones por las cuales la macroinfauna bentónica es utilizada para determinar el grado de contaminación del ecosistema al cual se encuentran asociadas. Según ICES (1991), algunas de ellas son:

- El sedimento marino es el vertedero final de la mayoría de los contaminantes descargados al mar,
- La mayoría de las especies asociadas a este ecosistema poseen un ciclo de vida mayor a un año, y al ser estos organismos sedentarios, pueden ser un indicativo de los efectos integrados de las descargas a lo largo del tiempo,
- El bentos es relativamente fácil de cuantificar a la hora de estudiar el efecto de descargas en un punto determinado,
- La macroinfauna bentónica ha sido bien estudiada científicamente, en comparación a otras comunidades (medio y microinfauna), disponiéndose, en la actualidad, de suficientes claves taxonómicas correspondientes a muchos de los grupos asociados a este tipo de ecosistema,
- Se ha demostrado que la estructura de la macroinfauna bentónica responde a los contaminantes de manera predecible, por lo tanto, los resultados obtenidos durante un estudio, pueden ser interpretados con un alto nivel de confianza.

[50] Monitoreo de Comunidad Bentónica en Campo Pedernales. Benthos, 2004.

Para cada plataforma en el campo Pedernales se han establecido dos (2) puntos de muestreo, ubicados aproximadamente a 250 m aguas arriba y a 250 m aguas abajo de las plataformas “El Orgullo”, “Plataforma G” y “La Tonina”, para un total de seis (6) estaciones. Las coordenadas geográficas (UTM) de cada punto son precisadas con la ayuda de un Geoposicionador Satelital, Marca Garmin 76, y se utilizó como referencia el Datum Prov SAM56 (Cuadro 21, Anexo III).

CUADRO 21. Coordenadas UTM de los Puntos de Monitoreo del Bentos en el Campo de Pedernales

		Coordenadas	
Estación	**Código**	**Norte**	**Este**
Plataforma "G" aguas arriba	PR-GA	1 109 071	588 733
Plataforma "G" aguas abajo	PR-GB	1 108 681	588 349
Plataforma "El Orgullo" aguas arriba	PR-BA	1 104 650	581 650
Plataforma "El Orgullo" aguas abajo	PR-BB	1 103 604	580 726
Plataforma "La Tonina" aguas arriba	PR-NEA	1 107 095	584 095
Plataforma "La Tonina" aguas abajo	PR-NEB	1 106 145	583 127

El muestreo se realiza durante la finalización de la marea llenante y principio de la marea vaciante (Cuadro 22). Los sedimentos fueron colectados, unidos y cernidos en el campo, a través de un tamiz de 500 µm de apertura de malla.

CUADRO 22. Condición de la Marea, Área de Captación y Profundidad en cada Estación de Monitoreo del Bentos, en el Campo de Pedernales

Código	Hora	Condición de marea	Área de captación (m^2)	Profundidad (m)
PR-GA	1:30 p.m.	Llenante*	0,1125	4,5
PR-GB	12:45 m	Llenante*	0,1125	4,5
PR-BA	4:45 p.m.	Vaciante*	0,1125	1,0
PR-BB	5:40 p.m.	Vaciante*	0,1125	0,5
PR-NEA	3:45 p.m.	Vaciante*	0,1125	0,5
PR-NEB	4:15 p.m.	Vaciante*	0,1125	1,0

*Según Lagoven Jetty (2312).

La parte biótica o viva del ecosistema está constituida por todos los organismos que en él viven. Estos se dividen en tres grandes grupos: a) los productores (algas, ciertas bacterias, plantas acuáticas); b) los consumidores (animales acuáticos que van desde

protozoos hasta los vertebrados superiores) y c) los descomponedores o mineralizadores de la materia orgánica (hongos y bacterias). La acción conjunta de estos tres grupos determina la productividad y el balance ecológico del ecosistema acuático; pero su distribución en ese medio no es uniforme. En base a ello, existe una terminología propia para cada lugar que los organismos ocupen, ya sea que floten en el agua o vivan sobre el fondo o enterrados en él (Roldán, 1992).

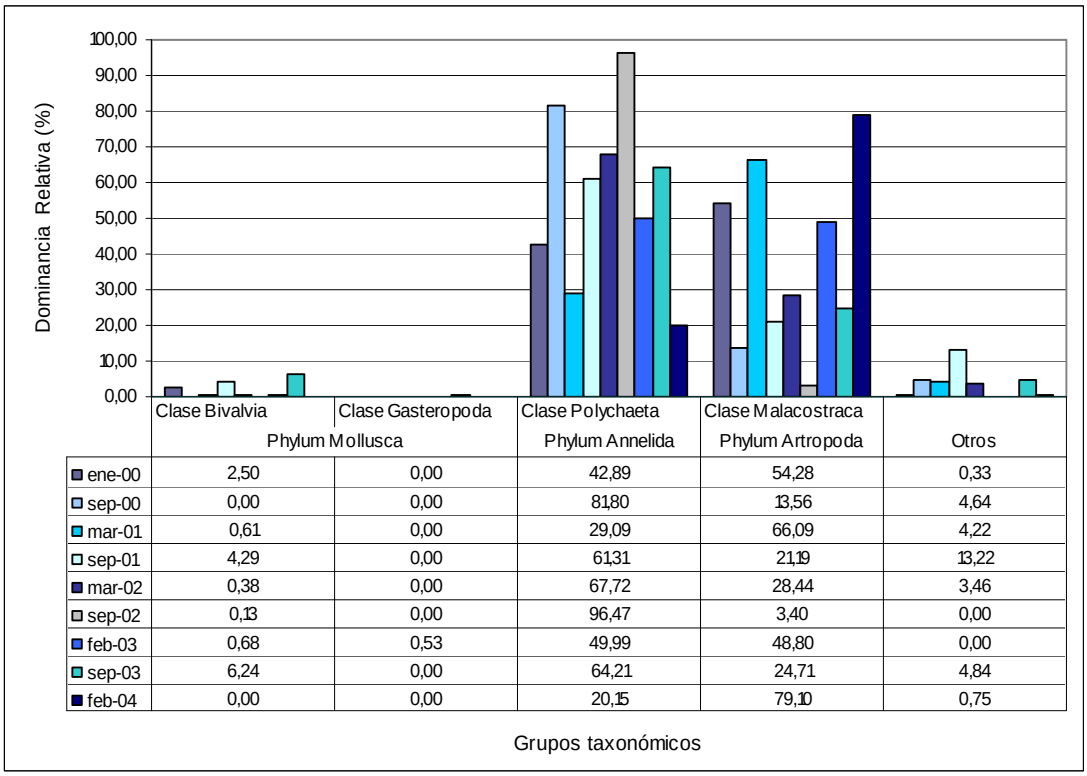
Es así como el bentos es el término utilizado para designar a todos aquellos organismos que viven en el fondo de los ecosistemas acuáticos, siendo sus principales representantes en el medio marino los poliquetos, los moluscos bivalvos y gasterópodos, los equinodermos y los crustáceos anfípodos, decápodos, isópodos, tanaidáceos, entre otros (Thurman y Webber, 1984). En términos de macroinvertebrados bénticos de fondos blandos (organismos mayores a los 500 µm), destacan cuatro grupos taxonómicos: la Clase Polychaeta (Phylum Annelida), el Subphylum Crustacea (Phylum Arthropoda) y las Phyla Echinodermata y Mollusca (Nybakken, 1993).

Los organismos con mayor dominancia relativa asociados al sedimento de las estaciones aledañas a las plataformas El Orgullo, La Tonina y G para el muestreo del año 2004 fueron los crustáceos (74% del total), seguidos por los gusanos poliquetos (25,33%), estando el grupo de menor dominancia (0,67%) integrado por un solo individuo de taxonomía desconocida (Otros). El monitoreo anterior (Septiembre de 2003) mostró a los poliquetos como el grupo dominante, seguido por los crustáceos y la presencia de grupos taxonómicos (Cossuridae, Flabelligeridae, Magelonidae, Psionidae, Polydontidae, Pontodoridae y Terebellidae, Cumacea, Copepoda y Osteichthyes) ausentes en esta oportunidad.

La dominancia relativa de los grupos taxonómicos asociados a los sedimentos, presentes en las plataformas El Orgullo y La Tonina en el campo de Pedernales, durante la ocurrencia de todos los monitoreos realizados hasta la fecha (Figura 25), permitieron apreciar que se produjo una alternancia en los patrones de dominancia relativa durante los monitoreos realizados en el año 2000 y 2001, donde los poliquetos resultaron los organismos dominantes durante la época de lluvia y los crustáceos malacostracos dominaron la zona en la temporada de sequía. A partir del año 2002, se

observó que los poliquetos resultaron el grupo más abundante en el campo Pedernales, sin importar la época de muestreo. Este último comportamiento se mantuvo hasta finales del año 2003; pero para inicios del año 2004, los poliquetos ocuparon un segundo orden en términos de importancia relativa, siendo los Malacostraca dominantes durante esa ocasión.

FIGURA 25. Variación Temporal de la Dominancia Relativa de Organismos Asociados al Sedimento en las Plataformas El Orgullo y La Tonina, en el Campo Pedernales



	Clase Bivalvia	Clase Gasteropoda	Clase Polychaeta	Clase Malacostraca	
	Phylum Mollusca		Phylum Annelida	Phylum Artropoda	Otros
ene-00	2,50	0,00	42,89	54,28	0,33
sep-00	0,00	0,00	81,80	13,56	4,64
mar-01	0,61	0,00	29,09	66,09	4,22
sep-01	4,29	0,00	61,31	21,19	13,22
mar-02	0,38	0,00	67,72	28,44	3,46
sep-02	0,13	0,00	96,47	3,40	0,00
feb-03	0,68	0,53	49,99	48,80	0,00
sep-03	6,24	0,00	64,21	24,71	4,84
feb-04	0,00	0,00	20,15	79,10	0,75

En general, los resultados mostraron mucha variabilidad en términos de densidad y composición, resultando difícil establecer un patrón definido en términos espaciales o temporales. Al respecto, autores como Nybakken (1993) plantean que los cambios en la estructura (composición y abundancia de especies) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos están relacionados con la acción de factores físicos (oleaje, resuspensión y cambio en la composición de los sedimentos, entre otros) o biológicos (biología de los organismos: reproducción y reclutamiento, depredación y competencia, entre otros), o por una combinación de ambos; estando los casos más simples relacionados con la dominancia de los factores físicos.

Inicialmente, los estudios de autores como Carriker (1967) y Pearson y Rosenberg (1978), mostraron que la relación entre la comunidad macrobentónica marina y las perturbaciones ambientales resultaba compleja porque esas comunidades se distribuían frecuentemente en parches pero esa distribución podía variar en el tiempo. En la actualidad, los investigadores han logrado un mayor conocimiento, y manifiestan que las perturbaciones deben ser expresadas, simultáneamente, en múltiples niveles jerárquicos de la comunidad y en la organización del ecosistema en espacio y tiempo (Pickett y Col.; 1989). Por ejemplo, las comunidades costeras de macroinvertebrados que habitan fondos blandos reciben perturbaciones producto de fenómenos naturales, las cuales pueden resultar en cambios de salinidad, temperatura, corrientes y oleaje, generando la resuspensión de sedimentos. Pero fuentes antropogénicas de estrés como dragado de canales, sobre-enriquecimiento de nutrientes y la descarga de compuestos tóxicos, pueden estar interactuando con los procesos naturales. (Flemer y Col.; 1997). Es así como, dependiendo de la importancia relativa de los factores perturbadores presentes, las comunidades pueden diferir en períodos de tiempo y producir patrones o parches que recurren o difieren en la escala espacial y temporal (Nybakken, 1993).

La diversidad promedio de especies en el campo de Pedernales, desde que comenzaron los monitoreos biológicos en Enero del 2000 hasta la fecha, oscila entre 1,36 ± 0,52 y 1,78 ± 0,37 bits/ind. En referencia a la diversidad, Gray (1981) señala que es común observar bajos valores en zonas someras debido a que la frecuencia de perturbaciones en estas áreas es alta, generada por el efecto del oleaje y de las corrientes, así como por la depredación. Sin embargo, no se descartan la posible influencia de otros factores, ambientales y/o antrópicos.

4.10. Definición de las Variables de Estudio

Basados en la caracterización de las arenas de producción del campo Pedernales, en la calidad de aguas y sedimentos, dinámica sedimentaria y comportamiento de la comunidad bentónica, las variables de mayor interés estudiadas en la investigación para la selección de la alternativa de tratamiento, de acuerdo a la consulta de expertos y en el análisis de la capacidad de depuración del medio receptor, fueron las siguientes:

- Caracterización del Medio Receptor en cuanto a:
  - ✓ Carga o concentración de sedimentos en el Caño: definiéndose la turbidez de las aguas y la capacidad de mantener en suspensión un aporte de sólidos adicionales, así como la capacidad de erosión o arrastre de los materiales del lecho marino,
  - ✓ Velocidad y variabilidad de las corrientes marinas y fluviales en el Caño,
  - ✓ Oxigeno disuelto y tipos de especies en Bentos: lo que permite definir la saturación de oxigeno en el lecho, y la capacidad de biodigestión de la fauna bentónica,
  - ✓ Tipo de sedimento en lecho y adaptabilidad de las especies del bentos a cambios de composición y textura del sedimento.

- Caracterización de las arenas de producción de hidrocarburos:
  - ✓ Contenido de aceites y grasas de las arenas: permite definir el tipo de tratamiento para retirar la máxima cantidad posible de aceites y grasas de la arena a tratar,
  - ✓ Tipo de hidrocarburos asociados a las arenas: permite identificar si las cadenas moleculares que componen al hidrocarburo que contamina a las arenas son complejas para su fracturamiento o biodegradación por las bacterias presentes en el lecho marino,
  - ✓ Contenido de hidrocarburos aromáticos poli-cíclicos: estas cadenas cíclicas son las más complejas y dañinas para el sistema biológico del ecosistema marino,
  - ✓ Contenido de metales pesados en las arenas a tratar.

- Parámetros técnico económico de las alternativas de tratamiento:
  - ✓ Variables de importancia para tratamiento en tierra (pH, capacidad de biodegradación, usos agrológicos, etc.),
  - ✓ Costos de tratamiento y transporte.

Con enfoque en las variables antes mencionadas, se determina la alternativa de tratamiento que genere arenas que, por su nueva característica, sean consideradas no peligrosas de acuerdo al Decreto 2635, y de mejor manejo ambiental y minimización de riesgos de afectación al medio marino. El Cuadro 3 del Capitulo II muestra los parámetros ambientales, operacionales y económicos que han sido considerados para la selección de la alternativa de tratamiento, y la propuesta de disposición.

CAPITULO V: Análisis de Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción

Como se ha indicado en secciones anteriores, las arenas de producción son un desecho de características particulares, al que se le debe aplicar un tratamiento específico para su disposición, de acuerdo a la normativa ambiental venezolana. Las alternativas típicas de manejo de este tipo de desecho incluyen la reutilización como mezcla para material asfáltico, la re-inyección o disposición en el subsuelo y el tratamiento y/o disposición en tierra firme. La elección de la alternativa de manejo de arenas de producción debe tener en cuenta la normativa ambiental local, la evaluación ambiental y el análisis costo-beneficio.

En el caso de tratamientos y pre-tratamientos, su propósito es obtener un desecho tratado menos tóxicos debido, parcialmente, a que presentan concentraciones reducidas de los compuestos contaminantes y menor persistencia en el medio ambiente. En consecuencia, es fundamental comprender los posibles problemas y efectos medio ambientales relacionados con la técnica de disposición de los desechos tratados y el ciclo completo de vida de las alternativas implementadas.

5.1. Análisis Técnico-Ambiental de las Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción

En el Capítulo II: Marco Teórico Referencial, se presentó una serie de alternativas de tratamiento que fue investigada en la bibliografía de referencia. Algunas de ellas tienen ventajas ambientales y otras ventajas económicas y operativas. Sin embargo, en el caso particular del campo Pedernales se deben considerar la limitación de espacio en las plataformas de producción; los riesgos operativos de algunas de las alternativas que, a su vez, incrementan los riesgos de la operación; y finalmente, los riesgos ambientales y costos asociados que hacen que muchas de estas alternativas sean prohibitivas y difíciles de aplicar.

Otras alternativas de tratamiento y disposición están limitadas por las condiciones particulares del manglar y por la normativa ambiental. Por lo general, con este tipo de limitaciones, la opción de mayor aplicación es el traslado a tierra firme de las arenas de producción y su tratamiento en zonas de baja sensibilidad ambiental, lo cual también tiene riesgos ambientales importantes, asociados al transporte, ya que las distancias son extremadamente grandes, tanto en tierra como en mar, lo que hace de ella una opción de alto riesgo.

A continuación se hace un breve análisis de las alternativas de mayor probabilidad de aplicación en el campo Pedernales

5.1.1 Tecnología de Bio-remediación

A pesar de que es un proceso reconocido por la EPA, como una de las mejores tecnologías demostradas en campo, posee como desventajas que es una tecnología lenta con un periodo de tratamiento que oscila entre los 6 y 8 meses. Requiere de un manejo específico para su aplicación efectiva, pues se corre el riesgo de diluir, volatilizar o percolar los contaminantes.

La tecnología tiene un costo de aplicación en el campo Pedernales de 200 $/m^3 de arena a tratar y, para disminuir costos y riesgos al medio ambiente por transporte, lo ideal es ejecutarla in situ, específicamente en los centros poblados cercanos de Pedernales o Capure. No obstante, se debe considerar que uno de los factores más importantes para obtener un buen proceso de bioremediación es el pH del suelo, el cual debe ser entre 6 – 8, y, tanto en Capure como en Pedernales el pH del suelo es ácido, es decir, entre 2 y 3. Por lo tanto, para aplicar eficientemente la bioremediación en tales sitios, se necesita neutralizar la acidez de los suelos y agregar los fertilizantes y nutrientes necesarios para que las bacterias biodegradantes se puedan desarrollar. Por otra parte, los suelos de Capure y Pedernales son mal drenados y están constantemente sometidos a un régimen de inundación, cuya lámina de agua sirve de barrera para el intercambio eficiente de oxígeno, condiciones adicionales que restringen la aplicación de esta tecnología en dichos suelos.

Toda esta adecuación de los suelos hace que los costos del proceso de bioremediación se eleven. Si bien es cierto que no habría que trasladar las cajas de arena del campo Pedernales a la cuidad de Maturín, evitándonos así altos costos y riesgos ambientales, si se requiere trasladar desde Maturín agregados calcáreos, fertilizantes, nutrientes, bacterias hasta Capure o Pedernales (de preferencia Capure por su mayor disponibilidad de suelos baldíos y zonas de mayor elevación).

Desde el punto de vista operacional, esta opción tiene poca aceptación ya que los muelles de Capure y Pedernales no están diseñados para manipular cargas, sin embargo, desde el punto de vista ambiental, minimiza los riesgos de contaminación de las aguas marinas por transporte de las arenas contaminadas a tierra firme. Es menos riesgoso transportar nutrientes y agregados que arenas contaminadas con hidrocarburos.

Otra restricción para realizar el proceso de bioremediación in situ es que la zona de Pedernales es calificada como inundable, condición que la descarta de acuerdo a las Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos (Decreto 2635, Gaceta Oficial 5245, Presidencia de la República 1998)[51], y con una zona de manglar, la cual, también posee una figura legal que la protege. Para superar esta situación, se debe realizar una adecuación del sitio efectuando un relleno para estableciendo una terraza elevada, por encima de la cota de inundación, donde se podría desarrollar un centro de recolección, tratamiento y disposición de arenas con todas las especificaciones que requiere una instalación de esta categoría, en particular, siendo más exigentes en términos de control de infiltraciones y escorrentías, para evitar el ingreso de contaminante a las zonas de manglar.

En resumen, en caso de que se opte por la opción de establecer un centro de tratamiento en Capure o Pedernales, se debe considerar la disponibilidad de material de relleno y mezcla, y la ocupación de un área en el Delta que no implique la deforestación del manglar o la ocupación de zonas agrícolas.

[51] Decreto N° 2635. Reforma Parcial del Decreto N° 2289 de fecha 18 de Diciembre de 1997, publicado en la gaceta oficial N° 5512 Extraordinario de fecha 12 de febrero de 1998, contentivo de las “Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos”. Gaceta Oficial N° 5245 Extraordinario de fecha 03/08/1998.

5.1.2 Tecnología de Incineración

La arena de producción obtenida en el campo Pedernales contiene cerca de un 10% de agua que, en algunas ocasiones, puede alcanzar hasta el 20%, debido a que buena parte de las arena se obtiene de los procesos de lavado de los equipos de separación térmica. Para retirar la arena que va sedimentando en los equipos se utiliza un sistema de lavado interno llamado Sand Wash, el cual inyecta agua a presión para generar una turbulencia que remueve la arena del fondo de los equipos expulsándola y enviándola a las cajas metálicas.

El tratamiento de incineración es muy costoso cuando los desechos a tratar poseen un alto volumen de agua, como es el caso de las arenas de producción, porque se requiere de mayores tiempos de incineración, mayor cantidad de combustibles y equipos más robustos (más costosos).

Otra limitante que presenta este tratamiento es que durante el proceso de combustión hay emisión de gases a la atmósfera, entre ellos dioxinas, las cuales deben ser controladas de forma minuciosa para minimizar problemas de contaminación en un área tan sensible (refugio de aves y descanso migratorio). Este control de las emisiones conlleva a mayores gastos de inversión.

Por otra parte, como resultado del proceso se generan cenizas que pueden contener metales, las cuales se deben disponer en forma segura para evitar contaminar las aguas del delta y los suelos de la zona de manglar.

No es seguro instalar o ubicar sistemas de incineración en las Plataformas, ya que las operaciones son riesgosas en si misma, y colocar una fuente adicional de peligro no es lo recomendable. El incinerador, para realizar una buena combustión, debe operar a temperaturas de aproximadamente 1000 ºC, las cuales son bastante elevadas comparadas con las temperaturas que se manejan actualmente en los procesos productivos, los cuales incluyen manejo de gas. Por esta razón, el incinerador ha de ser emplazado preferiblemente en tierra firme, en uno de los centros poblados, trasladando el desecho hasta dicha zona. Nuevamente, el emplazamiento en tierra implica desarrollar un centro de tratamiento con todas las especificaciones de ingeniería

ambiental requeridas para estas instalaciones, además de evitar la ocupación de espacios agrícolas o zona de manglar.

El solo costo de los equipos y el transporte está entre 800 y 900 $/m^3, sin incluir los costos o inversión inicial, ubicándose por encima de la tecnología de bioremediación y de los actuales costos de tratamiento.

5.1.3 Tecnología de Desorción Térmica

Esta tecnología, al igual que la tecnología de incineración, es dependiente del contenido de humedad: desechos con alto porcentaje de humedad aumentan significativamente su costo, lo cual la descarta desde el punto de vista económico.

El tratamiento de desorción térmica trabaja efectivamente, siempre y cuando los compuestos puedan ser recuperados a temperaturas inferiores a los 648 ºC, por lo que no es 100% efectivo para el caso del crudo obtenido en Pedernales con un promedio de 21º API (crudo mediano compuesto de cadenas de carbono largas que requieren altas temperaturas de vaporización-boiling point). Esto hace necesario combinarla con otra tecnología de pre-tratamiento, lo cual significa un aumento adicional en los costos.

Es una tecnología que, de ser aplicada como única (sin pre-tratamiento de arenas), es más económica que el tratamiento de incineración, con costos alrededor de los 250 $/m^3, sin incluir costos de inversión ni de transporte.

5.1.4 Tecnología de Sodificación/Estabilización

Es una tecnología para el tratamiento de los desechos sólidos contaminados que se ajusta muy bien cuando los contaminantes a remover son metales pesados. Acorde a la formulación empleada los productos generados pueden ser utilizados en caminerías, preparación del asfalto, etc.

Una desventaja que presenta esta tecnología es que al agregar los diferentes materiales para obtener la mezcla de asfáltenos, por ejemplo, podemos incrementar el volumen de desecho significativamente.

Debido a que el transporte de los contaminantes lleva asociado un costo por las grandes distancias a cubrir, desde donde se encuentran ubicadas las plataformas, es conveniente trasladar el material tratado a los centros poblados cercanos. Sin embargo, en estas localidades de escaso tamaño (menores a 3000 personas) no se requieren de extensas carreteras, vialidades o caminerías como para disponer importantes volúmenes de material asfáltico tratado con arenas de producción.

Es importante señalar que mediante esta técnica los contaminantes solo se inmovilizan, su peligrosidad no se elimina, por lo tanto las aplicaciones futuras, luego del tratamiento de las arenas contaminada, no pueden ser en sitios cerrados como viviendas o construcciones de edificaciones, sino en lugares abiertos; detalle que restringe su campo de aplicación.

Los costos de este tratamiento son 175 $/m^3, en el orden del tratamiento de bioremediación y menores a los de la incineración.

5.1.5 Tecnología de Inyección por Fracturamiento

Esta tecnología, más que un tratamiento, es una tecnología de disposición, donde el contaminante se confina a altas profundidades. Es económica y efectiva si se dispone de un pozo inyector habilitado para tal fin (costo de pozo inyector en Pedernales es de 5 MM$), cerca de donde se genera el desecho. Es una buena opción si se cuenta con una cantidad finita de material a disponer, y puede ser económicamente factible al tener costos entre 150 y 170 $/m^3.

En el caso particular de Pedernales, las formaciones no permiten un fracturamiento adecuado debido a su baja cohesión y/o compactación; en consecuencia el pozo inyector deberá perforarse hasta las formaciones más profundas, haciendo de los costos de perforación una limitación importante, a los que se le acumulan los riesgos de obturar el pozo luego de poco tiempo de uso. En experiencias previas en Pedernales de la disposición de ripios y lodos de perforación, así como aguas de perforación, British Petroleum (1998) tuvo serios problemas de obturamiento de las formaciones que recibían los fluidos, perdiendo el pozo al poco tiempo de iniciar las inyecciones.

Bajo las condiciones de operación, las presiones de inyección en superficie deben superar las 5000 psi, lo que significa equipos de bombeo y pretratamiento del material (formación de lechadas) de alta capacidad que elevan costos, tanto de inversión inicial como de operación. De la misma forma, el completamiento del pozo debe ajustarse a altas presiones de inyección, lo que significa cabezales más robustos y tuberías de completamiento reforzadas.

5.1.6. Tecnología de Lavado

Es una tecnología que, a diferencia de los otros tratamientos, recupera el crudo que poseen las arenas, lo cual aporta una recuperación al proceso y hay casos que lo hace auto rentable. Además, los riesgos de contaminar las aguas y suelos son bajos debido a que el porcentaje de crudo presente en las arenas lavadas es menor del 1%, que es lo establecido en el Decreto 2.635 para la disposición de los desechos sólidos contaminados con hidrocarburos.

El tiempo de tratamiento es rápido, solo horas, a diferencia de la tecnología de bioremediación donde su recuperación total dura meses. Es una tecnología reconocida por la Agencia Protección Ambiental (EPA) como una tecnología innovadora para el tratamiento de desechos sólidos contaminados.

El hecho de que no necesita trabajar a altas temperaturas es una ventaja, desde el punto de vista de riesgo, para su aplicación en las propias plataformas. Es un proceso económico con costos en el orden de 100-200 $\$/m^3$, lo que lo hace un proceso rentable económicamente.

5.2. Análisis Técnico-Ambiental de las Opciones de Disposición

Los aspectos más importantes a considerar en las técnicas de tratamiento, desde el punto de vista ambiental, son las características finales de la arena tratada y las posibles opciones de disposición que se puedan utilizar. Estas serán condiciones indispensables para establecer los parámetros de costos operativos y de afectación ambiental final. Una técnica de tratamiento puede ser operativamente adecuada, pero la

calidad resultante de la arena tratada puede ser ambientalmente adversa, dependiendo del sitio de disposición y del manejo de la arena tratada para su transporte y final descarga.

En consecuencia, la selección de la tecnología de tratamiento está íntimamente ligada a la calidad del producto generado y a la disposición final asociada. No puede efectuarse una selección de la tecnología sin haberse analizado las opciones de disposición final.

Al decidir sobre la manera de disposición final de las arenas de producción, debe tenerse en cuenta no solamente el posible impacto ambiental de dicha tecnología, sino también los posibles impactos generados de manera indirecta por la misma. Estos otros impactos incluyen los costos, utilización de recursos, emisiones atmosféricas, riesgo de transporte y manejo, riesgo ocupacional y exposición a productos químicos. Todos estos factores son parte del marco comparativo para evaluar los "costos y beneficios" ambientales, operativos (inclusive para la salud y seguridad humana), y económicos; ver Cuadro 3 de los parámetros de evaluación y selección de alternativas del Capitulo II “Marco Teórico Referencial”.

5.2.1. Descarga al Medio Marino

La opción de descarga al medio marino es simple, desde el punto de vista operativo, y puede no requerir equipo adicional más sofisticado al que normalmente se encuentra en una plataforma de producción. Esta alternativa permite descargar las arenas, después de su tratamiento, en el medio local. Específicamente, una vez que se retira el hidrocarburo de las arenas de producción utilizando una técnica sencilla de lavado y posiblemente algún otro equipo secundario de control, las arenas que contienen fluido residual del lavado se mezclan con agua marina y se descargan al mar por una “tubería de descarga” (“downcomer”). El extremo de la tubería de descarga generalmente se encuentra a unos pocos metros por debajo de la superficie del agua. A diferencia de otras alternativas de disposición, no se requiere almacenamiento temporal para las arenas.

La alternativa de descarga al medio marino se puede aplicar dependiendo de las condiciones de medio marino receptor y de la calidad de las arenas (pre-tratadas) a ser descargadas. En el Cuadro 23 se muestran las ventajas y desventajas de esta alternativa.

CUADRO 23. Ventajas (+) y Desventajas (-) de las Descargas al Medio Marino

Económicas	Operativas	Medio ambientales
+ Muy bajo costo por unidad de volumen tratado + No genera costos ni indemnizaciones en tierra - Posible responsabilidad futura en la zona marítima (indemnizaciones) - Costo de los análisis de las descargas y los posibles impactos (por ejemplo, pruebas de cumplimiento con las normas, modelamiento de las descargas, programas de monitoreo de campo)	+ Proceso sencillo que requiere poco equipo + No implica costos de transporte + Poca demanda de energía + Poca demanda de personal + Bajo riesgo de seguridad + No requiere infraestructura en tierra + No requiere espacio ni almacenamiento adicional + No tiene restricciones climatológicas	+ Genera bajas emisiones atmosféricas + Utiliza poca energía + No interviene al medio ambiente terrestre - Posibilidad de impactos localizados a corto plazo en la biología del lecho marino

- **Implicaciones al medio ambiente**

Las arenas descargadas y los fluidos adsorbidos (solventes y surfactantes que pueden ser usados en el proceso de tratamiento) se depositan en el lecho marino y se acumulan a una velocidad variable. La acumulación dependerá del volumen y características de las arenas que se descargan y las características del medio receptor local. Inmediatamente después de la descarga, la concentración de arenas en los sedimentos generalmente se eleva y se puede afectar la biota béntica; pero, con el paso del tiempo se recupera la biota dependiendo de la calidad de las arenas descargadas, el espesor de la acumulación y las características del medio receptor (por ejemplo, profundidad de agua, temperatura, olas y corrientes). La recuperación a partir de una disposición más concentrada (o en montículos) se considera más lenta que para una disposición extensiva. El impacto sobre la columna de agua de las arenas se considera

despreciable debido a que, por su densidad, éstas sedimentan rápidamente (dando como resultado períodos de exposición cortos en la columna de agua.

En la mayor parte de las áreas operativas marítimas, la descarga de lodos en base agua y de cortes de perforación con lodo base agua es una práctica rutinaria, excepto en áreas altamente sensibles.

5.2.2. Re-inyección en Pozos

En varias ubicaciones marítimas en todo el mundo se ha inyectado ripios de perforación, como en el Mar del Norte, el Golfo de México, Alaska y la zona oriental del Canadá. En algunos casos, cuando se realiza un desarrollo con múltiples pozos a partir de una plataforma fija y existe en formaciones geológicas apropiadas, la re-inyección ha resultado ser una alternativa viable y técnica para la disposición. Por ejemplo, en un desarrollo de una plataforma en el Mar del Norte (Kunze y Skorve, 2000), la inyección resultó positiva y se limitó el tiempo de paralización de las operaciones. En este desarrollo, se inyectó ripios y lodos de perforación en base aceite, desechos aceitosos y agua de drenaje, así como residuos de producción de la unidad adyacente flotante de producción para almacenamiento y descarga (FPSO) en un pozo exclusivo de inyección que, posteriormente, fue completado como pozo de producción. La utilización de los pozos exclusivos minimizan las preocupaciones acerca del taponeo anular, la erosión del equipo de suspensión y el posible colapso del revestimiento de los pozos productores. Aunque se dispone de una serie de alternativas de disposición, la combinación de condiciones geológicas apropiadas para la inyección y, el escenario en que se está llevando a cabo el desarrollo hace que el pozo de inyección exclusiva se convirtiera en una alternativa económica y, en conjunto con las restricciones normativas, hacen que la re-inyección pueda ser la mejor alternativa disponible en una determinada situación, desde un punto de vista de costos, operativo y ambiental.

La re-inyección de arenas de producción implica un tratamiento previo para homogeneizar y conformar las lechadas de inyección. Las lechadas son una suspensión estable de las arenas para que puedan penetrar en las fracturas de una formación geológica sub-superficial en forma eficiente. Las arenas también pueden inyectarse en

el anillo del pozo en perforación, o en un pozo específico de disposición o de doble utilización; es decir, un pozo que posteriormente será completado para ponerlo en producción. La elección de la alternativa apropiada de inyección implica una serie de consideraciones operativas y económicas. Los gastos asociados con la utilización de pozos dedicados y/o de uso dual son mayores que para la inyección anular; sin embargo, existen menos problemas operativos como el bloqueo del espacio anular.

No obstante, las arenas deben ser transportadas a las cercanías del pozo inyector o instalación de tratamiento (formación de lechada). Este proceso de transporte comparte muchas de las desventajas- aunque en menor grado, por lo general- con la alternativa de Disposición en Tierra que se describe en la siguiente sub-sección (por ejemplo, naves de transporte, utilización de combustible, mayores emisiones atmosféricas, mayor posibilidad de accidentes laborales, etc.)

Para la re-inyección se debe realizar un análisis técnico exhaustivo para evaluar la conveniencia de un determinado lugar de inyección y de operación. Es fundamental que exista una formación geológica apropiada que pueda recibir y contener los desechos a largo plazo, sin poner en peligro las operaciones de perforación y de producción, o dañar los yacimientos productivos.

En general, esta opción puede ser la de mayor valor económico y la más práctica en las situaciones de desarrollo de yacimientos donde el pozo inyector puede ser ubicado en la misma plataforma de producción donde se generan las arenas.

Se requiere equipo adicional para la alternativa de re-inyección en mayor medida que para la alternativa de descarga al medio marino. Probablemente se necesite una cabeza de pozo especial (manejo de altas presiones) y un programa de revestimiento modificado en comparación con los pozos de producción básicos. El equipo adicional (Figura 26) requerido para la re-inyección debe incluir lo siguiente:

- ✓ Tornillo de transporte para transferir las arenas a los sistemas de molienda y mezcla de lodos;
- ✓ Bombas centrífugas o unidades de molienda para procesar las arenas y la mezcla con agua de mar;

- ✓ Tanque de lodos para almacenar la mezcla de arenas molidas y agua de mar antes de la inyección;
- ✓ Bomba de segmentación triplex para inyectar los lodos en el pozo.

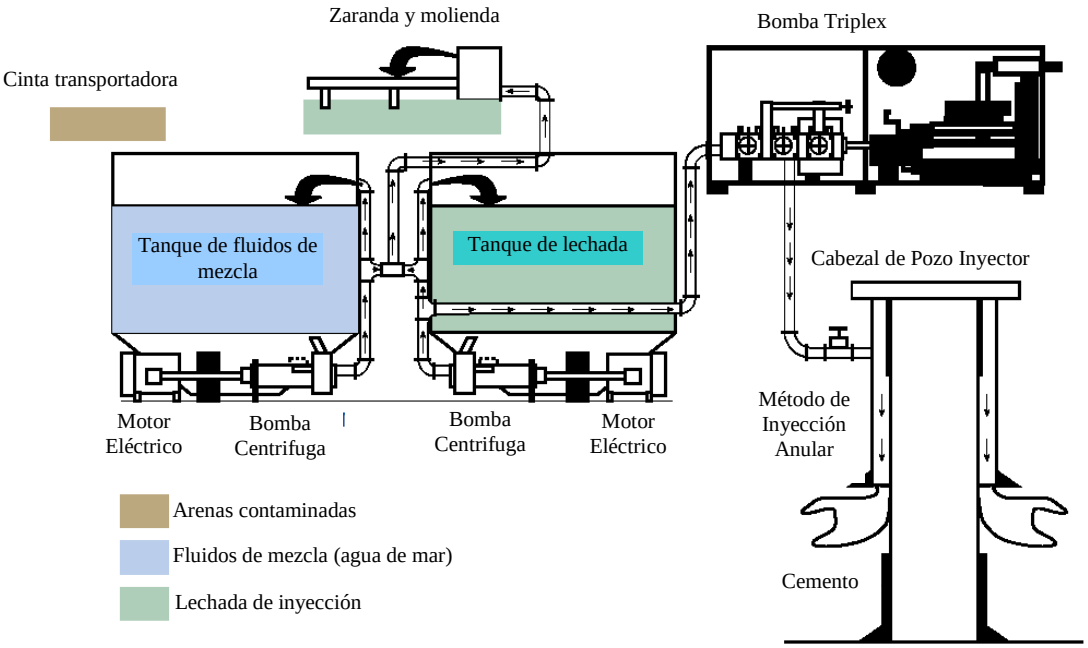


FIGURA 26. Equipo de Re-inyección de Arenas

Cuando se deban de suspender las operaciones de inyección debido a problemas con el equipo de inyección o la operación del pozo, o si el sistema no puede manejar la cantidad de arenas de producción que se está generando, entonces será necesario detener la producción de crudo o abrir otra alternativa de disposición. Ocasionalmente, los operadores pueden tener problemas con el manejo de las arenas de producción durante la fase de arranque o en condiciones de perturbación, por lo que tendrá que disponerse de un sistema de almacenamiento de las arenas, para superar estas perturbaciones o fallas operativas del sistema.

La logística también puede limitar la aplicabilidad de la re-inyección. Las plataformas de producción costa afuera no tienen suficiente espacio para incluir el equipo de re-inyección y las instalaciones de almacenamiento que se necesitan. En el Cuadro 24 se muestran las ventajas y desventajas de la alternativa.

CUADRO 24. Ventajas (+) y Desventajas (-) de la Re-inyección

Económicas	Operativas	Medio ambientales
+ No necesita transporte fuera del área de trabajo	+ Las arenas pueden inyectarse luego de ser tratadas	+ Eliminación de los impactos sobre el lecho marino
+ Permite disponer de otros residuos que habrían tenido que ser llevados a tierra firme para su eliminación	+ Tecnología comprobada	+ Limita la posibilidad de contaminación de la superficie y el agua subterránea
- Costoso y requiere de mano de obra intensiva	- Requiere mucho equipo y mano de obra	+ No trae consecuencias medio ambientales en las instalaciones en tierra
- La paralización del equipo puede interrumpir las actividades de producción	- Su aplicación requiere formaciones receptoras con propiedades adecuadas	- Mayor contaminación del aire debido a que requiere sistemas de energía (bombas y molienda)
	- Limitaciones en el diseño del revestimiento y cabezal del pozo	- Posible filtración emergente hacia el lecho marino si no se diseña correctamente
	- Sobre-presión y comunicación entre pozos adyacentes	
	- Eficiencia variable	
	- Difícil en áreas de exploración debido a que no se conocen las formaciones	

- **Implicaciones al medio ambiente**

La re-inyección tiene la ventaja, en comparación con la descarga marítima, de evitar completamente la descarga de arenas en el medio marino y su deposición en el lecho; no obstante, esta ventaja tiene que contraponerse al mayor costo ambiental por el mayor uso de combustibles e incremento de las emisiones atmosféricas. Comparada con la disposición en tierra firme, la re-inyección elimina la utilización de espacio de relleno y el potencial impacto sobre los recursos hídricos. En algunos casos, dependiendo de la técnica de disposición en tierra que se emplee y la distancia al lugar de disposición, la inyección también puede demandar menor utilización de combustible y originar menores emisiones atmosféricas.

A pesar de que se han registrado casos en que la lechada inyectada ha re-emergido a la superficie, la existencia de un programa de inyección de arenas bien diseñado y una especial atención a las condiciones geológicas locales, minimizan este riesgo. No

obstante, algunos factores operativos pueden excluir la utilización de esta opción de manera única, reduciendo las ventajas ambientales de la alternativa:

- ✓ En primer lugar, si los pozos de inyección se encuentra alejados de la plataforma de producción, la descarga o la carga en la plataforma de las arenas podría dificultarse o ser insegura en determinadas condiciones climatológicas o marítimas. Dichas transferencias pueden implicar riesgos operativos y de seguridad similares a los de la alternativa de disposición en tierra.
- ✓ En segundo lugar, se debe de pensar en las consecuencias cuando no es posible la inyección (por ejemplo, si se taponea el pozo). En dichos casos, se debe almacenar las arenas en el lugar de la plataforma o transportarlas a tierra; si no, podría producirse paralización de la producción.

En resumen, la alternativa de re-inyección podría reducir drásticamente, pero no necesariamente eliminar, el impacto en el lecho marino o la utilización de rellenos en tierra firme.

5.2.3. Disposición en Tierra Firme

Las arenas pueden procesarse en la plataforma de producción, luego ser almacenadas y transportadas para su disposición en tierra firme. En consecuencia, se deben de tomar en cuenta dos componentes de la disposición en tierra firme cuando se evalúe la viabilidad de esta opción: el primero, relacionado con el transporte por vía marítima (Cuadro 25); y el segundo relacionado con la alternativa de disposición en tierra firme que se elija (Cuadro 26).

Esta alternativa no es técnicamente compleja, pero requiere una cantidad significativa de equipo, esfuerzo e inversión en comparación con la opción de descarga al medio marino. En la misma plataforma, el equipo adicional requerido se refiere a los contenedores para almacenar las arenas antes y durante su transporte; sin embargo, también requiere una mayor utilización del equipo presente en la misma plataforma, como por ejemplo, las grúas.

CUADRO 25. Ventajas (+) y Desventajas (-) del Transporte Marítimo a Tierra Firme

Económicas	Operativas	Medio ambientales
+ Se puede eliminar los desechos del punto de producción, lo cual cancela las posibles responsabilidades (indemnizaciones) en el lugar de la plataforma. - El costo del transporte puede ser alto, debido al costo de la operación de la embarcación, y variar con la distancia entre la base en tierra y el punto de producción - El transporte puede demandar el uso de embarcaciones adicionales de abastecimiento - Existe costos adicionales relacionados con el transporte de equipo en tierra (bombas de vacío, tornillos transportadores, cajas para arenas o contenedores a granel), y personal - La paralización operativa causada por la incapacidad de disponer las arenas producidas tendría como resultado operaciones más costosas	- Peligro de seguridad relacionados con la carga y descarga de contenedores de desechos en las embarcaciones de trabajo y la base en tierra firme - Mayor manipuleo de desechos en el punto de producción y la base en tierra firme - Mayor necesidad de personal - Mayor riesgo de exposición del personal a hidrocarburos aromáticos - Necesidad de una recolección y transporte eficientes de desechos en el punto de producción - Posible dificultad para el manejo logístico de las arenas generadas en periodos de mantenimiento de instalaciones de producción (altas tasas de generación) - Condiciones meteorológicas o logísticas pueden impedir la carga y transporte de las arenas, dando como consecuencia la suspensión o la necesidad de hacer nuevas descargas	+ Sin impacto sobre la comunidad béntica (asumiendo ningún accidente durante el transporte) + Evita el impacto en áreas marítimas de sensibilidad ecológica (asumiendo ningún accidente durante el transporte) - Utilización de combustibles y consecuentes emisiones atmosféricas resultantes por la transferencia de desechos a una base en tierra firme - Mayor riesgo de derrames durante la transferencia (transporte a tierra firme y descarga) - Disposición en tierra firme crea nuevos problemas (posibilidad de contaminación de aguas subterráneas) - Posible interferencia con operaciones navieras y de pesca debido al mayor tráfico de embarcaciones y tráfico portuario

Fuera de la plataforma, se necesita una cantidad significativa de equipo: por ejemplo, una o más embarcaciones especiales, instalaciones portuarias, alquiler de camiones y utilización de equipo en la instalación de disposición. Si se va a realizar inyección en tierra firme, como disposición final, se requerirá además equipo de molienda, mezcla de lodos y bombas de inyección en el lugar mismo.

Una vez en tierra, hay una serie de alternativas para el tratamiento/disposición de las arenas. Las alternativas de eliminación incluyen la inyección, dispersión en tierra, reutilización en el suelo y disposición en relleno (Figura 27).

CUADRO 26. Ventajas (+) y Desventajas (-) de las Alternativas de Tratamiento y/o Disposición en Tierra Firme

Alternativa	Económicas	Operativas	Ambientales
Compartidas por todas las alternativa en tierra	+ Costos de transporte en tierra - Posibles responsabilidades en el futuro	- Transporte al lugar - Riesgo de seguridad para el personal y los residentes durante el transporte y la manipulación - Instalaciones de disposición que exigen el monitoreo y gestión a largo plazo	+ Reduce el impacto en el lecho marino y la biota - Posibilidad de derrames en tierra firme - Emisiones atmosféricas asociadas con el transporte y la operación del equipo
Re-inyección	- Onerosa si no existe un lugar disponible - Responsabilidad a largo plazo	- Requiere formaciones geológicas apropiadas - Requiere instalaciones apropiadas	- Posibles impactos en las aguas subterráneas - Emisiones atmosféricas por utilización de equipo - Responsabilidad a largo plazo
Esparcimiento en tierra	+ Opción relativamente barata si se dispone de terrenos - Requiere alquiler de tierras a largo plazo	+ Proceso simple con poca necesidad de equipo - No puede utilizarse con residuos de alto contenido salino sin tratamiento previo	+ Degradación de hidrocarburos - Debe realizarse dentro de los límites de concentración pues podría de otra manera causar daños a las cosechas
Land-farming	+ Poco onerosa en comparación con otras alternativas en tierra + Opción relativamente barata si se dispone de terrenos - Requiere alquiler de tierras a largo plazo	- Uso limitado debido a poca disponibilidad y acceso a tierras apropiadas - Requiere condiciones climáticas y características de suelos apropiadas - No puede utilizarse con desechos de alto contenido salino sin tratamiento previo	+ La gestión correcta reduce al mínimo la posibilidad de impacto en las aguas subterráneas + Biodegradación de hidrocarburos - Emisiones atmosféricas procedentes de la utilización de equipo y gases por el proceso de degradación - Escorrentías en áreas de gran precipitación pueden contaminar las aguas superficiales - Puede requerir monitoreo significativo
Rellenos sanitarios	+ Poco onerosa en comparación con otras alternativas en tierra + Opción relativamente barata si se dispone de terrenos - Requiere alquiler de tierras a largo plazo	- Requiere gestión y monitoreo apropiados para cumplir con exigencias sobre contenido más fino de petróleo en los residuos - Necesidad de tierras	- Posible impacto en las aguas subterráneas y superficiales - Emisiones atmosféricas derivadas de la utilización de equipo de movimiento de tierras - Posibles restricciones sobre el contenido de petróleo de los residuos

CUADRO 26. Ventajas (+) y Desventajas (-) de las Alternativas de Tratamiento y/o Disposición en Tierra Firme. Continuación…

Alternativa	Económicas	Operativas	Ambientales
Compostaje	+ Poco oneroso en comparación con la re-inyección, procesamiento térmico e incineración - Posibles responsabilidades futuras debido al impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas - Más costoso que la dispersión en tierra	+ Requiere espacio y equipo limitados + Biodegradación más rápida que con la reincorporación en suelos + Mayor eficiencia en climas fríos + Exige mucha manipulación - Requiere fuente barata de agente de hinchado	+ Mínima posibilidad de impacto en aguas subterráneas + Biodegradación de hidrocarburos - Emisiones atmosféricas derivadas de la utilización de equipo de movimiento de tierras - Escorrentías en áreas de gran precipitación pueden contaminar las aguas superficiales - Incremento en el volumen de residuos si se requiere una limpieza a futuro o si no se puede dispersar los residuos procesados en tierra - Posibles restricciones por normativas
Desorción Térmica	+ Pocas posibilidades de obligaciones e indemnizaciones a futuro - Elevado costo inicial del equipo - Elevado costo por control de contaminación de aire y seguridad	- Requiere varios operadores - Requiere control estricto de los parámetros del proceso - Las elevadas temperaturas de operación pueden causar problemas de seguridad	+ Eliminación y reciclaje efectivos de los hidrocarburos a partir de sólidos - Concentración de metales y sales en lo sólidos procesados - Agua de proceso contiene rastros de aceite emulsificado - Emisiones por combustión de hidrocarburos - Los residuos del proceso requieren eliminación
Incineración	+ Pocas posibilidades de obligaciones e indemnizaciones a futuro - Elevado costo por volumen - Elevado costo de energía	+ Relativamente poco tiempo necesario para la incineración - Requiere varios operadores - Requiere equipo de control de contaminación atmosférica - Problemas de seguridad	+ Destrucción de hidrocarburos + Se puede transformar los materiales para impedir la lixiviación de metales pesados + Menor volumen de desechos + Posibilidad de recuperación de energía térmica para producción de energía - Necesidad de eliminar los residuos sólidos/cenizas - Con temperaturas elevadas, las sales pueden convertirse en componentes ácidos - Emisiones atmosféricas procedentes de las operaciones

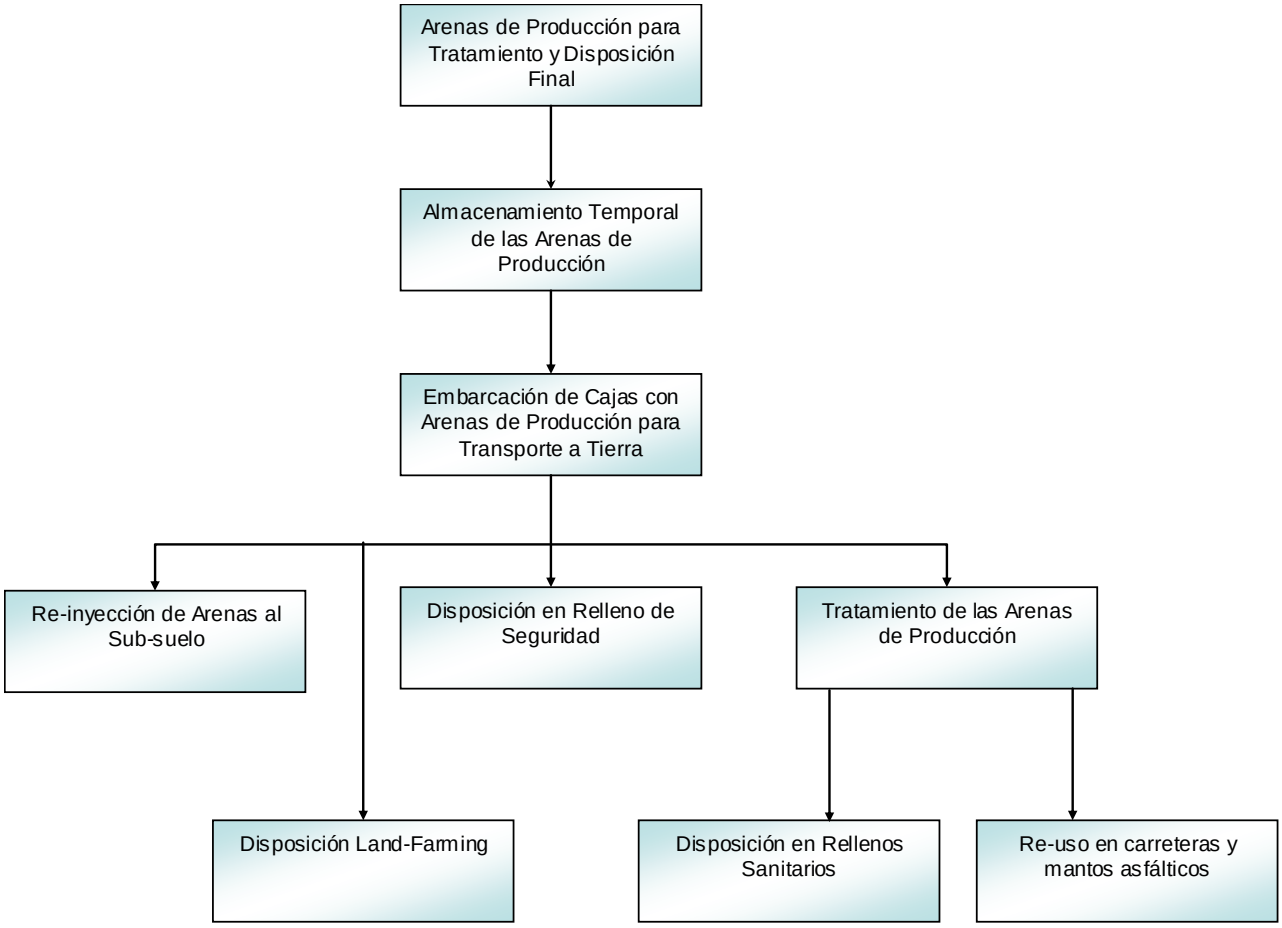


FIGURA 27. Diagrama Esquemático de las Opciones de Disposición de las Arenas de Producción en Tierra Firme

- **Implicaciones al medio ambiente**

En comparación con la alternativa de Descarga al Medio Marino, la alternativa de Disposición en Tierra Firme tiene la ventaja de que no deja acumulación de arenas asociados en el lecho marino, por consiguiente, se evita el impacto en el lecho marino y la biota. Sin embargo, la alternativa de Disposición en Tierra Firme presenta varias desventajas (Cuadro 26). Aparte del elevado costo asociado con el alquiler de equipos y embarcaciones, el costo de combustible, el transporte en tierra y el tratamiento/disposición, las desventajas son:

- ✓ Mayor posibilidad de accidentes laborales (por ejemplo, durante la utilización de las grúas en las plataformas y en el puerto, transporte en botes, transporte en camiones, y las operaciones en el lugar del relleno sanitario/disposición);

- ✓ Mayor posibilidad de accidentes con la población civil residente cerca del puerto y las instalaciones de disposición (por ejemplo, accidentes de tránsito);
- ✓ Mayores emisiones atmosféricas y utilización de combustibles en prácticamente todos los casos del proceso (por ejemplo, transferencia de la plataforma al bote, transferencia del bote al puerto, transferencia en el puerto, operación de camiones, operación del equipo de las instalaciones);
- ✓ Mayor posibilidad de derrames de combustible de las embarcaciones utilizadas en el transporte de arenas a tierra firme;
- ✓ Posibilidad de derrames cerca o en la costa de las arenas durante la carga, descarga y transporte de las mismas a tierra firme cuando hay condiciones adversas de clima o durante el transporte al punto de disposición;
- ✓ Utilización del espacio del relleno que en muchos países, tanto desarrollados como en desarrollo es un bien relativamente costoso;
- ✓ Utilización de la tierra que podría tener mejores usos alternativos;
- ✓ Posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas, especialmente en el punto de relleno sanitario/disposición o inyección, pero también en otros puntos de manejo en tierra firme;
- ✓ Inconvenientes menores en la población civil cerca del puerto y de las instalaciones de disposición (por ejemplo, tráfico, ruido, polvo, malos olores);
- ✓ Posible interferencia con las actividades navieras y pesqueras debido al mayor tráfico de naves y mayor tráfico portuario.

La inyección de residuos alivia el problema de la utilización de tierras en los rellenos sanitarios. Sin embargo, la disposición en rellenos sanitarios o la inyección podrían causar problemas de responsabilidad a largo plazo si dichos residuos se filtran hacia la mesa freática cercana.

Además de las desventajas mencionadas, la alternativa de Disposición en Tierra Firme también tiene, como consecuencia, una mayor exposición de los trabajadores a las arenas contaminadas en comparación con la alternativa de Descarga al Medio Marino. Desde el punto de vista operativo, la alternativa de Disposición en Tierra Firme podría tener como consecuencia demoras en la operación si no se puede cargar/descargar las arenas de producción desde/hacia las embarcaciones cuando el mar está agitado. Debido a que el espacio de almacenamiento en las plataformas de

producción es limitado, una demora en la descarga podría suspender temporalmente las operaciones si se sigue una política estricta de "prohibición de descargas".

A nivel mundial se emplea una amplia gama de alternativas de disposición y tratamiento en tierra firme. Las alternativas que se elijan dependerán de factores como la infraestructura local (por ejemplo, si existe un relleno sanitario administrado), de la normativa ambiental local y de la disponibilidad de tierra.

En áreas como el Golfo de México, el Mar del Norte y Australia Occidental se cuenta con rellenos sanitarios especiales para manejar los residuos generados por la perforación marítima en áreas donde dicha actividad es muy intensa. En zonas más remotas y menos desarrolladas, podrían no existir áreas apropiadas para estos rellenos.

La incineración se ha usado rara vez en el Hemisferio Occidental en el tratamiento de arenas o ripios de perforación, principalmente debido a su elevado costo. Se utilizó de manera limitada en el Canadá oriental antes de adoptar otra alternativa.

También ha sido limitada la utilización de ripios tratados para la construcción y otros usos alternativos. Se siguen evaluando los aspectos de seguridad, salud y medio ambiente relacionados con estas utilizaciones. En Escocia, se ha utilizado cortes de perforación para la construcción de ciclovías. También se ha propuesto su uso como material de cobertura de zanjas o rellenos sanitarios.

5.3. Análisis de las Alternativas de Tratamientos y Disposición más Adecuadas para las Arenas de Producción del Campo Pedernales

En base a las consideraciones planteadas en las secciones anteriores, y luego de una exhaustiva revisión bibliográfica, se procedió a analizar las alternativas de tratamiento y disposición más adecuadas a las operaciones de producción del campo Pedernales. Para ello, fue necesario un trabajo de campo, dirigido a analizar las capacidades de las facilidades disponibles en cuanto a: energía, transporte marino y terrestre, espacio, grúas, muelles, cajas, etc.

Para el caso del campo Pedernales, se encontraron las siguientes ventajas:

- ✓ Disponibilidad de energía eléctrica para la instalación de nuevas fuentes de demanda: el campo Pedernales posee unidades turbogeneradores capaces de generar hasta 60 MW. Actualmente el consumo energético del campo y de los centros Capure y Pedernales, que también son alimentados por el sistema, alcanzan los 15 MW.
- ✓ Disponibilidad de Embarcaciones: el transporte marítimo en el campo se efectúa a través de un remolcador de carga y una gabarra plana, además de lanchas y embarcaciones de menor calado. El remolcador “Corvina”, en reemplazo del “Hans Tide”, presta el servicio de transporte de carga marítima al campo con un contrato anual. La capacidad de transporte del remolcador alcanza hasta 30 cajas de 25 barriles cada una. Cada viaje al puerto de Güiria toma un tiempo de 4 horas, lo que significa que en un día el remolcador puede efectuar hasta 2 viajes efectivos. Esta descripción no incluye las embarcaciones que asisten el transporte de crudo, las cuales son totalmente independientes.
- ✓ Facilidades de Carga y Descarga: cada una de las plataformas de producción del campo Pedernales están equipadas con una grúa de hasta 25 toneladas, y cada caja de arenas de producción pesa alrededor de 12 toneladas incluido el peso muerto.
- ✓ Disponibilidad de puerto/muelles: cada plataforma de producción posee su propio embarcadero que permite el acceso de las embarcaciones de hasta 3 metros de calado durante las horas de marea alta. En tierra, el muelle de Güiria esta equipado para recibir embarcaciones de gran calado, ya que da apoyo a la actividad pesquera industrial y a la industria petrolera. A diferencia de los muelles de Capure y Pedernales, los cuales no poseen estructura de soporte para carga, solo embarque y desembarque de personal.

Por otra parte, en cuanto a las limitaciones, se tienen las siguientes:

- ✓ Disponibilidad de tierras: el campo Pedernales es un campo costa afuera que no dispone de soporte en tierra, a excepción de las áreas de almacenamiento en el muelle de Güiria, por tanto, para cualquier actividad que se realice en tierra firme: tratamientos biológicos o el desarrollo de rellenos y áreas de tratamiento, se

deberá adquirir el terreno correspondiente. En los actuales momentos, los tratamientos biológicos son aplicados por una empresa de servicio (PROAMBIENTE) ubicada en Maturín.

- ✓ Disponibilidad de transporte en tierra: como consecuencia de las actividades costa afuera, el transporte en tierra no es una actividad de rutina. Para el transporte de las arenas de producción en tierra, Perenco Venezuela contrata servicios de una empresa transportista de carga pesada, y debidamente autorizada para el transporte de materiales peligrosos (Transporte Díaz Viña).
- ✓ Disponibilidad de Mano de Obra: la mano de obra que se encuentra en el campo Pedernales es especializada para el manejo de las instalaciones de producción. El riesgo asociado a las operaciones, y lo apartado del campo, hace complejo el reclutamiento de personal capacitado para trabajar de forma segura en las instalaciones de producción y manejo de gas a alta presión (10000 psi).
- ✓ Disponibilidad de espacios: como toda instalación costa afuera, la reducción de costos implica el desarrollo de estructuras a la medida, con escasos espacios para la instalación de nuevos sistemas. En este sentido, se debe analizar no solo el espacio físico sino la capacidad de carga de las estructuras, y la disponibilidad de facilidades de alojamiento para el personal adicional (dormitorios, baños, cocina, y demás servicios); facilidades que ya son limitadas para el personal operativo de producción.
- ✓ Limitaciones de tiempo de carga: las zonas deltanas, por lo general, están asociadas a periodos de mareas altas y bajas que limitan las operaciones marítimas de transporte de carga a las horas de marea alta únicamente, lo que implica tiempos muertos para las operaciones.
- ✓ Condiciones meteorológicas: de la misma forma que existe una dependencia de las mareas altas, también existe una limitación por las condiciones meteorológicas. En la desembocadura del Caño Mánamo se han registrado corrientes superficiales con valores superiores a los 6 m/s y velocidades de vientos superiores a los 8 m/s en horas avanzadas del día (18:00 a las 20:00), de acuerdo a los registros de control meteorológico del Departamento de Logística del campo Pedernales. Estas fuertes corrientes y vientos, hacen difícil la maniobrabilidad de la embarcación a la salida del canal de navegación del Caño Pedernales, lo que puede producir eventos de encayamiento para las embarcaciones con carga.

- ✓ Canal de Navegación: las embarcaciones con carga requieren calados mayores a los 3 metros para poder navegar en el caño. Visto que solo existe un canal de navegación, cuando la gabarra de transporte de crudo ingresa o sale cargada del campo de producción, cualquier otra embarcación de carga debe esperar hasta que el canal de navegación esté disponible; no obstante, por razones de seguridad, los remolcadores que se encuentren en las instalaciones durante las operaciones de trasvase de crudo deben estar disponibles para asistir cualquier encayamiento o emergencia que pueda ocurrir con la gabarra de carga.

Las características ambientales particulares del ecosistema de manglar presente, y las condiciones hidráulicas del caño, hacen inferir que las actividades de transporte marino de materiales contaminados con hidrocarburos son altamente riesgosas y deberían ser restringidas. En consecuencia, una alternativa de pre-tratamiento en sitio parece tener una fuerte justificación. No obstante, esta alternativa requiere ajustarse a las condiciones de instalaciones costa afuera que están limitadas en espacio y capacidad estructural de carga.

Para el análisis de las alternativas de tratamiento y disposición de las arenas de producción más adecuada a las instalaciones petroleras del campo Pedernales, desde el punto de vista técnico-ambiental, se ha seguido una metodología de evaluación de matrices similar al Método Leopold, en la cual, los parámetros mencionados en el Cuadro 3 del Capítulo II del Marco Teórico Referencial referidos a Operación y Ambiente son evaluados en la matriz (columna 1, Cuadro 27). El subtotal ponderado de cada categoría, obtenido con la suma del producto de las ventajas (positivos) o desventajas (negativos) de cada alternativa (columna 2, Cuadro 27) por el ponderado, indicará un valor numérico asociado. Las alternativas de más alto valor serán las seleccionadas para las siguientes fases de evaluación. Un valor alto implica una alternativa con más ventajas operativas y ambientales, que una alternativa de valor bajo.

Los valores “+” equivalen a 1, mientras que los valores “-“ equivalen a -1, a modo de ejemplo se desarrolla manualmente el cálculo para la alternativa 1 (columna 2, Cuadro 27) bio-remediación:

Suma de positivos ponderados=

+'s (leídos de la columna 2) x ponderados (leídos de la columna 8).

Suma de positivos ponderados para bio-remediación (columna 2)=

a x 1+ d x 3 + e x 1 + h x 3 + i x 3 + k x 2 + l x 2 + o x 1 + p x 1 + q x 4 + w x 4 = 25

Suma de negativos ponderados=

-'s (leídos de la columna 2) x ponderados (leídos de la columna 8).

Suma de negativos ponderados para bio-remediación (columna 2)=

b x 1+c x 1+f x 1+g x 1+j x 1+m x 2+n x 1+r x 1+s x 1+t x 1+u x 1+v x 1= - 13

Como se puede notar, el total de la columna de ponderados es 38, lo que significa que la suma de positivos ponderados y negativos ponderados (en signo positivo) debe ser siempre igual a 38, cualquiera que sea la alternativa analizada.

En el Cuadro 27 se muestra la Matriz de Evaluación con los diferentes parámetros y los resultados obtenidos. Las ponderaciones están dadas para valores altos en los parámetros limitativos como costo y espacio requerido en plataformas (incluye capacidad de carga estructural), seguidos por los parámetros ambientales referidos al delta (aguas y especies marinas, y manglar), y para los parámetros operaciones (seguridad de instalaciones, salud ocupacional y requerimientos de energía). De acuerdo a ello, las alternativas más adecuadas corresponden a: Pre-tratamiento de lavado en plataforma y descarga en medio marino, Bio-tratamiento en tierra, y la Inyección en pozos, siendo las alternativas con los más altos valores de suma de ponderados.

No obstante, es importante resaltar que desde el punto de vista ambiental, las alternativas de incineración, desorción térmica e inyección representan las mejores alternativas (ver valores de subtotal ponderado positivo ambiental, Cuadro 27). Mientras que desde el punto de vista operacional y de costo, las mejores alternativas son el lavado y la descarga al medio marino, bio-remediación e inyección (ver valores de subtotal ponderado positivo operacional, Cuadro 27). Una combinación de pre-tratamiento en sitio, como la tecnología de lavado, con una disposición en tierra firme

resulta la mejor opción combinada de tratamiento y disposición. En este sentido, un esquema de pre-tratamiento por lavado y una disposición en tierra firme en Güiria, resultaría en la mejor alternativa de manejo de las arenas de producción, tanto ambiental como operacional.

CUADRO 27. Matriz de Evaluación de Alternativas de Tratamiento en Pedernales

Alternativa de Tratamiento	Bio-remediación y Disposición en Tierra	Incineración	Desorción Térmica	Solidificación/ Estabilización	Re-Inyección en Pozos	Tecnología de Lavado y Descarga al Medio Marino	Ponderación
Ambientales							
a. Emisión Atmosférica	+	-	-	-	-	+	1
b. Reducción del Volumen de Desecho	-	+	+	-	+	+	1
c. Afectación a Especies Tierra	-	+	+	+	+	+	1
d. Afectación a Especies Marina	+	+	+	+	+	-	3
e. Niveles de Remoción	+	+	+	-	+	+	1
f. Afectación Aguas Subterráneas	-	+	+	+	-	+	1
g. Afectación Aguas Superficiales	-	+	+	-	+	+	1
h. Afectación Aguas Marinas	+	+	+	+	+	-	3
i. Afectación Manglar	+	+	+	+	+	-	3
j. Afectación Suelos/Usos	-	+	+	-	+	+	1
Subtotal Ponderado Positivo Ambientales	11	15	15	11	14	7	16
Operacionales							
k. Requerimientos de Energía	+	-	-	-	-	+	2
l. Seguridad	+	-	-	-	+	+	2
m. Salud Ocupacional	-	-	-	-	+	+	2
n. Tasas/Tiempo de Procesamiento	-	+	-	-	+	+	1
o. Confiabilidad	+	+	+	-	+	-	1
p. Tamaño y manejo de equipos	+	-	-	-	-	+	1
q. Espacio Disponible	+	-	-	+	-	+	4
r. Procesamiento	-	-	-	-	-	+	1
s. Dependencia Meteorológica	-	+	+	-	+	+	1
t. Transporte	-	-	-	-	-	+	1
u. Disposición final (maniobras)	-	-	-	-	+	+	1
v. Requerimiento de instalaciones/Áreas Adicionales	-	-	-	-	-	+	1
w. Costo	+	-	-	-	-	+	4
Subtotal Ponderado Positivo Operacionales	14	3	2	4	8	21	22
Subtotal Nominal (número de positivos)	11	12	11	6	14	19	
Subtotal Ponderado Positivo	25	18	17	15	22	28	
Subtotal Ponderado Negativo	-13	-20	-21	-23	-16	-10	
Total (Suma de ponderados)	**12**	**-2**	**-4**	**-8**	**4**	**18**	

5.4. Pre-tratamiento en Sitio y Calidad de Arena Esperada

Visto que las alternativas de mayor valoración técnico-ambiental se inclinan por un tratamiento en sitio, a fin de garantizar que los residuos a transportar a tierra estén bajo una condición de peligrosidad mucho menor, ya que se le han retirado la mayor parte de los fluidos contaminante del sólido, es conveniente evaluar la calidad de las arenas pre-tratadas en sitio para analizar el efecto de la disposición final. Un pre-tratamiento, garantiza que los impactos ambientales por efecto de una descarga accidental de las arenas durante su transporte a tierra sean mucho menores.

En el Marco Legal descrito en el Capítulo II, Marco Teórico Referencial, se indicó que para la EPA las arenas de producción no son consideradas desechos peligrosos, ya que por ser corrientes generadas en boca de pozo pueden ser pre-tratadas y manejadas en forma adecuada. Sus características, y en particular las arenas de producción del campo Pedernales (Cuadro 17), muestran límites de inflamabilidad, corrosividad y reactividad relativamente bajos, y están por debajo de los límites establecidos por el Decreto 2635 que definen al desecho peligroso. Mas aún, las concentraciones de metales pesados en las arenas de producción están por debajo de los valores límites establecidos en el Anexo D: análisis de lixiviados del Decreto 2635.

En base a los resultados de las pruebas y análisis de laboratorio de las arenas de producción del campo Pedernales, los parámetros que requieren mayor control son los aceites e hidrocarburos. Si el tratamiento en sitio puede extraer el hidrocarburo adherido a las arenas de producción, entonces se obtendrá como producto final una arena con una concentración de compuestos o componentes de hidrocarburos muy por debajo de los límites que hacen considerarla como peligrosa.

Entre los tratamientos más versátiles que están emergiendo en el mercado de la industria se encuentran los equipos de lavado de arenas. Cuando la arena a tratar solo esta contaminada con hidrocarburos, se puede efectuar un lavado con chorros de agua a alta presión, adicionando un surfactante que acelere el proceso de desprendimiento del hidrocarburo del grano de arena. Hasta los momentos los equipos de lavado de arenas se han aplicado a los ripios de perforación en base a aceite. No obstante, al lodo

de perforación se le aplica una serie de químicos y compuestos que incorpora otros elementos peligrosos al ripio.

Existen trabajos de investigación (Hermoso, 2003) (Anexo VI), donde las pruebas de laboratorio indican que el lavado de las arenas de Pedernales con chorros a presión (70 bar y 6 lts/min) por un periodo de 120 segundos, puede disminuir el contenido total de hidrocarburos (TPH) en la arena por debajo de **0,005 % en peso**; pero, para disminuir el volumen de las aguas de lavado (aguas del Caño), las pruebas de laboratorio reducen el tiempo de lavado, y por ende la efectividad. En la misma investigación se demuestra que no es necesario el uso de surfactante si se hace un lavado efectivo de las arenas. Visto que en el campo Pedernales no existen limitaciones en cuanto al agua de lavado, pues se puede tomar directamente del caño, la limpieza puede ser totalmente eficiente. En las Figuras 28, 29 y 30, tomadas del estudio de investigación referido en el Anexo VI, se muestran algunos resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio.



FIGURA 28. Imagen de Resultados de Laboratorio Arenas de Producción Lavadas a Chorro por 120 seg.

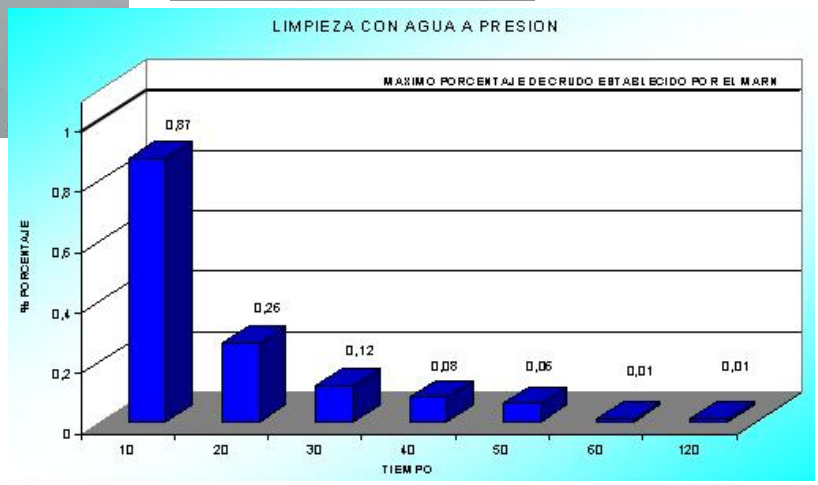


FIGURA 29. Gráfico Comparativo de la Concentración de Hidrocarburo Remanente vs Tiempo de Lavado (seg.)

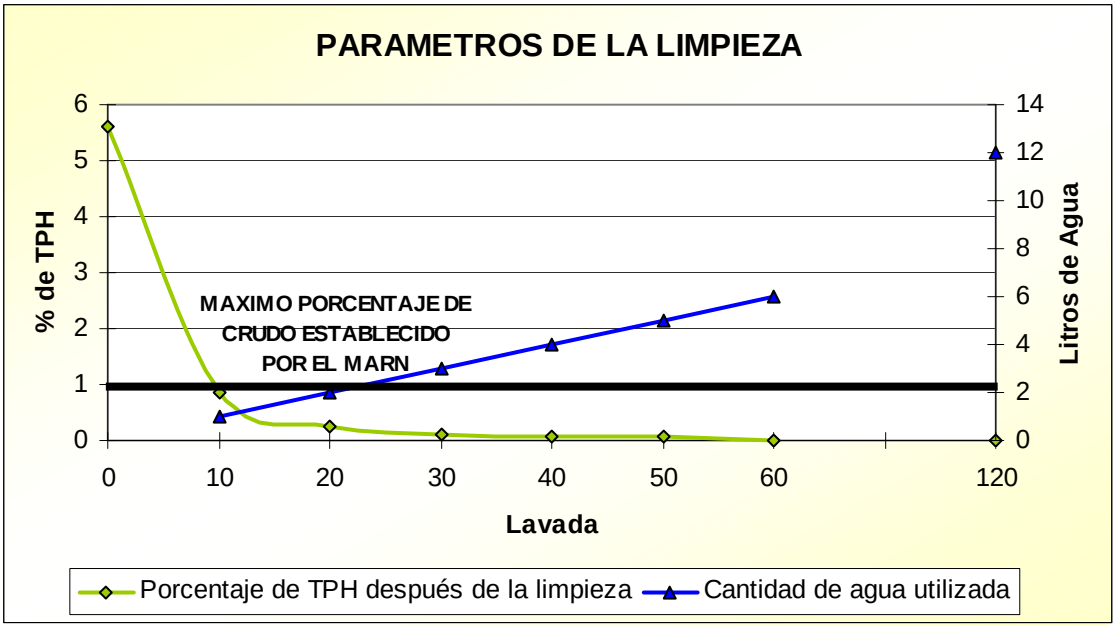


FIGURA 30. Consumo de agua vs Remanente de Hidrocarburos en Arenas de Producción del Campo Pedernales Lavadas con Agua a Chorro

Más en el campo práctico, fuera del laboratorio, la empresa de servicio CONSOLEFCA utilizando equipos de lavado de sólidos con hidrocarburos basados en el mismo principio de lavado con surfactantes, sin aplicar agua a presión, obtuvo arenas con un contenido total de hidrocarburos no mayor de 0,04%. El equipo utilizado esta constituido por tres secciones: una donde se mezcla la arena con el fluido con surfactante (agua del caño); otra formada por un separador mecánico que retira el fluido de las arenas lavadas; y la última que es un biorreactor para retirar el hidrocarburo del fluido de limpieza (ver Anexo VII para más detalle del equipo). El equipo funciona en circuito cerrado para permitir el re-uso de las aguas de lavado, luego de haber retirado el hidrocarburo, y utilizar menores cantidades de surfactante.

Todo el equipo ocupa un espacio no mayor de 15 x 3 x 5 m, y el surfactante utilizado es el denominado “Greensol”, producto enzimático[52] certificado por INTEVEP, soluble en agua y que se mezcla a una relación de 5% en base volumen. El “Greensol” mejora su rendimiento a altas temperatura y cuando el agua tiene cierto grado de salinidad (caso Pedernales). Básicamente, durante la mezcla de los sólidos con el fluido que

[52] Las enzimas son catalizadores orgánicos totalmente biodegradables que facilitan y aceleran la mayoría de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en los organismos animales, vegetales y microorganismos, sin intervenir en ellos algún reactivos.

contiene “Greensol”, se incurre en una reacción biodinámica capaz de romper la cadena de hidrocarburos que impregnan los sólidos, cambiándole a éstos su humectabilidad de oleofílicos a oleofóbicos, lo cual mejora la separación agua-crudo y minimiza las emulsiones que se forman (CONSOLEFCA, 2004)[53].

Visto que las arenas de producción del campo Pedernales poseen características favorables para la limpieza, ya que son granos relativamente uniformes y redondeados, así como escasas características de peligrosidad (inflamabilidad, corrosividad, abrasividad, etc.), siendo el parámetro TPH el más relevante en cuanto a límites de lixiviación, se propone realizar una modificación al sistema de lavado de CONSOLEFCA agregando dispersores de agua a alta presión en el componente de mezcla biodinámica. Las modificaciones propuestas y sus ventajas se muestran a continuación:

- ✓ Sistema de boquillas para el ingreso del fluido de lavado con surfactante: estas boquillas podrán dirigir los chorros de agua a presión sobre las arenas de producción, las cuales están girando y mezclándose con el fluido en el mezclador dinámico. Así, se obtiene un efecto combinado de la separación física por turbulencia y el efecto bioquímico del surfactante, para maximizar la separación de hidrocarburos de las partículas de arena. El tiempo de permanencia de un volumen o lote de arena en el mezclador dinámico debe ser de 120 segundos, según los resultados de lavados en la investigación de laboratorio.
- ✓ Sistema de hidrociclones al ingreso y a la salida de las arenas lavadas al separador liquido-sólidos (shale-shaker, del equipo CONSOLEFCA): estos hidrociclones ya son utilizados en los procesos de perforación para separar el material fino de los lodos de retorno. Los hidrociclones basan su funcionamiento en la diferencia de densidades entre los fluidos y los sólidos, lo cual, es aprovechado para separar una mayor fracción de hidrocarburos que aun pudiera estar adherida en la superficie de las partículas de arena. La pasada de las arenas por los hidrociclones al ingreso y a la salida de la zaranda de separación (shale-shaker) garantizará una separación más eficiente de los fluidos, del orden del 98%, haciendo que las arenas así lavadas puedan ser consideradas como arenas limpias, material no peligroso que pudiera ser descargado directamente

[53] Sistema de Tratamiento Basado en la Limpieza Bio-Mecánica de Sólidos Petrolizados. Consolef, C.A., 2004.

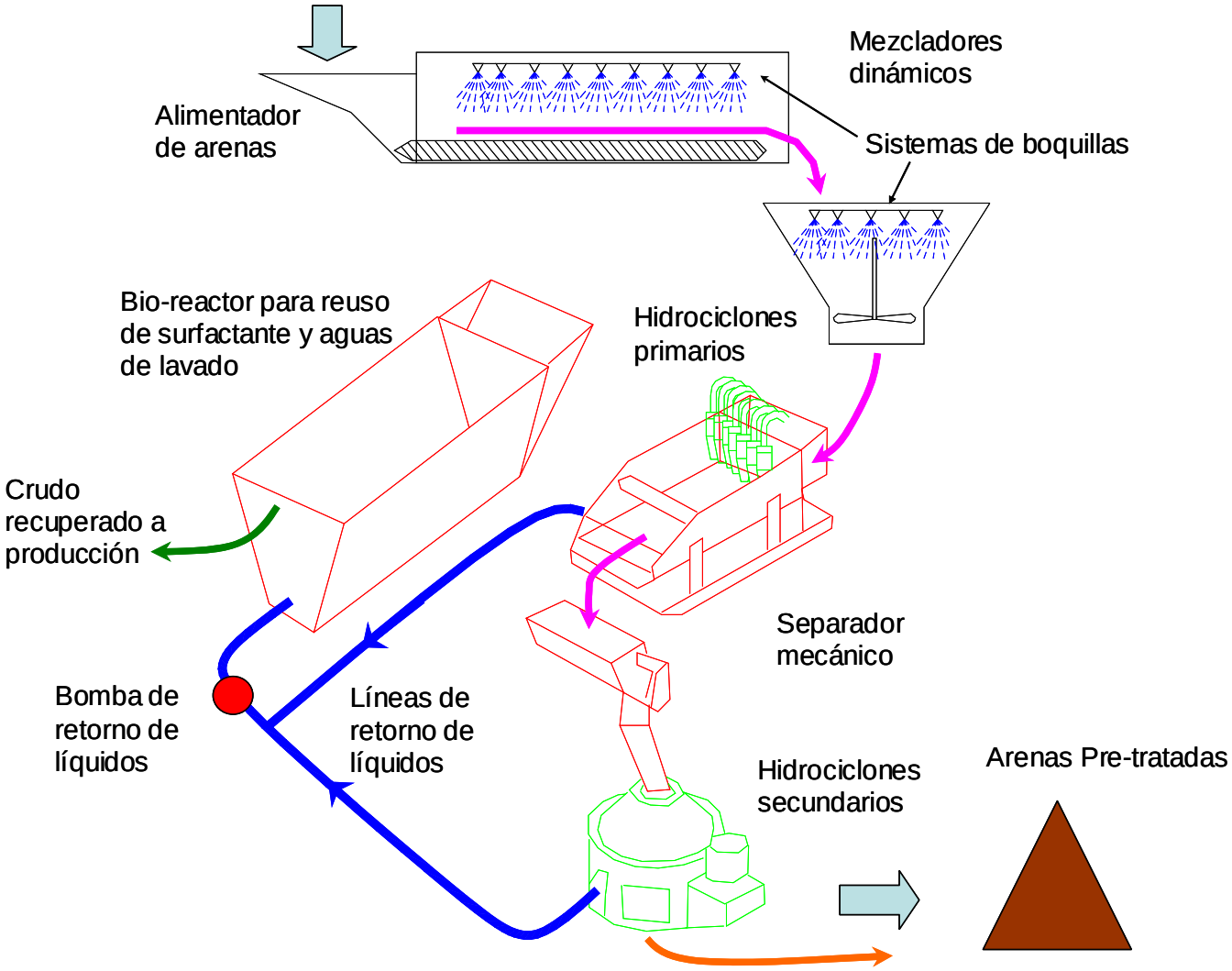
en suelo sin ningún otro tratamiento, o ser transportadas a tierra sin riesgos al medio marino en caso de accidentes y descarga eventual al Caño.

Por otra parte, la fracción de hidrocarburos que se recupera desde el biorreactor, se incorpora a la corriente de producción, y el fluido remanente con surfactante se retorna nuevamente al proceso para tratar un nuevo volumen de arena. Cuando sea requiera un cambio total del fluido de limpieza, esta corriente puede ser mezclada con las aguas de producción e inyectarla en el actual pozo existente de inyección de aguas de formación. Las aguas de reemplazo pueden ser tomadas directamente del Caño, garantizando, de esta forma, que las bacterias y microorganismos que se fermentan con el Greensol se corresponden a las bacterias y microorganismos locales del agua deltana, y no a bacterias ajenas al ecosistema. La Figura 31 muestra un diagrama esquemático del equipo propuesto.

En base a los resultados de laboratorio y de lavado con surfactante, se puede afirmar que el producto final pre-tratado en el campo Pedernales, en caso de instalarse el equipo Biomecánico modificado, alcanzará concentraciones de hidrocarburos por debajo del 0,05% (arenas lavadas sin surfactantes en laboratorio arrojan este resultado).

Una vez que el equipo se encuentre en plataforma y se ponga en operación, se deberán efectuar los ajustes requeridos y las arenas tratadas deberán ser llevadas al laboratorio para realizar un análisis de lixiviados y corroborar que, efectivamente, no existe ninguna concentración de compuesto por encima de los limites establecidos por el Decreto 2635, previo a cualquier decisión en cuanto a la disposición final de estas arenas tratadas, siempre y cuando el MARN haya aprobado la metodología y la disposición final de las arenas.

FIGURA 31. Diagrama Esquemático del Equipo de Lavado de Arenas



5.5. Efecto Esperado en Medio Receptor ante Derrames Accidentales

Basados en que las arenas tratadas en sitio serán transportadas a tierra para su disposición y tratamiento final (si es que hubiera que efectuar un tratamiento adicional), con el consiguiente riesgo que durante el transporte marítimo ocurra un accidente con una posible descarga de las arenas tratadas al medio marino, se efectúa una revisión bibliográfica de cómo este medio en particular reacciona ante la incorporación de compuestos similares. En el análisis se hace referencia a arenas y sólidos de cortes de perforación con fracciones de hidrocarburos, con concentraciones por encima de las esperadas a las arenas pre-tratadas del campo Pedernales.

La Figura 32[54] muestra la descarga y destino de los cortes de perforación a medida que van descendiendo por la columna de agua hasta asentarse en el lecho marino. La depositación depende, en gran medida, de la profundidad del agua y la velocidad de las corrientes, así como del volumen y densidad de los sólidos descargados. La persistencia en el lecho marino está relacionada con el transporte y re-suspensión de los sedimentos, y con la biodegradación del fluido de base (fluido de lavado en el caso de arenas pre-tratadas). Los efectos biológicos de las descargas dependen de la toxicidad de los sólidos y de la extensión espacial de la disposición. Los efectos pueden relacionarse a la combinación del enterramiento físico, la toxicidad de las descargas y la anoxia de los sedimentos inducida por los compuestos asociados al sólido descargado. En las siguientes secciones se realiza un análisis detallado de estos efectos.

5.5.1. Persistencia Física

Una vez que los sólidos se encuentran depositados en el lecho marino, su persistencia física dependerá de la energía natural de re-suspensión y transporte en el lecho marino junto con la biodegradación de los fluidos de base. La duración del impacto sobre la colonia béntica se relaciona con la persistencia de las acumulaciones de arenas e hidrocarburos asociados en el sedimento. Los estudios de campo señalan que para las descargas de ripios, las áreas que se recuperaron más rápidamente fueron

[54] Tomada del OGP. Environmental aspects of the use and land Disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations, 2003.

las que se caracterizaron por tener mayores condiciones de energía en el lecho marino. Debido a la tendencia de adhesión entre las arenas y los fluidos asociados, la re-suspensión de arenas con hidrocarburos requiere corrientes más rápidas que para las arenas limpias. Las pruebas de laboratorio han determinado que la velocidad crítica de las corrientes que se requiere para la erosión de ripios es de 36 cm/s, para un contenido de petróleo de 5%. No se determinó que la velocidad crítica fuese una función importante del contenido de petróleo (Delvigne, 1996).

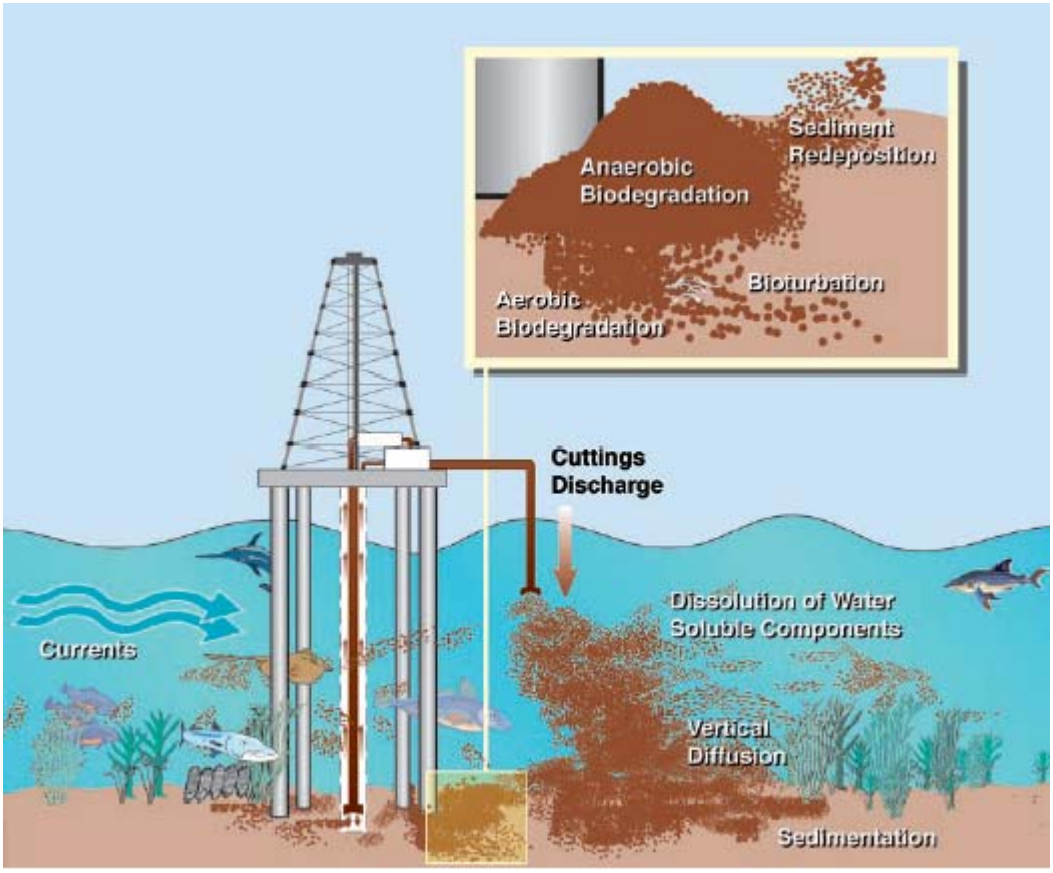


FIGURA 32. Destino de Cortes de Perforación Descargados al Océano

Puesto que se esperaría que las arenas fueran menos persistentes en áreas con acumulaciones más delgados, se esperaría también que la recuperación de cualquier tipo de impacto fuese más rápido que en áreas donde existen grandes acumulaciones. Por consiguiente, es importante considerar los factores que regulan el espesor inicial de la descarga y las posibilidades de erosión cuando se evalúa la posibilidad de recuperación.

El espesor de la descarga inicial dependerá del perfil de la corriente y la profundidad del agua. Las corrientes más fuertes y una mayor profundidad del agua traen consigo una mayor dispersión antes de la depositación.

Similarmente, el potencial de erosión depende de las corrientes cerca del lecho marino. En aguas relativamente poco profundas, las corrientes marinas y las tormentas a menudo inyectan suficiente energía para que se produzca una erosión significativa. Por tanto, las áreas más superficiales con corrientes fuertes, probablemente no experimentarán una acumulación significativa de arenas descargadas durante periodos prolongados de tiempo (Dann y Mulder, 1994). Aunque, generalmente, se asume que las corrientes de los fondos son relativamente lentas en condiciones de aguas profundas, no siempre es así. Por ejemplo, en las aguas profundas del Golfo de México se ha observado corrientes con velocidades superiores a 100 cm/s (Hamilton y Lugo-Fernández, 2001; Nowling et al., 2001). Por tanto, es importante tener en cuenta las condiciones ambientales locales para determinar las características de la descarga inicial y la probabilidad de una persistencia prolongada de acumulaciones de arenas descargadas.

5.5.2. Impacto y Recuperación del Bentos

La disposición de ripios de perforación o arenas puede traer como consecuencia la asfixia de organismos bénticos, independientemente de la naturaleza de las descargas, contengan hidrocarburos o no; también puede impactar a la fauna que habita los fondos marinos, ya que se altera la distribución granulométrica de las partículas sedimentarias del substrato. Puesto que los hidrocarburos y fluidos de limpieza son compuestos orgánicos biodegradables, su presencia en los sedimentos incrementa la demanda de oxígeno, lo cual puede dar lugar a condiciones anóxicas, a medida que se produce la biodegradación del material orgánico. La mayor parte de los estudios de campo, tras la descarga de ripios con lodos de perforación sintético, apuntan al incremento de condiciones anaeróbicas en los sedimentos sub-superficiales.

- **Biodegradación y Enriquecimiento Orgánico**

Los componentes orgánicos del sedimento, ya sea hidrocarburo o biomasa asentada, como algas y otro material de detritus, se biodegradarán como consecuencia de la acción de los microorganismos presentes naturalmente. Las tasas de biodegradación dependerán de las condiciones del medio en el lecho marino (temperatura, disponibilidad de oxígeno de los sedimentos, etc.), así como de la concentración y tipo de fluidos asociados a las arenas descargadas. La biodegradación se produce más rápidamente en condiciones aeróbicas (con oxígeno) que en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno). Con muy raras excepciones, siempre se encuentra oxígeno en el agua marina del lecho oceánico. Por tanto, en la superficie expuesta de las acumulaciones de arenas se presentan condiciones aeróbicas, así como en el lecho marino impactado por las mismas, a medida que el oxígeno se difunde del agua a los sedimentos. Los estudios de laboratorio han demostrado que la actividad de los organismos sedimentarios aumenta la transferencia de oxígeno hacia los sedimentos, así como la tasa de biodegradación (Munro et al., 1997b). De igual manera, hay más oxígeno disponible en las partículas que se dispersan y re-movilizan que dentro de los sedimentos impactados.

Cuando la tasa de biodegradación de los sedimentos es superior a la tasa de difusión del oxígeno en los sedimentos, se limita la cantidad de oxígeno y las condiciones se vuelven anaeróbicas. Las condiciones anaeróbicas (o anóxicas) tendrían que ocurrir a mayor profundidad en la acumulación de arenas o de sedimentos impactados. Si se genera condiciones anóxicas, se puede producir una mayor biodegradación en poblaciones específicas de microorganismos.

El término utilizado para describir los efectos de la biodegradación en los sedimentos es el enriquecimiento orgánico. En ciertos medios, la sub-superficie ya es anóxica debido a procesos naturales. En otros, la zona anóxica se inicia a unos cuantos centímetros de la superficie, y el impacto de la biodegradación después de la descarga puede ser menor.

Si se induce la anoxia, los organismos bénticos, la fauna macro e intermedia que requiere oxígeno para sobrevivir, puede no encontrarse en condición de competir con

las bacterias para procurarse oxígeno. En consecuencia, la biodegradación acelerada puede llevar indirectamente a la toxicidad del sedimento. Más aún, si la concentración de sulfuro de hidrógeno aumenta suficientemente en los sedimentos, puede tener un impacto sobre las poblaciones bénticas. Como consecuencia de estos factores, se pueden alterar las poblaciones bénticas de los sedimentos afectados hasta que se haya eliminado suficiente materia orgánica, de manera que se mitigue el enriquecimiento orgánico y los organismos puedan recolonizar los sedimentos.

A medida que se biodegrada el hidrocarburo, las arenas asociadas se agregan, aumentando su hidrofilia (solubilidad en agua) y se liberan las partículas sólidas finas. Las corrientes del fondo, entonces, pueden dispersar las partículas más fácilmente. La tasa y extensión de este fenómeno dependerá de la biodegradabilidad del fluido y de la velocidad de las corrientes locales. En laboratorio se ha mostrado que las características del sedimento pueden tener un efecto sobre la tasa de biodegradación (Munro et al., 1998). Los sedimentos que presentan una mayor fracción de partículas de arcilla y limo soportan una biodegradación más rápida que los sedimentos de carácter más arenoso.

- **Toxicidad Química y Bioacumulación**

Además de los posibles efectos de la anoxia, la toxicidad química y bioacumulación de hidrocarburos también pueden producir impactos bénticos. Como se mencionó anteriormente, los impactos sobre la columna de agua son mínimos y la mayoría de los impactos mensurables son sobre las colonias bénticas. La toxicidad de las arenas con hidrocarburos en las colonias bénticas es una combinación de la toxicidad del fluido y de las condiciones anóxicas.

Es difícil distinguir los efectos de la toxicidad química de los efectos de la falta de oxígeno. Análisis estadísticos recientes de datos de monitoreo del Mar del Norte sugieren que el impacto sobre la biota béntica puede relacionarse con condiciones anóxicas, causadas por una rápida biodegradación de los hidrocarburos contenidos en el fluido base (Jensen et al., 1999). Ello sugiere que la tasa de biodegradación de los hidrocarburos en los sedimentos podría determinar la medida del impacto sobre la biota

béntica y que, con tasas de degradación más rápidas, se podría causar perturbaciones iniciales mayores.

El potencial de bioacumulación significativa de hidrocarburos pesados a medianos en las especies acuáticas parece ser reducido, dependiendo de las cadenas que lo conforman. La bioacumulación de hidrocarburos en las especies bénticas se produce cuando los organismos expuestos incorporan estos compuestos en su biomasa. La medida de la bioacumulación es una función de la incorporación de un compuesto en la masa de tejidos de los organismos, contrarrestada por la capacidad del organismo de depurar o metabolizar el compuesto.

Una condición asociada a tal afectación es la alteración del olor o sabor de los tejidos comestibles que se produce por la absorción de ciertas sustancias, incluyendo algunos hidrocarburos. Algunas de las dificultades para detectar esta contaminación son que el tejido puede contener hidrocarburos que no sean detectables. Davies et al. (1989) revisaron una serie de estudios de contaminación de los tejidos de peces atrapados cerca de las plataformas del Mar del Norte, donde se descargan ripios con contenido de lodos a base de petróleo, y los paneles de catadores no lograron determinar ninguna variación del sabor (contaminación del tejido) en los peces capturados cerca de dichas plataformas.

- **Recuperación de las Colonias Bénticas**

La recuperación de las colonias bénticas depende del tipo de comunidad afectada, del espesor, área y persistencia de las arenas (debido a la combinación de redistribución y biodegradación en el lecho marino), y de la disponibilidad de organismos de colonización. Los estudios de campo han señalado que, a corto plazo, el impacto de la descarga de ripios puede oscilar entre alteraciones menores de la estructura de la comunidad biológica a distancias moderadas (es decir, cientos de metros) del punto de descarga, hasta mortandad significativa de biota en la vecindad inmediata de la descarga. También, los estudios de campo han demostrado la disminución de la abundancia y diversidad de la fauna cerca de los puntos de los pozos y el incremento de las especies oportunistas. Por lo general, a largo plazo, las áreas afectadas serán recolonizadas por colonias biológicas en etapas sucesivas. La

colonización inicial la realizan especies tolerantes a los hidrocarburos y/o especies oportunistas que se alimentan de las bacterias que metabolizan dichos hidrocarburos. A medida que pasa el tiempo, y disminuye la carga de hidrocarburos, otras especies retornan por inmigración y reproducción, y la estructura de la comunidad regresa a una situación similar a la de su estado anterior.

Las posibles implicaciones de los impactos sobre el lecho oceánico dependerán de la sensibilidad/importancia de los recursos del lecho marino. Las regiones altamente sensibles serán las de alta productividad y diversidad que son centros importantes de alimentación y desove: arrecifes coralinos, manglares, áreas de incubación de peces y colonias quimosintéticas de aguas profundas. En dichos medios se deberán llevar a cabo evaluaciones ambientales más detalladas para comprender mejor el riesgo potencial y las alternativas apropiadas de litigación que se deban considerar.

5.5.3. Estudios de Laboratorio

Se pueden utilizar pruebas de laboratorio para evaluar la biodegradabilidad, toxicidad y potencial de bioacumulación de los sólidos a descargar. Los datos de laboratorio permiten diferenciar productos según su desempeño ambiental. Se asume, corrientemente, que los fluidos que son menos tóxicos y más biodegradables en el laboratorio, presentan una menor probabilidad de impactar el lecho marino. Sin embargo, las pruebas de laboratorio -si bien son herramientas útiles- no siempre pueden predecir los impactos ecológicos porque no pueden tomar en cuenta todas las complejidades y variables del entorno marino. Por ejemplo, si bien se ha demostrado que los ésteres son altamente biodegradables en el laboratorio, en los sedimentos de campo han dado origen a bajas concentraciones de oxígeno, y en consecuencia, un mayor impacto biológico que otras cadenas de carbono sintético presuntamente menos biodegradables (Jensen et al., 1999).

El Sistema Armonizado Obligatorio de Control (Harmonized Mandatory Control System; OSPAR, 2001) para el Océano Atlántico Nororiental, y los límites de descarga de efluentes establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) de los Estados Unidos, exigen diversas pruebas de laboratorio para determinar si un material

determinado puede ser descargado en una zona marítima. Las pruebas de laboratorio se pueden usar como herramienta para exigir el cumplimiento de las normas, o como instrumento de investigación para evaluar los impactos de las descargas en el lecho marino bajo condiciones controladas. Sin embargo, debe tenerse cuidado al tratar de extrapolar los resultados de las pruebas de laboratorio. Los datos de laboratorio se generan en condiciones de estricto control ambiental constante, mientras que las condiciones del lecho marino son sumamente variables y generalmente difieren de manera considerable de la situación de laboratorio.

- **Caracterización de la Biodegradabilidad**

La idea de utilizar la biodegradación, como criterio normativo para los fluidos, es que un material que se degrada rápidamente en una prueba de laboratorio no subsistirá durante un largo período en el medio ambiente luego de su descarga. Sin embargo, la cuantificación de las tasas de biodegradación de los fluidos base, que se utilizan en los lodos de perforación o lavado de las arenas, se complica por una serie de factores que pueden afectar las tasas de biodegradación tanto en el laboratorio como en el campo.

Hasta el momento, no se ha realizado protocolos de investigación del lecho marino que sean ampliamente aceptados y aplicados para verificar la biodegradación en condiciones fluctuantes de campo. Esta es una razón adicional por la que no hay un mecanismo para comparar directamente los datos de laboratorio y de campo. Como se señaló anteriormente, queda claro que bajo ciertas condiciones ambientales (por ejemplo, corrientes lentas y montículos estáticos), la evidencia sugiere que los hidrocarburos persistirán en el entorno durante un largo plazo. Sin embargo, bajo otras condiciones ambientales, la evidencia sugiere que el medio es capaz de aceptar la descarga y procesarla por biodegradación u otros mecanismos.

Si bien el comportamiento de cada fluido es específico en cada prueba determinada, se pueden hacer algunas generalizaciones a partir de los resultados de las pruebas de biodegradación en laboratorio, según aparece en la bibliografía investigada:

- ✓ Los fluidos de base no acuosa presentan una gama de tasas de degradación. En condiciones comparables, los ésteres parecen degradarse más rápidamente, y los demás fluidos base parecen tener tasas de degradación similares entre sí;
- ✓ Algunas características de las pruebas de laboratorio que afectan las tasas de biodegradación son el grado de oxígeno presente, la temperatura y los efectos de los inóculos;
- ✓ El aumento de temperatura aumenta la tasa de biodegradación;
- ✓ El tipo de sedimento (es decir, arena versus arcilla/limo) afecta a la tasa de degradación; la degradación se produce más rápidamente en los sedimentos limo-arcillosos que en los sedimentos arenosos;
- ✓ La degradación ocurre más rápidamente en condiciones aeróbicas que bajo condiciones anaeróbicas;
- ✓ La evaluación de la degradación debe incluir la consideración de las condiciones aeróbicas, como las que se puedan encontrar en la periferia de la acumulación de la descarga; y de las condiciones anaeróbicas, como las existentes en las porciones inferiores de un montículo;
- ✓ Los compuestos que se degradaron en pruebas estandarizadas de agua dulce también se degradaron en pruebas estandarizadas con agua marina, aunque a una tasa más lenta. Sin embargo, esta tasa más lenta puede, en parte, deberse a las menores concentraciones iniciales de inóculos microbianos que se utilizaron en las pruebas con agua marina.

5.5.4. Biotoxicidad y Bioacumulación

Las primeras generaciones de fluidos de base en aceite (OBF) que consistían de petróleo diesel o aceite mineral, presentaban una alta toxicidad debido a la presencia de aromáticos solubles en agua e hidrocarburos poliaromáticos. Puesto que los hidrocarburos que no pueden ser lavados presentan baja solubilidad en agua, y se encuentran presentes en la columna de agua sólo durante un corto periodo después de la descarga, cada vez es más aceptado que las pruebas de toxicidad en la columna de agua no toman en cuenta todos los riesgos ambientales asociados con la descarga de sólidos al medio marino. Probablemente, las pruebas de toxicidad en sedimentos sean más relevantes porque la mayor parte de la descarga termina en el sedimento.

Las investigaciones de validación en campo, las pruebas en la fauna y las biopruebas de los materiales de residuo, muestran que los anfípodos residentes en los sedimentos son sensibles a los contaminantes sedimentarios. Más aún, su exposición potencial es máxima ya que están íntimamente asociados a los sedimentos y su movilidad es limitada.

La bioacumulación es la absorción y retención en los tejidos de un organismo de un producto químico proveniente de cualquier fuente externa (agua, alimentos y substrato). La bioacumulación puede ser preocupante cuando los organismos acuáticos acumulan residuos químicos en sus tejidos hasta un nivel que puede causar toxicidad al organismo acuático o a los consumidores de dicho organismo acuático.

El crudo del campo Pedernales puede contener algunas cadenas de hidrocarburos poliaromáticos (HPA) y otros hidrocarburos ramificados, de alto peso molecular, que pueden bioacumularse en los invertebrados bénticos. Sin embargo, la bioacumulación a niveles tróficos superiores, como los peces y los mamíferos, es poco probable ya que estos animales cuentan con sistemas enzimáticos que metabolizan los compuestos HPA. En el caso de las arenas lavadas con surfactantes, que hace hidrofóbicas a las cadenas de hidrocarburos, parece improbable la bioacumulación a niveles significativos debido a la conversión de reducida solubilidad en agua y, por consiguiente, baja biodisponibilidad.

5.5.5. Modelaje y Simulación de Descargas al Medio Marino

La industria petrolera y las entidades normativas a nivel mundial han utilizado el modelaje para evaluar el impacto de las descargas de perforación. Existen varios modelos computarizados para predecir el comportamiento de los fluidos de perforación y los cortes de perforación descargados en el medio marino. Estos modelos utilizan valores que describen el entorno cerca del punto de descarga y las características del efluente, para predecir la trayectoria y forma de las columnas de descarga, las concentraciones de los componentes solubles e insolubles de las descargas en la columna de agua, y la acumulación de sólidos descargados en el lecho marino.

Si bien el modelaje es una herramienta que se puede utilizar para evaluar las descargas al medio marino, debe de usarse con otra información para comprender mejor la posibilidad de perturbaciones ambientales. Los modelos poseen limitaciones debido a la calidad de los datos utilizados para describir los futuros eventos de descarga. La mayor parte de los modelos no toman en cuenta la re-suspensión y transporte de partículas después de la deposición inicial, la cual puede ser significativa en medios con gran energía, como es en el caso particular de Pedernales. Visto que el campo Pedernales se ubica en una zona de transición fluvial a marina, es mucho más complejo tratar de emular las condiciones del medio receptor, en comparación con océanos y mares costa afuera, por su alta variabilidad.

- **Requisitos de Ingreso**

Los modelos de última generación para la simulación numérica del comportamiento de las descargas infieren un puerto único, sumergido y circular que puede orientarse en cualquier dirección, y asumen que la tasa de descarga es constante. Asume, igualmente, que los efluentes están compuestos por una fase fluida, miscible en agua, y partículas más pesadas (por ejemplo, arenas de producción, sólidos del fluido de perforación o cortes de perforación) o más ligeras (por ejemplo, gotas de aceite) que el fluido ambiental. Para las descargas de perforación consideran que el efluente queda plenamente descrito por la densidad en bruto, la tasa de descarga, la configuración de la tubería de descarga, y las velocidades de sedimentación de las corrientes de descarga.

El modelo describe las descargas asumiendo que el fluido de base se adhiere a las partículas de las arenas, y que la fase continua es el agua utilizada para lavar las arenas o cortes al cuerpo acuático receptor, después del procesamiento el control de sólidos en plataforma. El cuerpo receptor de agua queda plenamente descrito por la profundidad del agua, su temperatura, salinidad y velocidad de corriente. El resultado del modelo consiste en el cálculo de la trayectoria y forma de la columna de descarga, las concentraciones de los componentes solubles e insolubles de descarga en la columna de agua, y la acumulación de los sólidos descargados en el lecho marino. El modelo predice el destino inicial de los sólidos descargados, desde el momento de la descarga hasta la deposición inicial en el lecho marino. Esta predicción no da cuenta de

la re-suspensión y transporte de sólidos previamente descargados y depositados (impactos acumulativos) y, por consiguiente, nos da un estimado conservador del perjuicio potencial de las concentraciones de los fluidos de base en el lecho marino. No obstante, como se ha mencionado en secciones anteriores, la re-suspensión y transporte probablemente tengan el efecto de disminuir la persistencia y acelerar la recuperación.

- **Limitaciones**

Puesto que los modelos utilizan datos históricos para predecir eventos futuros, la exactitud de las predicciones se ve limitada por el grado en que los datos históricos representen las condiciones futuras. Por consiguiente, los modelos requieren datos que describan con precisión las condiciones de descarga esperadas para permitirnos realizar predicciones útiles.

Es de particular importancia en el modelaje de las descargas contar con datos que describan las velocidades de caída de las partículas. Actualmente, sólo se cuenta con información limitada en la bibliografía que describa las velocidades de caída de los cortes de perforación generados con fluidos bases de lodos de perforación.

La mayor parte de los modelos de descarga no toman en cuenta la re-suspensión y transporte de partículas después de su depositación inicial. Por ejemplo, el modelo OOC (Offshore Operator Committee) asume que las partículas permanecen indefinidamente en su posición inicial de descarga. En realidad, las corrientes re-suspenden las partículas y las distribuyen en un área mayor. Entonces, particularmente, cuando hay fuertes corrientes cerca del lecho marino, las acumulaciones de las arenas tienden a dispersarse a lo largo del tiempo simplemente debido a la fuerza de la corriente. Como se ha mencionado, los estudios de campo han determinado que las acumulaciones de cortes de perforación tienden a redistribuirse y a dispersarse en entornos con gran cantidad de energía. Si no se toma en cuenta la re-suspensión y transporte de partículas al evaluar la aceptabilidad de una descarga, el modelo podría arrojar predicciones de generación de acumulaciones de arenas inaceptablemente gruesas cuando, en realidad, las fuertes corrientes cerca del lecho marino podrían hacer que las acumulaciones se dispersen rápidamente.

- **Resultados**

Los modelos computarizados de deposición de cortes de perforación, con diferentes contenidos de petróleo en profundidades de agua que oscilan entre 30 y 250 metros, revelan que cuando el contenido de petróleo es elevado, como en las arenas sin tratamiento, se depositan en un montículo significativo en la vecindad inmediata de la operación de descarga. Los modelos predicen que, con contenido menor de petróleo, las partículas se acumularán en montículos de menor espesor pero que se dispersarán sobre una mayor área (E&P Forum, 1996). Los estudios de laboratorio acerca del impacto de las arenas de producción sobre la biología béntica señalan que con concentraciones de petróleo en sedimentos de ~1000mg/kg, el impacto biológico es mínimo y la recuperación rápida.

En general, estos estudios destacan la importancia del entorno local, particularmente la profundidad de agua y el régimen de corrientes, para determinar el área inicial de impacto y la persistencia de hidrocarburos en dicha área. La combinación de pequeños volúmenes de descarga, condiciones de elevada energía en el lecho oceánico y características ambientales benignas de los fluidos tienen como consecuencia un bajo impacto en el lecho marino y su rápida recuperación.

5.6. Análisis Técnico-Ambiental Comparativo de la Alternativa y los Procedimientos Actuales de Manejo de las Arenas de Producción

En base a los resultados de laboratorio, la investigación bibliográfica y la caracterización de las condiciones ambientales del Caño Pedernales se infiere que la descarga accidental de las arenas pre-tratadas no necesariamente ocasiona efectos ambientales relevantes. En esta sección, se efectúa una comparación del impacto ambiental que se puede esperar en caso de que ocurra un accidente con descargas de las arenas de producción, sin tratar (bajo la condición actual de manejo), y pre-tratada (según el tratamiento propuesto).

- **Capacidad de Depuración del Medio Deltano**

Basados en el análisis histórico de la caracterización de aguas y sedimentos (Anexo IV) en los últimos 3 años, se concluye que las aguas del Caño Pedernales muestran una alta concentración de oxigeno disuelto para desarrollar los procesos de biodegradación aeróbica de la materia orgánica. En todas las áreas donde se han capturado las muestras, las concentraciones de oxigeno están por encima de las 5 mg/l, y la demanda biológica de oxigeno (DBO) posee valores por debajo de los 5 mg/l.

La contextura arcillosa de los sedimentos, como era de esperarse en este tipo de ambiente, implica un soporte de los procesos de biodegradación de tasas relativamente aceleradas. El movimiento del sedimento es oscilatorio, lo que va de la mano con las altas velocidades de las corrientes en el mismo fondo del caño. El alineamiento de las corrientes implica una alta erosión de fondo y un buena resuspensión de sólidos, características favorables para una dispersión adecuada de las descargas sólidas accidentales en el caño, y la no formación de cúmulos o montículos de gran tamaño. Esta característica también esta asociada a la concentración de sólidos suspendidos y a los niveles de turbidez que no permiten una alta penetración de luz solar; no obstante, esta turbulencia de las aguas se compensan con una mezcla vertical que evita estratificaciones y renueva los capas mas profundas, lo cual explica el porque existe una buena concentración de oxigeno disuelto en toda la sección vertical de la columna de agua.

El comportamiento del Bentos también refuerza el concepto de alta energía de las corrientes de fondo, la heterogeneidad que muestra el bentos en las diferentes campañas de monitoreo indica una fuerte influencia de factores físicos perturbadores (oleaje, corrientes, etc.).

En base a estas características del medio marino, se puede inferir una alta capacidad de depuración del mismo, por lo que las descargas accidentales de arenas pre-tratadas no lo impactarán de forma significativa y permanente. Por otra parte, visto que las cadenas de hidrocarburos del campo Pedernales son biodegradables (Anexo VIII), cualquier traza de crudo que pueda permanecer en las arenas, luego del lavado, será

biodegradada a ritmos medios, sin generar condiciones anóxicas, y minimizando una posible bioacumulación o biotoxicidad (baja biodisponibilidad).

- **Evaluación Comparativa de Impactos por una Descarga Accidental**

Para comparar la efectividad de una condición de descarga de arenas pre-tratadas y no tratadas, se ha desarrollado una evaluación del impacto ocasionado bajo las dos diferentes condiciones. La cuantificación esta basada sobre la metodología establecida en la "Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental" (Conesa y Fdez. Vitora, 1997)[55].

A los efectos de aplicar la metodología, se considerarán los siguientes parámetros:

- ✓ Sólidos suspendidos (suelos y subproductos industriales)
- ✓ Elementos que modifican el color (colorantes y agua caliente)
- ✓ Compuestos inorgánicos (ácidos y sales metálicas)
- ✓ Nutriente (compuestos de Nitrógeno, Fósforo y Potasio)
- ✓ Residuos que demandan Nitrógeno (materias orgánicas degradables o reducidas por bacterias aerobias, que requieren oxígeno disuelto)
- ✓ Compuestos orgánicos tóxicos (detergentes y subproductos industriales)

V. Conesa Fdez Vitora plantea que, mediante modelos de difusión físico-matemáticos, se puede determinar la concentración de distintos parámetros en un punto alejado del sitio de descarga, adoptando como indicador general un Índice de Calidad de Agua (ICA)[56], basado en Martínez de Bascarón (1979). Este índice proporciona un valor global de la calidad de agua del cuerpo receptor para definir su capacidad de autodepuración y sensibilidad a las cantidades y características de la descarga, incorporando los valores individuales de una serie de parámetros de interés:

$$ICA = K \times \sum (C_i P_i) \Big/ \sum P_i \qquad (1)$$

[55] Guía Meteorológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. V. Conesa Fdez – Vítora. Pág. 200-207.
[56] Se entenderá por calidad natural del agua al conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta en su estado natural en los ríos, lagos, manantiales, subsuelo o mar.

Donde:

Ci = Valor porcentual asignado a los parámetros (Cuadro 28)

Pi = Peso asignado a cada parámetro

K = Constante que toma los siguientes valores:

- ✓ 1,00 para aguas claras sin aparente contaminación
- ✓ 0,75 para aguas con ligero color, espumas, ligera turbidez aparente no natural
- ✓ 0,50 para aguas con apariencias de estar contaminadas y fuerte olor
- ✓ 0,25 para aguas negras que presentan fermentación y olores

CUADRO 28. Unidades Porcentuales de Parámetros de Interés Referidos a la Calida de Agua, en las Condiciones Actuales

PARÁMETRO	***Valor Analítico Promedio***	***Peso***	***C_i***
Oxigeno Disuelto (mg/l)	6,55 superficie 6,04 fondo	4	40
Temperatura (ºC)	27,81 superficie 25,21 fondo	1	70
Sólidos Suspendidos (mg/l)	57,33	4	10
Aceites y Grasas (mg/l)	0,2	6	40
DBO_5 (mg/l)	1,76	3	10

Fuente: Elaboración propia en base a información del Monitoreo de Calidad de Aguas y Sedimentos, Campo Pedernales II semestre 2005.

Al oxígeno disuelto, por relacionarse directamente con la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua, la cual se puede relacionar a su vez con la perturbación que se puede generar en las aguas dependiendo de su capacidad de depuración, se le asigna el mayor peso.

Aplicando la expresión matemática del ICA (1), se obtienen los Índices de Calidad para el cuerpo receptor. Con dicho índice se ingresa a la curva de calidad ambiental de la Figura 33[57], y se obtiene la correspondiente calidad ambiental del cuerpo de agua, cuya diferencia con la unidad representa la fuerza o vigor con que pueden ser afectados los recursos como consecuencia de una descarga de arenas de producción accidental.

[57] Tomada de la "Guía Meteorológica para la Evaluación del Impacto Ambiental". V. Conesa Ddez – Vítora, 97, Pág. 206.

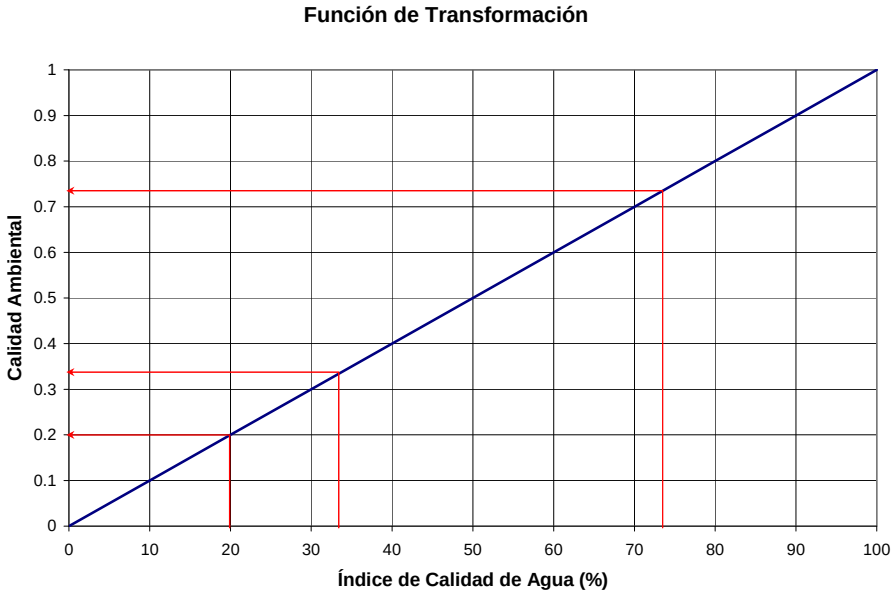


FIGURA 33. Función de Transformación Calidad de Aguas

Para la comparación se han obtenido los valores ICA-1, para la descarga accidental de arenas no tratadas, e ICA-2 para la descarga accidental de arenas pre-tratadas. Para cada condición se hace un estimado del valor analítico en el sitio de la descarga con evaluación puntual, inmediatamente después de la descarga. Los resultados comparativos se muestran en el Cuadro 29.

CUADRO 29. Índice de Calidad Ambiental Estimado Antes y Durante la descarga de Arenas de Producción no tratadas (ICA-1) y pre-tratadas (ICA-2)

PARÁMETRO	***Peso***	***Valor Analítico Condición Actual***	***C_i***	***Valor Analítico Condición ICA-1***	***C_i***	***Valor Analítico Condición ICA-2***	***C_i***
Oxigeno Disuelto (mg/l)	4	6,55	40	3.5	21	5	31
Temperatura (ºC)	1	27,81	70	28	70	27.5	69
Sólidos Suspendidos (mg/l)	4	57,33	10	150	26	170	30
Aceites y Grasas (mg/l)	6	0,2	40	0.9	180	0.5	100
DBO_5 (mg/l)	3	1,76	10	40	227	2	11
ICA calculado %		19,5		73,03		34,09	
Calidad de Agua Estimada (índice)		**8**		**2,7**		**6,6**	

Valores del Índice de Calidad del Agua de diez (10) significa una condición prístina de cero contaminación, o un medio receptor de alta recuperación, mientras que valores de cero (0) implica una super-contaminación, o escasa a ninguna capacidad de recuperación.

De acuerdo a estos resultados, una descarga accidental de las arenas pre-tratadas al medio marino genera una baja perturbación en la calidad de las aguas, que será disipada por la energía y dinámica fluvial del caño. Los valores que se muestran en el Cuadro 29 son valores puntuales e inmediatos. A medida que los procesos de biodegradación, resuspensión y dilución se inicien, el efecto perturbador será minimizado para el caso de las arenas tratadas. Para el caso de las arenas no tratadas, el efecto perturbador estará presente hasta que los hidrocarburos asociados a las arenas de producción hayan sido biodegradados.

Los resultados muestran una diferencia significativa entre la perturbación de una descarga de arenas no tratadas, con otra pre-tratada. Es necesario, entonces, la implementación de un sistema de pre-tratamiento en sitio para minimizar los riesgos de contaminación de las aguas del caño Pedernales. Esto justifica la inclusión, en la normativa ambiental, de una regulación que exija el pre-tratamiento de los desechos sólidos peligrosos para su transporte a tierra firme, cuando éste se efectúa en áreas sensibles como deltas, estuarios, humedales, etc.

CAPITULO VI: Selección Final de Alternativas y Análisis Económico

6.1. Selección Final de Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción del Campo Pedernales

En base al análisis técnico ambiental de las alternativas aplicables en el campo Pedernales, y a los resultados de la matriz de evaluación (Cuadro 27-cap.V), existen tres (3) alternativas aplicables con mayores beneficios ambientales y operacionales: Tecnología de Lavado, Bio-remediación y Re-inyección. Una de las alternativas de mayor valoración es el pre-tratamiento en campo mediante un proceso de lavado de las arenas de producción. Esta alternativa puede ser combinada con diferentes opciones de disposición final, pasando desde la descarga directa al caño, hasta el transporte a tierra y disposición en suelos, bien sea en zonas cercanas o aledañas al campo (Capure o Pedernales), como zonas alejadas en el puerto de Güiria.

La segunda alternativa de mayor valoración se corresponde a la Bioremediacion, con las mismas condiciones actuales de manejo, esto es sin efectuar cambios en el campo de producción, pero dejando posibilidades de cambio en los procesos en tierra para optimizar el transporte terrestre y procesamiento land-farming.

La tercera alternativa indicada en la matriz de evaluación es la Re-inyección. Para ello se requiere instalar un sistema de preparación de lechada en la plataforma, lo cual es poco factible debido a una serie de factores como son: limitaciones por carga estructural de las estructuras, incremento en los niveles de riesgo operativos de la plataforma, requerimiento de combustibles, eficientes sistemas de bombeo de la lechada, y pozo inyector diseñado adecuadamente para acceder a las formaciones receptoras. Esto es sin incluir un alto costo operativo e inversión inicial.

En base a lo anterior, y visto que una alternativa de manejo puede combinarse con una opción de disposición (caso de lavado de arenas en plataforma y disposición en

mar o en tierra firme), se opta por presentar una serie de variantes a la alternativa de tratamiento en sitio, en lo que se refiere a la disposición final de las arenas pre-tratadas.

Según los resultados de la evaluación ambiental presentada en el Capitulo V: "Análisis de Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción", el tratamiento en sitio de las arenas representa una mejor opción ambiental, necesaria para enfrentar accidentes de transporte marítimo. Las distintas alternativas preseleccionadas requieren de una inversión inicial heterogénea. La mayor complicación está dada por la escasez de servicios disponibles, a los cuales el campo tiene acceso, lo que implica altas inversiones iniciales para cubrir estas carencias. Es decir, no se dispone de maquinarias pesadas requeridas para el manejo de las arenas (tractores, camiones de carga, grúas, etc.), bien sea de empresas de servicio o por parte de las municipalidades o gobernación de Capure y Pedernales. Ello limita la posibilidad de efectuar manejo de las arenas en las comunidades aledañas al campo, a menos que se decida hacer una inversión inicial en la adquisición de estas maquinas (además de adecuar el muelle de Capure o Pedernales para el manejo de cargas). En este sentido solo un análisis económico podrá ayudar a la toma de decisión.

Todas las opciones fueron estudiadas, aun con el conocimiento previo de la gran dificultad de aplicación de alguna de ellas, para no descartar alternativas que impliquen un re-uso de las arenas tratadas en bien de las comunidades de Capure y Pedernales (caso de un posible relleno sanitario en la zona). Entre las alternativas finales posibles se tienen:

1. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y descarga directa al caño
2. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y descarga costa afuera
3. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y disposición en tierra cercana (Capure o Pedernales)
4. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y disposición en tierra lejana (Güiria)
5. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y disposición en Maturín
6. Implantación de sistema de lavado en base Güiria y disposición en Güiria (descarta el beneficio del transporte de arenas pre-tratadas en mar)

7. Implantación de sistema de lavado en base Güiria y disposición en Maturín (descarta el beneficio del transporte de arenas pre-tratadas en mar)
8. Transporte a Güiria sin tratamiento y entrega a empresas de servicio en Güiria (descarta el beneficio del transporte de arenas pre-tratadas en mar)
9. Sin cambios al tratamiento actual

En el Cuadro 30 se muestran las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas propuestas, sin mencionar la variable económica (rendimiento o beneficio). Del análisis del Cuadro, se concluye que entre los factores de menor control se tienen:

- Autorizaciones del MARN que acepten la propuesta de descarga directa al mar
- Autorizaciones de gobernaciones que permitan la disposición en terrenos de su jurisdicción
- Empresas de servicios que dispongan de la maquinaria y de los permisos del MARN para manipular y disponer las arenas no tratadas. Cuando las arenas están tratadas, los permisos ambientales de las empresas de servicio no requieren ser muy restrictivos

Por otra parte, las opciones de manejo en tierra (Capure o Pedernales) en forma propia (sin la contratación de servicio) pueden implicar la compra o alquiler de maquinarias para movimiento de tierra (tractores, grúas, camiones volteos, y otras herramientas), lo cual incluye costos importantes a la propuesta, así como las complicaciones de logística, mano de obra, sindicatos, etc. Adicionalmente a ello, se debe considerar la disponibilidad de espacios en tierra (terrenos) en donde se permita la disposición de las arenas tratadas sin tener conflictos con las propiedades aledañas.

CUADRO 30. Ventajas y Desventajas de las Alternativas Seleccionadas

Alternativa	Ventajas	Desventajas
1. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y descarga directa al caño	▪ Requiere de una sola inversión inicial y bajos costos de operación ▪ Eliminará los costos de transporte y tratamiento en tierra ▪ Reducirá las horas hombres requeridas en el campo para la manipulación de las arenas de producción ▪ Reducirá los costos de mantenimiento de grúas y cajas de arenas ▪ Reducirá los riesgos de accidente por manejo de arenas ▪ No se requiere maquinarias en tierra ▪ Ganancia de espacios de almacenamiento en las instalaciones del campo y mayores facilidades de logística ▪ No depende de condiciones meteorológicas	▪ Incertidumbre para la obtención de permisos ambientales ▪ El MARN puede pedir pruebas de laboratorio con más frecuencia, las cuales tienen costos adicionales ▪ Cualquier problema ambiental en el caño Pedernales, Perenco Venezuela va a ser la primera señalada (contaminación de aguas, mortandad de peces, etc.) ▪ Los pescadores pueden exigir indemnización por daños en la pesca, no necesariamente comprobables ▪ Problemas de sedimentación que pueden implicar mayor frecuencia de dragado de las instalaciones (crecimiento del mangle) ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza falle por períodos de tiempos largos ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza
2. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y descarga costa afuera	▪ Requiere de una sola inversión inicial ▪ Eliminará los costos de transporte y tratamiento terrestres ▪ Reducirá las horas hombres invertidas en el campo para la manipulación de las arenas de producción ▪ Reducirá los costos de mantenimiento de grúas y cajas de arenas ▪ Reducirá los riesgos de accidente por manejo de arenas ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones ▪ No requiere maquinarias en tierra ▪ Ganancia de espacios de almacenamiento en las instalaciones del campo y mayor facilidades de logística ▪ Es más difícil implicar a Perenco Venezuela en cargos por indemnización a pescadores y pobladores por supuestos daños ambientales.	▪ Requiere permiso de la CVP (área de descarga costa afuera autorizada por el MARN en lote propiedad de CVP) ▪ El MARN puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de descarga, las cuales tienen costos adicionales ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza falle por períodos de tiempos largos ▪ Se requiere de servicios de transporte a costa afuera (gabarra y remolcador) ▪ Requiere de sistema de bombeo en gabarra ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza y sistemas de bombeo en gabarra o plataforma ▪ Depende de las condiciones meteorológicas

Alternativa	Ventajas	Desventajas
3. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y disposición en tierra cercana (Capure o Pedernales)	▪ Eliminará los costos de transporte terrestres ▪ Reducirá los costos de tratamiento en tierra ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones ▪ Minimizará los riesgos de transporte terrestre ▪ Minimizará horas hombre en contacto con la arena contaminada ▪ Posibilidad de otros usos de las arenas limpias (relleno sanitario en Capure, uso como cobertura diaria)	▪ Requiere permiso del MARN y gobernación ▪ El MARN puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra, las cuales tienen costos adicionales ▪ Se requiere de maquinarias y personal en tierra para trasbordo y manejo (maquinaria en tierra) ▪ Requiere de mantenimiento y dragado en muelles de Capure y Pedernales ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza o las máquinas en tierra fallen por períodos de tiempos largos ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza y maquinarias en tierra ▪ Incrementará las horas hombres invertidas en el campo para la manipulación de las arenas de producción ▪ Incrementará los riesgos de accidente ▪ Cualquier problema ambiental en el pueblo, Perenco Venezuela va a ser la primera señalada (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, etc.)
4. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y disposición en tierra lejana (Güiria)	▪ Eliminará los costos de transporte terrestres ▪ Reducirá los costos de tratamiento en tierra ▪ Reducirá los riesgos de accidente por manejo de arenas ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones	▪ Incrementará las horas hombre, logística y riesgos de accidentes en Güiria ▪ Requiere permiso del MARN y gobernación ▪ El MARN puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra, las cuales tienen costos adicionales ▪ Se requiere de maquinarias y personal en tierra para trasbordo y manejo (maquinaria en tierra) ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno) ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza o las máquinas en tierra fallen por períodos de tiempos largos ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza y maquinaria en tierra ▪ Cualquier problema ambiental en suelos y aguas, Perenco Venezuela va a ser la primera señalada por los vecinos y residentes cercanos a los terrenos utilizados para la disposición (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, contaminación de aguas subterráneas, etc.) ▪ Dependencia de condiciones meteorológicas

Alternativa	Ventajas	Desventajas
5. Implantación de sistema de lavado en plataforma FSPP y disposición en Maturín	▪ Reducirá costos de tratamiento ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones	▪ Requiere permiso del MARN y gobernación ▪ El MARN puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra, las cuales tienen costos adicionales ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno) y servicios de manejo (maquinaria en tierra) ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza o las máquinas en tierra fallen por períodos de tiempos largos ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza ▪ Incremento de las horas hombres en campo y riesgo de accidentes ▪ Cualquier problema ambiental en suelos y aguas, Perenco Venezuela va a ser la primera señalada por los vecinos y residentes cercanos a los terrenos utilizados para la disposición (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, contaminación de aguas subterráneas, etc.) ▪ Dependencia de condiciones meteorológicas
6. Implantación de sistema de lavado en base Güiria y disposición en Güiria	▪ Reducirá costos de tratamiento y transporte terrestre ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones	▪ Se genera un desecho líquido (aguas de lavado) en Güiria que requiere tratamiento (o devolverlo a la plataforma FSPP para su inyección como agua de producción) ▪ Descarta la ventaja de transporte marítimo de arenas pre-tratada ▪ Incremento de las horas hombres y riesgo de accidente en Güiria. ▪ Complica la logística en Güiria ▪ Requiere permiso del MARN y gobernación ▪ El MARN puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra, las cuales tienen costos adicionales ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno) y servicios de manejo (maquinaria en tierra) ▪ Cualquier problema ambiental en suelos y aguas, Perenco Venezuela va a ser la primera señalada por los vecinos y residentes cercanos a los terrenos utilizados para la disposición (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, contaminación de aguas subterráneas, etc.) ▪ Dependencia de condiciones meteorológicas

Alternativa	Ventajas	Desventajas
7. Implantación de sistema de lavado en base Güiria y disposición en Maturín	▪ Reducirá costos de tratamiento ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones	▪ Se genera un desecho líquido (aguas de lavado) en Güiria que requiere tratamiento (o devolverlo a la plataforma FSPP para su inyección como agua de producción) ▪ Descarta la ventaja de transporte marítimo de arenas pre-tratada ▪ Incremento de las horas hombres y riesgo de accidente en Güiria ▪ Complica la logística en Güiria ▪ Requiere permiso del MARN y gobernación ▪ El MARN puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra, las cuales tienen costos adicionales ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno) y servicios de manejo (maquinaria en tierra) ▪ Dependencia de condiciones meteorológicas
8. Transporte a Güiria sin tratamiento y entrega a empresas de servicio en Güiria	▪ Reduce costos de transporte en tierra ▪ No afecta la sedimentación en las instalaciones ▪ Es más difícil que Perenco esté sujeta a cargos por indemnización a pescadores y pobladores por supuestos daños ambientales ▪ No requiere de inversión inicial	▪ Requiere permiso del MARN y gobernación ▪ Requiere empresa de servicio autorizada en Güiria ▪ Descarta la ventaja de transporte marítimo de arenas pre-tratada ▪ Dependencia de condiciones meteorológicas
9. Sin cambios al tratamiento actual	▪ No requiere de permisos ▪ Es más difícil que Perenco esté sujeta a cargos por indemnización a pescadores y pobladores por supuestos daños ambientales ▪ No requiere de inversión inicial	▪ Incremento de los costos por inflación y por incremento de las arenas ▪ Descarta la ventaja de transporte marítimo de arenas pre-tratada, riesgo de contaminación por descarga accidental de las arenas de producción no tratadas, tanto en tierra como en mar ▪ Dependencia de condiciones meteorológicas

6.2. Análisis de Costos de la Selección Final de Alternativas de Tratamiento y Disposición de las Arenas de Producción del Campo Pedernales

El costo de la disposición de arenas de producción depende de: la inversión inicial, el costo asociado de las adaptaciones y ajustes de las plataformas de producción, los fluidos de lavado, el costo operativo del equipo de lavado de sólidos, el transporte y manejo de las arenas, el equipo de bombeo, y el tratamiento y disposición en tierra firme. Asimismo, los estimados de costos de disposición dependen en gran medida de los supuestos utilizados en el análisis, por ejemplo, la cantidad de arenas por barril producido, la cantidad de agua y surfactante requerido para el tratamiento, y estimados sobre el mayor tiempo de lavado que se necesite para alcanzar los parámetros de descarga establecidos. En las siguientes secciones se resumen los factores que deben considerarse en el análisis de costos y se discute ejemplos del análisis de costos para una serie de alternativas de disposición. Los datos necesarios para el análisis de costos provienen de fuentes publicadas y de contactos directo con personal de la industria.

Los factores que se debe considerar en un análisis de costo son los siguientes:

- **Volumen o tasa de generación de arenas de Producción**

El volumen total de arenas residuales generado puede estimarse como una tasa por barril de crudo producido, de acuerdo a los indicadores de años anteriores aunque, como se ha visto en las secciones anteriores, el comportamiento de los indicadores no sigue una tendencia. El tamaño de los contenedores y las embarcaciones de apoyo dependerá del volumen de arenas a transferir. Una vez que las arenas han sido transportadas a tierra firme, los costos de tratamiento y disposición dependerán también de dicho volumen. Para estimar el costo de la disposición o tratamiento que depende de la masa de residuos en lugar del volumen, se estimó una densidad de arenas -incluyendo fluido de lavado adherido y agua- de 2,2t/m^3.

- **Consumo de fluido de lavado**

El consumo neto de fluido de lavado (surfactante) durante el proceso de lavado a chorro es consecuencia de tres factores:

- Retención del fluido en el flujo de arenas residuales
- Pérdida del fluido por evaporación
- Pérdidas por mantenimiento: pérdidas durante transferencias o derrames, surfactante gastado o fuera de especificación, surfactante adicional para conservar las propiedades del fluido.

Mediante el equipo de control de lavado a chorro convencional se podría lograr un contenido de fluido de base de 5% v/v en la mezcla de lavado, y el equipo de separación sólidos shale-shaker podría alcanzar un contenido de fluido de base de 2% en las arenas pre-tratadas.

Las pérdidas calculadas para las arenas se basan en supuestos acerca del contenido de surfactante luego de un ciclo de lavado, y las densidades relativas de la arena a tratar que ingrese al sistema.

- **Costo de los sistemas de lavado y bombeo**

La utilización de equipos secundarios de lavado incrementa el costo, pero también el ahorro global de la recuperación de surfactante. El costo de operación del equipo de lavado secundario de sólidos incrementa la inversión inicial, pero en parte es complementado, en cierta medida, por los ahorros procedentes de la recuperación de surfactante que, en caso contrario, se desperdiciaría.

- **Costo de la eliminación por descarga**

Algunos rubros de costo son específicos para la alternativa de descarga. Entre ellos se encuentran la necesidad de monitorear las condiciones ambientales del lecho marino en el punto de descarga. Generalmente, se lleva a cabo estudios de monitoreo ambiental a nivel regional para poder distribuir el costo entre varios campos de producción. Un estudio de monitoreo básico de línea base puede conllevar un costo de $200 000 para la recolección de muestras y análisis de las mismas en un punto dado. Un estudio regional más detallado puede costar $3 millones.

- **Transporte y manipulación de arenas**

Las alternativas de eliminación sin descarga exigen equipo como sistemas de transporte de tornillo o bombeo para movilizar las arenas entre el equipo de control de sólidos y el punto de descarga o la planta de inyección local.

- **Tratamiento y eliminación de arenas en tierra**

La disponibilidad de cualquiera de las alternativas de eliminación de arenas en tierra depende de la normatividad local y de la existencia de infraestructura de eliminación de residuos. Las arenas tratadas que se transporten a tierra pueden eliminarse directamente en tierra agrícola o en instalaciones de relleno sin mayor tratamiento. En muchos casos, la normativa regional exige un pre-tratamiento para reducir la concentración de sales o hidrocarburos antes de la eliminación.

En la Figura 34[58] se muestra una comparación general de costos a nivel mundial de los diferentes tratamientos aplicables a cortes de perforación, a modo comparativo. El termino descarga se refiere a la descarga directa al medio marino, y el grupo se refiere a los tipos de sintéticos usado para preparar lodos en base no acuosos. Como se puede notar la descarga al medio marino representa la alternativa más económica de todas las mostradas en el grafico.

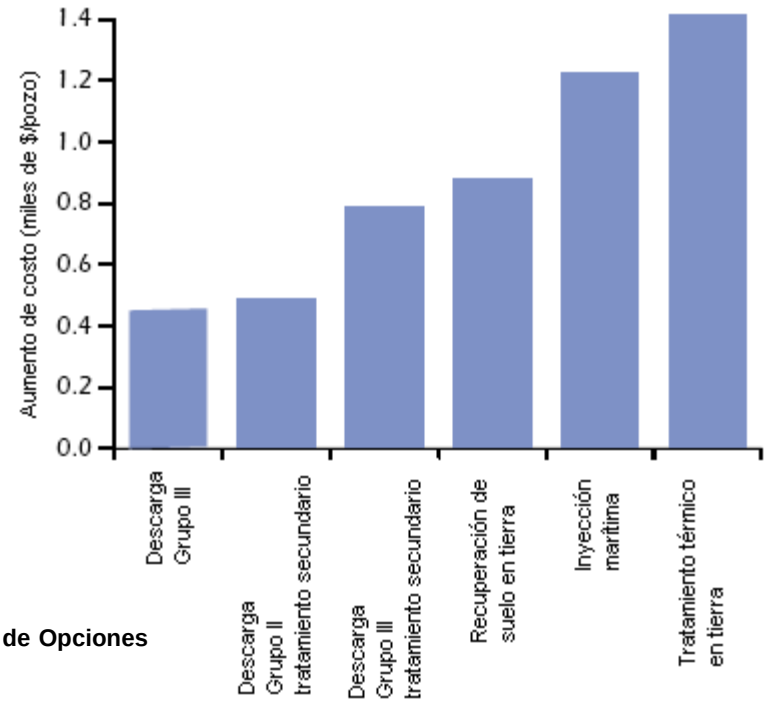


FIGURA 34. Costos relativos de Opciones de Disposición

[58] Figura tomada de: Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil and gas operations. OGP, International Association of Oil & Gas Producers, Reporte Técnico 2003.

Existen intangibles o complejidades indirectas asociadas a las nueve (9) alternativas indicadas en el punto 6.1 a ser evaluadas económicamente (mano de obra, conflictos sindicales, horas hombres, etc.). Quizás estos intangibles pueden dar la impresión de que algunas alternativas no son muy atractivas, por lo que únicamente un análisis económico revelará en realidad si la productividad económica compensa la complejidad logística y otras variables indirectas involucradas. En este sentido, el análisis trata de listar las variables indirectas sin la intención de minimizar la alternativa, sino como una forma de conformar el panorama completo de la implementación.

Muchas de las variables indirectas no pueden ser económicamente medidas de manera precisa; por ejemplo, no se puede medir con precisión cuantas horas hombres se reducirán con la aplicación de una alternativa, y como esta reducción de horas hombres beneficiará la economía de la alternativa. Entre las variables indirectas que no pueden ser medidas en el análisis económico se tienen:

- Conflictos sindicales generados por la alternativa
- Disminución de horas hombres utilizadas en las operaciones convencionales de manejo de las arenas que se llevan actualmente en el campo
- Riesgos operacionales de accidente (incremento o disminución) de las alternativas. Ya que no puede ser medido el incremento del riesgo de accidente y cómo éste representará, para la empresa, un mayor costo
- Posibles reacciones adversas de agentes externos asociados a la alternativa (pescadores de Pedernales para la alternativa de descarga en Caño, dueños de propiedades aledañas para la alternativa de tratamiento propio en tierra, etc.)
- Incremento o disminución en los costos de mantenimiento de grúas, cajas de arena, estructuras de plataformas, pintura, consumo de combustibles, etc., asociado a cada alternativa
- Incremento o disminución en costos de logística desde las oficinas satélites (Caracas), ya que cada alternativa puede implicar una mayor o menor participación del personal de oficina (contratación, compra de insumos y

repuestos, etc.) y un mayor uso de artículos consumibles (papeles, llamadas telefónicas, horas hombres, etc.)

Sin embargo, para no dejar de lado estas variables intangibles, en el análisis económico se incluirá un parámetro definido como imprevistos que representará un porcentaje de la inversión inicial y/o del costo operativo de la alternativa. La fracción aplicada a estas variables se hará tomando en cuenta la lista antes indicada, según la percepción y experiencia del evaluador.

De acuerdo a la estructura del costo anual para el tratamiento y disposición de las arenas de producción del campo Pedernales para el año 2004/2005, se observa que buena parte de los costos se derivan para el transporte y costos operativos, y mantenimiento de equipos y cajas contenedoras:

Fracción de costo total al tratamiento Landfarming:	45.9%
Fracción de costo total al transporte tierra/mar:	34.5%
Fracción de costo total al mantenimiento y reparación de cajas y grúas:	17.3%

Es por ello la importancia económica de evitar o minimizar las actividades de transporte, bien sea logrando descargar en el caño, o buscar empresas de tratamiento en Güiria, para ahorrar el transporte en tierra (270 km). La opción de descarga directa en el caño permitiría además, reducir/eliminar los costos de mantenimiento de cajas y sistemas de izaje.

Para el análisis económico se ha planteado un costo de capital de 15%, y un tiempo de vida de 10 años. Los indicadores económicos resultantes del análisis se muestran en el Cuadro 31. Este es un cuadro sumario, los detalles del análisis financiero están presentados en el Anexo IX. El análisis no incluye un ajuste por inflación, el cual es un factor económico importante en Venezuela (aprox. 14% anual), sin embargo los insumos y consumibles asociados mayormente son importados (p.e. surfactante), los cuales se ven afectados en menor grado por la inflación. Los componentes principales de la inversión inicial (equipo de lavado) se muestran en el Cuadro 32.

CUADRO 31. Resultado de Análisis Económico. Indicadores Financieros

	Inversión Inicial	Costos Operativos ($/Año)	Costo Anual
Alternativa 1 descarga en caño	**63 800**	**51 739**	**64 451**
Alternativa 2 descarga costa afuera	**133 400**	**102 502**	**129 083**
Alternativa 3 descarga en Capure/Pedernales	121 800	137 240	161 509
Alternativa 4 descarga en Güiria	**63 800**	**121 136**	**133 849**
Alternativa 5 descarga en Maturín	63 800	179 585	192 297
Alternativa 6 tratamiento y descarga en Güiria	63 800	121 385	134 097
Alternativa 7 Tratamiento en Güiria descarga en Maturín	63 800	197 177	209 889
Alternativa 8 sin tratamiento entrega empresa de servicio en Güiria	0	159 650	159 650
Alternativa 9 condición actual	0	229 296	229 296

CUADRO 32. Estructura de Costo Inversión Inicial Equipo de Lavado

	Costos en ($)
Mezclador dinámico con moto reductor de 20 hp	25 000
Mangueras de conexión de alta presión	1 000
3 Tanque de almacenamientos	15 000
Zaranda Vibratoria de 4 hp	5 000
TOTAL	**46 000**

De acuerdo a los resultados indicados las alternativas 1, 2 y 4 son las menos costosas. Interesante resultado para el caso de costos iniciales duplicados entre las alternativas 2 y 4, sin embargo el costo equivalente anual de la alternativa 2 es menor al de la alternativa 4, aun con una inversión inicial duplicada.

Comparación de las alternativas 1, 2 y 4 con la condición actual muestra un importante ahorro en los costos operativos por año, con valores equivalente del 50% del costo actual, y para el caso de la alternativa 1 hasta un 25% del costo actual.

En conclusión, desde el punto de vista económico, la mejor alternativa corresponde a la instalación del sistema de lavado en plataforma FSPP y descarga directa al Caño. Desde el punto de vista ambiental, la mejor alternativa corresponde a la instalación del sistema de lavado en plataforma FSPP y descarga o mezcla en suelos en Güiria.

CAPITULO VII: Procedimientos de Implementación

Para la implementación de la alternativa de tratamiento en plataforma, se deben seguir una serie de pasos y procedimientos para obtener las diferentes autorizaciones y permisos del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

El primer paso a seguir es la obtención de las autorizaciones correspondiente para tratar y descargar las arenas pre-tratadas en el caño. Para ello, se deberá efectuar un Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural que contenga todas las justificaciones técnico- ambientales que demuestren que efectivamente existe una mejora a la calidad ambiental al seguir este proceso en contraste con el tratamiento actual.

De acuerdo a las consultas efectuadas a expertos y funcionarios del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, se deberá demostrar en primera instancia que las arenas tratadas no son desechos peligrosos y que pasan a ser un material inerte luego del lavado. Para ello la arena lavada debe cumplir con todos los parámetros del Decreto 2635; y los análisis necesarios para determinar su: inflamabilidad, corrosividad, toxicidad y ecotoxicidad, explosividad, radiactividad, reactividad química, entre otros, y que en ningún momento se sobrepasen las concentraciones máximas permisibles para lixiviados establecidas en el Anexo D del mencionado Decreto.

7.1. Pruebas de Laboratorio

Algunas de las pruebas de laboratorio de mayor interés se refieren a: los índices de letalidad en la macroinfauna y bentos (anfípodos, algas, copépodos), las pruebas de biodegradabilidad (prueba ISO 11734 y SOAEFD, USEPA ASTM 1362-92) y bioacumulación (coeficiente P_{ow}), y el test de lixiviación midiendo todo componente metálico pesado (mercurio, vanadio, bario, cadmio, plomo, etc.). El compuesto surfactante “Greensol” a ser utilizado en el lavado también debe ser sometido a pruebas de toxicidad, biodegradabilidad y bioacumulación.

7.2. Modelaje de la Descarga de Arenas Lavadas en el Caño

Una vez que se demuestra la inocuidad de las arenas lavadas y del surfactante, mediante las pruebas de laboratorio, se deberá analizar las variaciones de los parámetros físicos y biológicos del cuerpo de agua por causa de la descarga de los sólidos (arenas lavadas), a fin de demostrar que las cargas naturales de sedimentos en suspensión del caño Pedernales, en todas las épocas del año, son lo suficientemente elevadas para sufrir alguna alteración sensible a causa del incremento de material en suspensión (arenas lavadas); y que los fenómenos de dispersión y sedimentación son lo suficientemente acelerados para provocar una variación en el parámetro de sólidos suspendidos.

La mayor parte de los parámetros físicos como son: Turbidez, Sólidos Suspensión, Oxigeno Disuelto y DBO_5, dependerá, en cierta forma, de la ubicación de la descarga en el caño, la cual ha de definirse a través de modelaje. Un modelo muy utilizado por la industria petrolera es el Modelo OOC del Comité de Operadores Marítimos (Offshore Operators Committee, OOC) para descarga de lodos y agua (Brandsma et al., 1992; Smith et al., 2001; Nedwed et al., 2001; Brandsma, 2001); sin embargo, otros modelos pueden ser utilizados.

Los sistemas de modelamiento requerirán una batería de información física referida a la geoforma de las zonas de descarga y la dinámica fluvial, que deberá ser capturada y actualizada anualmente dado la variabilidad de los afluentes del Delta. El modelamiento de la descarga en las diferentes zonas propuestas permitirá predecir las cargas de sólidos en los lechos marinos, la profundidad optima del conducto de descarga (rápida sedimentación y dispersión de los sólidos), la ubicación optima del punto de descarga, la distribución espacial inicial y las profundidades de acumulación máxima de arenas lavada o montículos (predicción de la trayectoria y forma de la columna de descarga).

7.3. Información de Geoforma y Dinámica Fluvial

Como se mencionó en la sección anterior, para poder efectuar el modelamiento de la descarga se requiere de una serie de data de geoforma del caño y su dinámica fluvial.

La geoforma se obtiene mediante una batimetría del lecho marino en los alrededores de las zonas de descarga, cuya variación durante el año está en función de la dinámica sedimentaria del caño, y su posible alteración por el aporte adicional de sólidos durante la descarga.

El cuerpo receptor debe ser descrito en detalle con respecto a la profundidad del agua, su temperatura, salinidad, perfil de velocidad de la corriente, perfil de densidades y temperatura, oleajes y mareas. El perfil de velocidades se ajustara al tirante de agua, el cual, varía en las diferentes épocas del año (período de estiaje y lluvia). Todas estas variables deben quedar totalmente definidas para el modelamiento de la descarga.

7.4. Análisis Granulométrico y Bentos

En base a los resultados de la investigación, uno de los efectos de mayor perturbación es el cambio granulométrico que la depositación de la arena puede generar en la zona de descarga; en consecuencia, se deberá realizar una análisis granulométrico del lecho en las zonas determinadas como zonas de descarga, y efectuar una estimación con el modelo acerca de cómo puede variar la composición granulométrica en el sitio.

Con el resultado del análisis granulométrico se deben analizar los efectos de las variaciones, en composición granulométrica, en los procesos de recolonización de la fauna bentónica en las zonas de descarga.

7.5. Sitios de Descarga y Tiempos de Recolonización

Para la descarga de las arenas se requerirá establecer un ducto o bajante de descarga desde la plataforma de producción, en particular desde donde se hace el pre-tratamiento, hasta el sitio de descarga seleccionado. En tal caso, se sugiere diseñar un ducto movible o giratorio que permita la descarga en varios puntos o proyecciones diferentes. La ubicación de este ducto debe estar basada en el resultado del modelamiento que garantiza una dispersión de la descarga y no una acumulación o formación de montículos. Por tanto, las zonas de descarga deben ser seleccionadas en

las zonas de mayor energía y corriente de fondo, donde existan procesos erosivos acelerados (canal de navegación), y de mayor profundidad (datos de la dinámica fluvial).

Con el modelamiento se podrá definir, además, el tiempo de permanencia o descarga en un punto fijo, y cuándo el ducto deberá girar o variar su proyección para descargar en otra zona. Esto estará en función del tiempo de recolonización del bentos a predecir, para no impactar áreas de descarga que aún no se han recuperado.

7.6. Programa de Seguimiento

Una de las actividades más importantes en el proceso de la descarga de las arenas de producción es el seguimiento del comportamiento de los parámetros físicos y biológicos del cuerpo receptor; en consecuencia se deberá presupuestar una partida o cuenta contable para garantizar el seguimiento de las zonas de descarga.

El programa de seguimiento, de frecuencia trimestral, debe contener al menos los siguientes: monitoreo del bentos y de la calidad de aguas en diferentes áreas del caño y zonas de descarga, análisis de lixiviados de las arenas lavadas, de la calidad del surfactante (para detectar cambios en el proceso), análisis del crudo producido (gravedad API, y cadena de hidrocarburos), y análisis semestral de la calidad del aire.

Antes de iniciar el proceso de descarga, si es que el MARN lo autoriza, se debe efectuar un levantamiento de línea base en la zona de descarga para dejar definido la condición ambiental de inicio.

7.7. Prueba Piloto

Se deberá iniciar una prueba piloto con las arenas de producción del campo Pedernales para determinar la efectividad del equipo. La prueba piloto debe realizarse bajo diferentes condiciones de operación, como: alta carga de arenas a tratar (máxima capacidad del equipo), baja carga de arena a tratar, utilizando diferentes

concentraciones de surfactante en relación al volumen de agua de lavado, etc., siempre utilizando el agua del caño para el lavado.

Todas las muestras de arenas lavadas a diferentes condiciones de operación deberán conducirse al laboratorio para efectuar las respectivas pruebas y test de lixiviación para corroborar las condiciones óptimas de operación y los resultados en caso de que algunas de estas condiciones variaran.

La implantación del sistema en campo es sumamente sencilla, ya que el equipo de lavado, es un sistema modular, donde las partes se pueden ensamblar en campo. Una vez ensamblado en la plataforma de producción FSPP, se inicia las pruebas de arranque, el análisis de laboratorio y la posterior descarga del volumen o lote de arena, siempre y cuando el MARN lo haya autorizado. Los requerimientos de energía eléctrica de parte del sistema de bombeo, agitador, y zaranda son fácilmente satisfechos por el sistema eléctrico de la FSPP, el cual se encuentre sobredimensionado. El sistema de lavado posee una carga estimada inferior a los 100 hp de potencia.

7.8. Prueba Pre-descarga

Una vez que la prueba piloto ha definido las condiciones de operación, se deberá instalar un laboratorio propio en el campo Pedernales y capacitar un personal para operar el equipo y hacer la captura de muestras y pruebas de laboratorio con los parámetros de mayor interés (concentración de aceites y grasas, TPH y gravedad API del hidrocarburo). Este laboratorio en plataforma se encargará de evaluar cada volumen o lote de arena tratada antes de iniciar la descarga al caño. Todo lote de arena tratada deberá ser analizado por el laboratorio sin excepción antes de iniciar la descarga.

7.9. Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural (EsIASC)

Una vez ejecutada la prueba piloto (sin descarga alguna al caño), y el resto de las pruebas de laboratorio: bentos, calidad de aguas y sedimentos y la corrida del modelamiento, se procederá a incluir esta información en el estudio de impacto ambiental y sociocultural para su presentación al MARN. El Estudio debe ser efectuado

por una empresa consultora inscrita en el MARN, y con suficientes credenciales para garantizar confiabilidad en los resultados.

Durante la evaluación del Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural, personal del MARN podrá ser invitado para observar la operación de la planta piloto (sin descargas al caño), y el resultado de los diferentes análisis. No podrá efectuarse ninguna descarga hasta tanto el MARN lo autorice.

7.10. Implementación del Tratamiento en Campo

Dependiendo de los resultados de la evaluación del Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural, y de las condiciones y restricciones que el MARN establezca en caso de autorizar la descarga, se precederá a la implementación del sistema en el campo de producción.

En caso de que la descarga se autorice en una zona de descarga costa afuera (Boca de Serpiente, Lote CVP) para ripios en base agua, existente en la zona y autorizada por el MARN, además del equipo de lavado se deberá disponer de una gabarra de transporte y sistemas de bombeo para la descarga correspondiente. En tal caso, se deberá pedir autorización del acceso al lote costa afuera a la Corporación Venezolana de Petróleos (CVP), y deberán efectuarse todas las pruebas de seguimiento.

Para el caso de que no sea autorizada la descarga, la arena pre-tratada deberá ser trasladada al muelle de Guiria, y desde allí seleccionar una zona de descarga en suelos (relleno).

Además del MARN, también PDVSA y MEM deben ser notificados del procedimiento de lavado de las arenas y de sus beneficios, no solo ambientales sino también económicos: reducción de costos operativos de más de 100 000 $/año, recobrar una parte del crudo lavado de las arenas (300$/mes a precio crudo de 40$/barril), y una inversión inicial que requiere ser aprobada por PDVSA entre $70 000 a $150 000 según la opción que apruebe el MARN.

CAPITULO VIII: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Dado el alto valor ecológico de los estuarios y ecosistemas de manglar del delta del Orinoco, las arenas de producción y otros desechos peligrosos que requieran ser transportados a tierra firme, desde los campos de producción ubicados en estos hábitats, deberían tener una pre-tratamiento en sitio que reduzca o anule las condiciones de peligrosidad del desecho.

La descarga en el medio marino es uno de los métodos de disposición disponibles para las arenas de producción tratadas en áreas deltanas, además de la eliminación/bioremediación en tierra firme (transporte a tierra de las arenas) y la inyección como las mejoras alternativas técnico-económicas de manejo de arenas de producción del campo Pedernales. Cada uno de estos métodos presenta ventajas y desventajas a considerar.

Entre las principales conclusiones se tiene:

- Entre todas las tecnologías estudiadas las que presentan mayores ventajas técnico-ambientales son: la Tecnología de Lavado, Tecnología de Bio-remediación y la Re-inyección en Pozos.
- El análisis ambiental indicó que la mejor alternativa es el pre-tratamiento en sitio mediante lavado y la descarga en tierra firme, mientras que el análisis económico indicó que la mejor alternativa es el Lavado de las arenas y su posterior descarga al lecho marino.
- La descarga accidental de arenas tratadas al cuerpo de agua representa un impacto ambiental mínimo, en comparación con las ventajas ambientales de una descarga accidental de arenas no tratadas. La calidad de las arenas pre-tratadas desde el punto de vista de biodegradabilidad, biotoxicidad y peligrosidad indican que éstas no son elementos peligrosos y que pueden ser descargados al caño sin perturbaciones significativas al medio receptor.

- Con la aplicación de la Tecnología de Lavado y la Descarga Directa al Medio Marino se disminuyen los costos operativos en un 80% (229 000 $ vs 52 000 $/año, aproximadamente).
- La minimización de las actividades de transporte favorece significativamente al Manglar del Delta del Orinoco, al minimizar descargas de gases de combustión, niveles de ruidos, descargas de aceites usados y lastres de embarcaciones, perturbaciones por rutas marítimas y frecuencia de viaje, además de los riesgos de accidentes por transporte.
- Los impactos ambientales más significativos de la descarga de arenas tratadas están enfocados sobre la afectación a la biota y bentos. No obstante, estudios de campo han demostrado que la perturbación sobre la comunidad béntica por lo general está muy localizada y es temporal.
- Las condiciones de la dinámica fluvial y sedimentaria del caño Pedernales, así como las características físicas y biológicas de sus aguas, favorecen la recuperación natural del cuerpo receptor. Estas son condiciones significativas a ser evaluadas para poder desarrollar técnicas de descarga al medio marino con mínima afectación.
- Las arenas de producción del campo Pedernales tratadas con la técnica de lavado cumplen lo establecido en el artículo 50 del Decreto 2.635 para descarga a suelos sin otro tratamiento adicional.

Como resultado del estudio, se da respuesta a los planteamientos establecidos en el Capitulo I “La Investigación”, concluyendo que el transporte de las arenas contaminadas con hidrocarburos representa un riesgo potencial de daño ambiental significativo para el manglar y el cuerpo de agua en su calidad de hábitat (bentos, la fauna ictícola, columna de agua, etc.). Por otra parte, el transporte de las arenas de producción a tierra firme genera también otras afectaciones entre las que se tienen: a la calidad del aire (emisor de gases de combustión); a los niveles de ruido en el medio aire y agua; y a la fauna avícola, béntica e ictícola en la ruta de navegación (descargas de lastres, aguas servidas, fugas de las sentinas, etc.).

Sí se pueden desarrollar técnicas de tratamiento de las arenas de producción en sitio para las plataformas petroleras costa afuera, las cuales, comparativamente, proveen beneficios, operacionales, económicos y ambientales con respecto a las técnicas

convencionales aplicadas en el campo Pedernales. De hecho, los sistemas y equipos de limpieza para lavado de las arena de producción son de bajo requerimiento en espacio y suministro energía, livianos, y de bajo costo, que puedan ser emplazados en las plataformas de producción y/o perforación en áreas remotas y/o marinas. Los parámetros a considerar en el diseño de un sistema de tratamiento de arenas de producción para plataformas marinas que generen un producto final tratado con mínima afectación al ecosistema marino deltano son: retención de aceites e hidrocarburos por debajo del 1% v/v; arenas impregnadas con hidrocarburos altamente biodegradables (cadenas de carbono cortas), que no poseen metales pesados; homogeneidad de las partículas y baja presencia de arcilla o limo, para que la limpieza sea optima.

Recomendaciones

Se recomienda como mejor alternativa, el pre-tratamiento en sitio con tecnología de lavado de las arenas y la disposición de las arenas limpias en tierra firme (Guiria) como material de relleno. Aun cuando la descarga de arenas tratadas al medio marino parece ser una opción viable en muchos medios ecológicos, podría tener riesgos ambientales en caso de no detectarse algún compuesto dañino en las pruebas de laboratorio. Por tanto, se recomienda:

- Seguir realizando trabajos de investigación para desarrollar e implementar nuevas tecnologías para el tratamiento de arenas que reduzcan el contenido de hidrocarburos de las mismas antes de la descarga. También se debe seguir investigando el efecto ambiental a corto y largo plazo sobre la fauna bentónica perturbada por las descargas.
- Es altamente recomendable seguir todas las observaciones contempladas en el Capitulo VII: “Procedimientos de Implementación”, y profundizar futuras investigaciones al respecto. No efectuar ninguna descarga sin la autorización de las autoridades respectivas, aún cuando se ha demostrado técnicamente que las arenas tratadas no son un compuesto peligroso.
- Evaluar la técnica de limpieza como pre-tratamiento para todas las operaciones y bloques de producción de la zona deltana venezolana.
- Certificar los valores obtenidos de las pruebas de laboratorio de las arenas limpias en la prueba piloto, para corroborar la autenticidad de los mismos.

- Profundizar la investigación en lo referente a procedimientos estándares para la captura de muestras y análisis de laboratorio enfocados a la detección de metales en las arenas tratadas.
- Para estudios de investigación dirigidos al análisis de alternativas para tratamientos, además de tener como referencias comparativas costos unitarios y parámetros operacionales y ambientales, es importante añadir otros parámetros de medida y de relación directa con la facilidad que se esta investigando, por ejemplo: área en tierra en m^2 para aplicar la alternativa, energía en kW/h requerida por el sistema en análisis, tiempos de desplazamiento y tratamiento final en días, tasas de tratamiento en m^3/día, tasas de insumos requeridos (combustibles, agua, horas hombre, otros), etc., y elaborar cuadros comparativos entre las alternativas en análisis, lo que le infiere un carácter mas objetivo, tangible y cuantificable para facilitar la toma de decisión a la gerencia operativa.
- Al hacer la selección final de alternativas aplicables a las facilidades en investigación, es conveniente resaltar cual es la alternativa que permite obtener un producto tratado mas amigable al medio ambiente, procedimientos de tratamiento de menos riesgos para el personal operativo, y los menores requerimientos de insumo y energía. Aun cuando económicamente esta alternativa no resulte favorable, pero es importante dar a conocer a los gerentes cual es la alternativa técnicamente más favorable al medio.
- En futuros análisis de alternativas, incluir en la evaluación económica los beneficios económicos ambientales (evaluación financiera de las alternativas).
- Promover al Estado para que se establezca una regulación, en la normativa ambiental, para que todo desecho peligroso sea pre-tratado para su transporte, cualquiera que sea su tratamiento y disposición final, en especial para el caso de transito en ambientes especiales como los estuarios.
- Promover al Estado para que se desarrollan sistemas de manejo de desechos municipales y aguas servidas en las poblaciones y centros poblados establecidos en el delta del Orinoco.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ AMADOR GAGO, 2000. *El Oro Negro un Tesoro Peligroso para la Vida*. Artículo. www.cubasolar.cu.
- ✓ AYERS RC JR, SAUER TC JR, MEEK RP AND BOWERS G., 1980. *An Environmental Study to Assess the Impact of Drilling Discharges in the Mid-Atlantic. I. Quantity and Fate of Discharges*. Proceedings of Symposium, Research on Environmental Fate and Effects of Drilling Fluids and Cuttings, January 1980. Lake Buena Vista, Florida. Vol I. Pag. 382-418.
- ✓ BENTHOS, 2004. Monitoreo de Comunidad Bentónica en Campo Pedernales. Reporte Técnico.
- ✓ BONNIER, P., G. AKOUN., E. CADRON. 1980. *Sludge Farming: a Technique for the Disposal of Oily Refinery Wastes.* Concawe. pp.151.
- ✓ BRUNO, M.S.; BILAK, R.A.; DUSSEAULT, M.B.; ROTHENBURG, L., 1995. *Economic Disposal of Solid Oil Fields Waste Through Slurry Fracture Injection*. Paper, SPE 29643, 313-320, 1995 EE.UU.
- ✓ COFLUMAR, 2004. *Proyecto de Dragado de las Estructuras de Producción del Campo Pedernales*. Reporte Técnico.
- ✓ CONESA, V., FDEZ – VÍTORA, 2001. *Guía Meteorológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Pág. 200-207.
- ✓ CONSOLEF, C.A., 2004. *Sistema de Tratamiento Basado en la Limpieza Bio-Mecánica de Sólidos Petrolizados*. Folleto de Presentación del Equipo.
- ✓ DAAN R, BOOIJ K, MULDER M, VAN WEERLEE EM. 1995. *A Study on the Environmental Effects of a Discharge of Drill Cuttings Contaminated with Ester Based Muds in the North Sea*. Netherlands Institute for Sea Research NIOZ-RAPPORT 1995-2. Netherlands.
- ✓ DUSSEAULT M.B., BILAK R.A., 1997. *Disposal of dirty liquids using slurry fracture injection*. SPE/EPA Explor & Prod environ conf (Dallas 3/3 - 5/97). Proc pp 193-203, SPE-37907, 1997

- ✓ EFE/BNAMERICAS, 2005. Reporte de prensa, Nueva York, 20 de Diciembre 2005.
- ✓ EL NACIONAL, Economía, Diciembre 12 del 2002.
- ✓ EL UNIVERSAL, Economía, Febrero 2003.
- ✓ EL UNIVERSAL, Economía, Noviembre 07 del 2005.
- ✓ ECOLOGY & ENVIRONMENT, S.A., 2003. *Estudio de Impacto Ambiental Plan de Desarrollo del Campo Pedernales*. Pág. 200-250.
- ✓ ECOLOGY & ENVIRONMENT, S.A., 2002. *Environmental Audit of the Main and Related Facilitie*s. Pedernales Oil Field. Final Report. Caracas, Mayo 2002.
- ✓ ENCARTA, 2003. *La Contaminación Marina*. Enciclopedia
- ✓ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2003. *Exemption of Oil and Gas Exploration and Production Wastes from Federal Hazardous Waste Regulations*. Oficina de los Residuos Sólidos, Diciembre 2003.
- ✓ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000. *Profile of the Petroleum Refining Industry*. EPA Office of Compliance.
- ✓ Freeman, H. M., 1989. *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. Editor. Mc Graw-Hill Book Company. EE.UU.
- ✓ HERMOSO, J., 2003 Desarrollo de un Proceso de Tratamiento para las Arenas Asociadas a la Producción de Petróleo. Tesis Especial de Grado, UCV.
- ✓ HERNÁNDEZ O., ROMERO A., 1999. *Desorción Térmica. Estado del Arte*. Informe Técnico INT-5928,1999.
- ✓ HINCHEE R., ALLEMAN, B., HOEPPEL., MILLER R., 1994. *Hydrocarbon bioremediation*. Lewis Publishers.
- ✓ INSTITUTO GEOGRÁFICO SIMÓN BOLÍVAR, 1999. *El Delta del Orinoco*. Atlas de Venezuela.
- ✓ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS, 2003. *Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil and gas operations*. OGP, Reporte Técnico N 342.

- ✓ INFANTE C., 2001. *Biorestauración de áreas impactadas por crudo por medio de INTEBIOS® y BIORIZE®*. Interciencia. Vol 26(10): 504-507.
- ✓ INFANTE, C., 2001. *Tecnología para el Manejo de Desechos Sólidos*. Reporte Técnico, PDVSA Intevep.
- ✓ INFANTE, C., GONZÁLES, O., 1995. *Comparación del Proceso de Biodegradación de Lodos Petrolizados en Bio-reactores y en Suelos*. Gerencia de Investigaciones Ecológicas y Ambientales, Intevep, S.A. Revista Visión Tecnológica Vol. 3.
- ✓ INFANTE C, INTERBIOS ®, 2000. *Biodegradation Technology for Treating Organic Waste from Oil Industry Operations*. Revista Visión Tecnológica.
- ✓ INFANTE C, ROMERO A., ARROCHA A., GILBERT D., BRITO F., 1999. *In Situ Bioremediation of 14 pits of Puerto La Cruz Refinery*. Fourth International in-situ and on-site bioremediation Symposium. Battelle press.
- ✓ MANTESA, 1997. *Evaluación Ambiental Específica Expansión de Campo petrolero Pedernales*. Caracas, 1997.
- ✓ MARCUCCI, ETORE., 2000. *Características de los Estuarios de Venezuela y Manejo Ecológico de los Sedimentos Dragados*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos. Volumen 5, Número 2.
- ✓ MARTÍNEZ, E., 1996. *Marco Legal Ambiental Venezolano*. Ingeniería Caura, S.A.
- ✓ MELCHOR, A.E.; DA COSTA, RODRÍGUEZ, C.; PEÑA, J.C., 2001. *E&P Waste Management in The Orinoco Delta.* SPE Paper Number 66577, Texas 2001.
- ✓ MINERALS MANAGEMENT SERVICES, 2003. Our Ocean Role. U.S. Department of the Interior. Pag. 21-43.
- ✓ NATIONAL ESTUARY PROGRAM., 2001. *Estuarine Habitat*, EPA. Office of Water. Reporte Técnico NEP.
- ✓ NATURA, 1998. *Evaluación Ambiental Específica Expansión Campo Petrolero Pedernales*. Diciembre 1998. Caracas.
- ✓ NORTHLAND REGIONAL COUNCIL., 2003. *Environmental Incident – '02 /'03*. Annual Environmental Monitoring Report.

- ✓ PERENCO VENEZUELA, 2000. *Plan de desarrollo del Campo Pedernales*. Departamento de Geociencias. Reporte Técnico.
- ✓ PERENCO VENEZUELA, 2002. *Informe de Supervisión Ambiental, Pozo PCG-12.* Campo Pedernales. Reporte Técnico.
- ✓ PERENCO VENEZUELA, 2005. *Informe trimestral de Supervisión*. Octubre-Diciembre 2005. Campo Pedernales. Reporte Técnico.
- ✓ PERENCO VENEZUELA, 2004. Proyecto de Inyección de Agua del Campo Pedernales. Reporte Técnico.
- ✓ PERENCO VENEZUELA, 2002. *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto de Perforación de Pozos Complementarios 2002*. Caracas, Agosto 2002.
- ✓ PERENCO VENEZUELA, 2002. *Plan de Manejo de Desechos del Campo Pedernales*.
- ✓ PEW OCEANS COMMISSION, 2002. *Marine Pollution in the United States*. Annual Report.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1976. *Ley Orgánica del Ambiente*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 31.004 del 16 de junio de 1976.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1985. *Ley Orgánica de la Administración Central*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 3.599 Extraordinario del 07 de agosto de 1985.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1981. *Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos.* Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 2.818 Extraordinario del 1 de julio de 1981.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1983. *Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio.* Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 3.238 Extraordinario del 11 de Agosto de 1983.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1966. *Ley Forestal de Suelos y Aguas.* Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 997 Extraordinario del 08 de enero de 1966, modificada con la No 1004 Extraordinario del 26 de enero de 1966.

- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1998. *Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligroso.s* Decreto No 2.635 del 22 de julio de 1998, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 5.245 Extraordinario del 03 de agosto de 1998.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1992. Normas para el Manejo de Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de Cualquier otra Naturaleza que no sean Peligrosos. Decreto No 2.216 del 23 de abril de 1992, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1992. Normas Sobre el Control de la Contaminación Generada por Ruido. Decreto No 2.217 del 23 de abril de 1992, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1995. *Normas sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica.* Decreto No 638 del 26 de abril de 1995, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 4.899 Extraordinario del 19 de mayo de 1995.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1995. *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.* Decreto No 883 del 11 de octubre de 1995, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 5.021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995.
- ✓ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1992. *Cambios de Flujo, Obstrucción de Cauces y Problemas de Sedimentación.* Decreto No 2.220 del 23 de abril de 1992, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.
- ✓ PROAMBIENTE, 2000. *Tratamiento de las arenas de Producción del Campo Pedernales*. Informe Técnico.
- ✓ ROMERO A., 1992. *Sistemas Ambientales Venezolanos*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, MARN. Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenación Ambiental. Caracas 1992.

- ✓ ROMERO A. HERNÁNDEZ O.,1999. *Desorción Térmica. Estado del Arte*. Informe Técnico INT-5928.
- ✓ SELLERS, K., 1999. *Fundamentals of Hazardous Waste Site Remediation*. Lewis Publishers.
- ✓ THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION Ltd., 2003. Oil Tanker Spill Statistics Annual Report.
- ✓ VELÁSQUEZ, D., 2002. *Análisis de Datos Recolectados para la Red de Monitoreo de Calidad de Agua de los Ríos Orinoco y Caroní*. Ingeniería Caura, S.A. y Corporación Venezolana de Guayana CVG.
- ✓ VENEZUELA CHEMICALS, 2002. Folleto Comercial para Surfactantes.

GLOSARIO

Abiótico: Componentes no vivos del medio ambiente, es decir, los factores físicos y químicos.

Aerobio: (del griego *aer,*'aire'; *bios,*'vida'), cualquier proceso que pueda desarrollarse en presencia de oxígeno atmosférico.

Agua de Formación: Aguas procedentes de un formación geológica que pueden estar mezcladas con crudo y/o gas.

Anaeróbico: Cualquier proceso que se efectúe en ausencia de oxígeno.

Anfípodos: Son pequeños camaroncitos (género Hyalella) de hasta 8 ó 9 mm. que en reposo adoptan una posición curvada que le es característica. Habitan en los recovecos del fondo u ocultos entre la vegetación acuática, siendo su momento de mayor actividad en el crepúsculo, donde son más vulnerables.

Anoxia: Disminución o ausencia de oxígeno en los tejidos.

Antrópico: Causado por la intervención del hombre.

Arena de Producción: arenas que se producen en conjunto con el petroleo, y que proceden del propio yacimiento.

Areniscas: Roca sedimentaria hecha de granos de arena, se puede formar en una playa, o desierto de dunas de arena.

Bailer: Botella muestreadora desechable de polietileno de alta densidad.

Bentos: Conjunto de plantas y animales que viven en el lecho de un cuerpo de agua.

Betainas: Composiciones acuosas concentradas de tensoactivos.

Bioacumulación: El aumento en la concentración de una sustancia en organismos vivos, debido al contacto de éste con aire, agua, o alimento contaminado, debido a la lenta metabolización y excreción.

Biodegradación: Descomposición o desintegración de una sustancia con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Los productos finales de la biodegradación completa de un sustrato son el CO_2 y el H_2O.

Bioreactor: Dispositivo que permite controlar la evolución del crecimiento de un cultivo bacteriano.

Bioremediación: El tratamiento biológico que se aplica a: aguas residuales, lodo, o suelos contaminados, induciendo la interrupción de productos orgánicos y de hidrocarburos para dar dióxido de carbono y agua.

Biótopo: Espacio caracterizado por un sustrato material (suelo, agua, etc.) que constituye el soporte físico para que viva una biocenosis.

Biotoxicidad: Efectos biológicos causados por compuestos tóxicos.

Biocenosis: Comunidad biótica o conjunto de todos los seres vivos como animales y plantas que se interaccionan en un área determinada (biótopo) y en estado de equilibrio.

Caño: Curso de agua marina que se interna en terrenos fangosos de marismas, y cuya profundidad y apariencia cambia en función de las mareas. Puede estar comunicado directamente con el mar, siendo entonces un caño principal o caño madre, y a su vez puede estar abierto al mar por un extremo o por varios.

Choke: Termino utilizado en la industria petrolera para describir la sección de la válvula de estrangulamiento del cabezal del pozo.

Clásticas: Las rocas sedimentarias clásticas están hechas de fragmentos de otras rocas llamadas sedimentos. Cristales minerales llamados cemento, mantienen juntos a los sedimentos.

Contaminación: Presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables. En otros términos, es la alteración hecha por el hombre o inducida por el hombre a la integridad física, biológica, química y radiológica del medio ambiente.

Correlación de Spearman: Es una medida de relación lineal entre dos variables. Se diferencia de la correlación de Pearson en que utiliza valores medidos a nivel de una escala ordinal. Si alguna de las variables está medida a nivel de escala de intervalo/razón deberá procederse antes de operar el estadístico a su conversión en forma ordinal.

Corriente de Descarga: Flujo de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezcla de ellas, que se descarta en un procedo productivo.

Cuerpos Lacustres: Sistemas de agua lénticas.

Demersal: Organismo que vive muy próximo al fondo de la masa de agua que es su hábitat.

Desechos Peligrosos: Desecho en cualquier estado físico sólido, líquido o gaseoso que presenta características peligrosas, o que está constituido por sustancias peligrosas y que no conserva propiedades físicas ni químicas útiles y, por lo tanto, no puede ser reusado, reciclado, regenerado u otro diferente.

Detoxificación: Técnica de limpieza ó depuración.

Dinámica Sedimentaria: Procesos de transporte y sedimentación tanto en zonas sumergidas, como emergidas. Caracterización de depósitos que registren cambios relativos del nivel del mar. Estudio de la morfodinámica de playas.

Disco Secchi: Equipo para la prueba de Turbidez o detector de mediciones.

Edáfico: Relativo a la morfología y distribución de los suelos.

Estiaje: Nivel más bajo o caudal mínimo que en ciertas épocas del año tienen las aguas de un río por causa de la sequía.

Estrés Ecológico: Serie de cambios desestabilizadores del geosistema que se produce al romperse los mecanismos autorreguladores y de autocontrol.

Estuario: Regiones de interacción entre ríos y aguas oceánicas costeras en donde la acción de la marea y el torrente del río mezclan agua dulce y salada. Tales áreas incluyen bahías, bocas de ríos, pantanos salados y lagunas. Esos ecosistemas salinos protegen y alimentan la vida marina, aves y vida salvaje.

Facies: Caracteres generales de una roca (sedimentaria) especialmente aquéllos que indican el ambiente en cual fue depositada.

Fauna Ictícola: Especies animales que viven en el agua.

Fisiografía: Descripción de las características físicas de a Tierra y de los fenómenos de la naturaleza que en ella se originan, en particular de las características aparentes, conspícuas o superficiales de la superficie terrestre y la vegetación.

Fluido de Completación: Fluido utilizado para preparar un pozo que va a ser colocado en producción económicamente. Estos fluidos permanecen en el pozo hasta que se inicie la producción. Deben ser químicamente inertes a las formaciones productoras, para evitar generar daños.

Fluido de perforación: El fluido (lodo) circulante que se emplea en la perforación rotatoria de pozos para limpiar y acondicionar el agujero, y para balancear la presión que ejerce la formación. El fluido de perforación de base acuosa es el fluido de perforación convencional en el que el agua proporciona la fase continua y el medio de suspensión de los sólidos, ya sea que incluya aceites o no. Los fluidos de perforación

de base con aceite incluyen diesel, petróleo crudo o algún otro aceite en la fase continua con agua en la fase de dispersión.

Formaciones: Se refiere a estratos rocosos homogéneos de cualquier tipo, usados particularmente para describir zonas de roca penetrada durante la perforación.

Formas Aluvionales: Estructuras geológicas formadas por el arrastre de material provocado por grandes masas de agua.

Gabarras: Son embarcaciones pequeñas de poco calado que se emplean para llevar al muelle mercancías transportadas por barcos que por sus dimensiones no pueden atracar pegados a él, y por aquellas embarcaciones cuya maniobra de descarga se realiza por ambos costados. En ocasiones son sacrificadas para que sobre ellas se establezcan estructuras flotantes fijas.

Hidrofílico: Que tiene una fuerte afinidad por el agua. Es la tendencia (debida a su estructura) de un compuesto químico a disolverse o mezclarse con el agua o algún medio acuoso.

Hidrofóbico: Que tiene repelencia por el agua. Es la tendencia (debida a su estructura) de un compuesto químico a ser insoluble y no mezclarse con el agua o algún medio acuoso.

Hidromorfismo: Proceso que sufre el perfil de suelo, todo o parte (horizonte, g), como consecuencia de un exceso de agua (hidromorfía), correspondiendo a una coloración gris verdosa si el hierro se encuentra reducido o a manchas y concreciones de color ocre de óxidos de hierro.

Holocénica: Período de tiempo que corresponde a 7.000 años antes del presente.

Malacostracos: Son crustáceos más evolucionados y que comúnmente se les conoce como cochinillas de la humedad, cangrejos, camarones, langostinos, langostas, etc.

Marea Dinámica: Reflujo generado cuando las aguas fluviales penetran en el mar.

Marea Viva: Fenómeno que sucede una vez al mes, donde el Sol y la Luna están alineados, entonces los océanos se ven atraídos por las fuerzas combinadas de los dos astros y por ello la marea es más fuerte.

Material de Cobertura: suelo o mezcla de suelo utilizado para cubrir una celda de desecho compactado en rellenos sanitarios.

Material Parental: Material Geológico del cual proviene el Suelo.

Mechurrio: Equipo de Combustión empleado para la quema de gases.

Morfogénesis: Ciencia que trata de explicar el origen y desarrollo de los órganos o de las partes de un organismo, o del organismo completo.

Landfarming: Técnica de remediación cuya aplicación usual es la reducción de la concentración de hidrocarburos en suelos contaminados aprovechando su capacidad para ser biodegradados.

Landfilling: Método o práctica de relleno controlado.

Landspreading: Tratamiento de suelos contaminados a través del esparcimiento.

Légamo: Sedimento que las aguas van depositando en el lecho de los ríos. Generalmente está compuesto por arcillas, dado que las partículas de estas son muy finas y, por tanto, fácilmente transportables por las corrientes.

Lodo: Término corriente de los fluidos de perforación.

Oleofílico: Cualquier sustancia que tenga tendencia a adsorber crudo de petróleo o productos derivados o disolverse en los mismos.

Oleofóbico: Característica de una sustancia que repela activamente los aceites y las grasas.

Oligoelemento: son elementos químicos requeridos para la vida de los organismos en muy pequeñas cantidades. Se trata de elementos esenciales y a veces también se les denomina elementos traza.

Organoléptico: Característica de una sustancia que se percibe con los sentidos.

Pedogénesis: Proceso de formación de suelos a partir de la roca madre o roca parental.

Plancton: Conjunto de organismos animales y vegetales, generalmente diminutos, que flotan y son desplazados pasivamente en aguas saladas o dulces.

Plataforma Deltana: Es uno de los grandes proyectos que ejecuta Venezuela para el desarrollo de sus reservas de gas, ubicada a 200 kilómetros de la costa del estado Delta Amacuro, al Este de Venezuela, en áreas limítrofes con Trinidad.

Poliquetos: Son gusanos segmentados con muchas sedas o quetas, que son unas estructuras especiales que utilizan para anclarse al sustrato. La clase *Polychaeta* pertenece al Filo Anélidos al que pertenecen unas ocho mil especies y que se caracterizan por estar compuestos por tres capas celulares, con la capa media dividida en dos por una cavidad del cuerpo verdadera (celoma), llena de líquido, y estar longitudinalmente segmentados.

Relleno Sanitario: La obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos, ubicada en sitios adecuados al ordenamiento ecológico y territorial, mediante el cual, los residuos sólidos se esparcen y compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con material natural o sintético para prevenir o reducir la liberación de contaminantes al ambiente, procesos de combustión no controlada, la generación de malos olores, la proliferación de fauna nociva y demás problemas ambientales y sanitarios.

Ripios de Perforación: Sólidos generados por la perforación en las formaciones geológicas sub-superficiales y transportadas a la superficie con el fluido de perforación.

Sensibilidad Ambiental: Es la susceptibilidad de un área, más o menos extensa, ante cualquier cambio que pueda disminuir o modificar su estabilidad por la intervención de agentes externos de acción prolongada.

Surfactante: Son sustancias que poseen en su estructura grupos polares (hidrofílicos) y apolares (hidrofóbicos); lo que les permite tener actividad superficial (sistemas sólido-gas y líquido-gas) y/o interfacial (sistemas líquido-líquido y sólido-líquido).

Tanqueros: Comprende las embarcaciones destinadas principalmente al transporte de carga líquida a granel, en particular petróleo, incluyendo que requieran refrigeración.

Yacimiento: Formación geológica porosa y permeable, denominada roca recipiente que, cubierta por una roca impermeable denominada "techo", contenga petróleo o gas, o ambas cosas, y esté deformada u obstruida en forma tal que el petróleo y el gas queden entrampados.

Workover: Operación programada que se realiza con fines de reestablecer y/o mejorar la capacidad del intervalo productor de un pozo, o de cambiar el horizonte de producción por otro ubicado a mayor o menor profundidad. Presenta el esfuerzo requerido para ejecutar trabajos de estimulaciones, reparaciones, recañoneo y/o terminación a pozos.

ABREVIACIONES

ABRAE	Área Bajo Régimen de Administración Especial
API	American Petroleum Institute
BP	British Petroleum
BPD	Barriles por Día
BBL	Barriles (del inglés blue barrel)
CAF	Corporación Andina de Fomento
CEPIS	Centro de Estudios Panamericanos de Ingeniería Sanitaria
CRE	Centro de Respuesta de Emergencia en Campo Pedernales
CWA	Clean Water Act
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DDT	Dicloro–Difenil–Tricloroetano
DELMOS	ONG para los estados Delta Monagas y Sucre
E&P	Exploración y Producción
EEUU	Estados Unidos de Norte América
EPA	Environmental Protection Agency
FSPP	Floatable Submergible Production Platform
GLP	Gas Licuado de Petróleo
HPA	Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos
IFC	International Financial Corporation
IVIC	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas
MARN	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MMPCD	Millones de Pies Cúbicos por Día
OBF	Oil Base Fluids
ODD	Orgullo del Delta
ONG	Organización No Gubernamental
OOC	Offshore Operator Committee
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo
PCB	Bifenilos Policlorados
PDVSA	Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima
Pow	The octanol-water partition coefficient
PPFS	Plataforma de Producción Flotante Sumergible

RCRA	Resources Conservation and Recovery Act
SDWA	Safe Drinking Water Act
SPCC	Spill Prevention Control and Countermeasures
SPE	Society of Petroleum Engineering
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
TPH	Total Petroleum Hydrocarbon
TSDF	Treatment, Storage, and Disposal Facilities
UNT	Unidades de Turbidez Nefolométrica
USDA	United State Department of Agriculture
UTM	Universal Transverse Mercator
VPN	Valor Presente Neto

Anexo I: Modificatoria Decreto 883 en Consulta







HUGO CHÁVEZ FRÍAS
PRESIDENTE DE LA REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
CONSIDERANDO

DECRETA

Las siguientes:

NORMAS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA

CAPITULO I

Disposiciones Generales

ARTÍCULO 1°.- El presente Decreto tiene por objeto establecer las normas orientadas a conservar y mejorar la calidad de los cuerpos de agua mediante el control de los vertidos de efluentes líquidos.

ARTICULO 2°.- Las acciones de conservación y mejoramiento estarán dirigidas principalmente a la reducción o prevención de la generación de efluentes, mejoramiento de la calidad del efluente, uso de tecnologías de producción más limpia, el establecimiento de límites máximos de elementos contaminantes en los vertidos, así como prácticas de reciclaje y reuso.

ARTÍCULO 3°.- A los fines de este Decreto se entiende por:

Acuífero lenticular: Acuífero de desarrollo local y completamente aislado o cerrado por todos lados con una roca impermeable.

Acuífero no aprovechable: Acuífero cuya calidad no permite su aprovechamiento para consumo humano o actividades agropecuarias de una manera económicamente viable.

Acuífero de un yacimiento de petróleo: Parte de una misma formación geológica que contiene hidrocarburos, saturada con agua. En el caso de acumulación de petróleo, el acuífero puede encontrarse por encima o por debajo de las acumulaciones de petróleo, dependiendo de la densidad del mismo.

Aguas residuales: Aguas utilizadas provenientes de una comunidad, industria, granja, hospitales, buques u otro establecimiento.

Bioacumulación: Proceso a través del cual una sustancia química, es incorporada por un organismo vivo en sus tejidos, vía difusión, inhalación o ingestión; aumentando gradualmente su concentración dentro de dicho organismo, por ser su tasa de incorporación mayor que la tasa de eliminación.

Calidad de un cuerpo de agua: Características físicas, químicas y biológicas de las aguas naturales que determinan su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos.

Carga másica: Cantidad total, en términos de masa, de contaminante descargado por unidad de tiempo.

Caudal de diseño de control: Caudal específico seleccionado en un curso de agua para servir de base al diseño de control de la contaminación del mismo.

Contaminación de las aguas: Acción o efecto de introducir sustancias, compuestos o formas de energía capaces de modificar las condiciones de un cuerpo de agua superficial o subterráneo de manera que se altere su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

Descarga continua: Vertimiento de efluentes líquidos sin interrupción de flujo.

Descarga eventual: Vertimiento de efluentes provenientes de procesos continuos, discontinuos o puntuales, que ocurre en periodos superiores a tres meses entre descargas o en localidades diferentes en el caso de actividades moviles. de forma esporádica, entendiendose este por un periodo superior a tres meses entre las descargas. De igual forma se aplica a las actividades intenerantes que descargan de forma puntual en diferentes localizaciones.

Descarga subacuática: Descarga de aguas residuales, crudas o tratadas, desde la costa hasta un punto final de vertido en el fondo de un sector costero marino, fluvial o lacustre, mediante una tubería o conducto.

Elemento tóxico: Agente o material capaz de producir una respuesta adversa (efecto) en un sistema biológico, ocasionando alteraciones, serios daños en su estructura, funcionamiento o la muerte.

Efecto tóxico agudo: Efecto que ocurre rápidamente, como resultado de exposiciones de relativa corta duración (generalmente menores de 96 horas), a un elemento tóxico, sustancia o mezcla de sustancias. El efecto más común medido en organismos acuáticos es la letalidad.

Efecto tóxico crónico: Efecto que ocurre como consecuencia de exposiciones sucesivas o constantes a un elemento tóxico, sustancia o mezcla de sustancias, durante períodos de tiempo relativamente largos. Los efectos más comunes registrados son fisiológicos, bioquímicos, histológicos y de comportamiento.

Índice de calidad de Agua (ICA): Unidad de medida de la calidad del agua que asocia un número de parámetros según una ecuación de agregación definida. Generalmente se expresa como un porcentaje de la calidad deseada, basada en ponderación de importancia, en donde valores cercanos a 100 reflejan una condición excelente.

Línea de costa marina: La franja comprendida entre la línea de separación agua-tierra durante la ocurrencia de marea alta y la línea de profundidad de tres metros, medida durante el período de marea baja.(revisar, Henry lo averiguar)

Población equivalente (PE): Forma de expresar la carga de un contaminante generado por una actividad productiva en términos de personas que serian capaces de producir el mismo efecto. Las conversiones de carga orgánica a PE se basarán en una contribución de 54 g de $DBO_{5,20}$/persona/día, las de carga microbiana en $200x10^9$ organismos coliformes/persona/día y la carga de sólidos suspendidos en 90 g/persona/día.

Toxicidad: Capacidad o potencialidad de una sustancia para producir efectos adversos o nocivos a los organismos vivos.

Vertido de efluente líquido: Descarga de aguas residuales que se realiza directa o indirectamente a los cuerpos de agua mediante canales, desagües o drenajes de agua, descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a la red de cloacas, descarga al medio marino-costero y descargas subacuáticas.

Yacimiento de petróleo: Formación geológica porosa y permeable, denominada roca recipiente que, cubierta por una roca impermeable denominada "techo", contenga petróleo o gas, o ambas cosas y esté deformada u obstruida en forma tal que el petróleo y el gas queden entrampados.

Zona de mezcla térmica: Área donde se mezcla una descarga de temperatura diferente a la del cuerpo de agua receptor, generándose un proceso de difusión térmica, hasta alcanzar la temperatura promedio del cuerpo receptor. Su dimensión está determinada por las características de cada descarga y del cuerpo receptor en particular.

CAPITULO II
De la Calidad de las Aguas
SECCIÓN I
De gestión de conservación de las aguas

ARTICULO 4°.- A los fines de la gestión de la conservación y control de la calidad de los cuerpos de agua, el Ejecutivo Nacional, por organo del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, los clasificará con el fin de controlar, mantener y mejorar la calidad del agua, de tal manera de no comprometer los usos actuales y potenciales y establecerá las reglas específicas a las que se sujetará su manejo en cada caso.

ARTÍCULO 5°.- A los fines de estas normas el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales clasificará los cuerpos de agua o sectores de estos atendiendo a sus usos actuales y potenciales, para lo cual deberá establecer un sistema de manejo de información, pudiendo utilizar como herramienta de gestión y seguimiento los Índices de Calidad del Agua – ICA.

ARTÍCULO 6°.- La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de éstos, se utilizará sólo a efectos de la gestión de la calidad de las aguas, para garantizar sus usos mediante el control de los vertidos de efluentes líquidos. Esta clasificación atenderá a una condición de la calidad de los cuerpos de agua o sectores de éstos, reconociendo que la mejor calidad es aquella que permite la mayor cantidad de usos ambientales y sociales, los cuales se ven restringidos a medida que la calidad disminuye.

ARTICULO 7°.- La clasificación de cada cuerpo de agua o sectores de éstos se realizará mediante Decreto, atendiendo a un orden de prioridades que determinará el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Los cuerpos de agua que no hayan sido clasificados se regirán por las disposiciones generales establecidas en este Decreto.

ARTICULO 8°.- El Ejecutivo Nacional, por órgano del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, podrá diseñar planes maestros de control y manejo de la calidad de las aguas, específicos para cada cuenca hidrográfica en el territorio nacional, a los fines de mejorar o preservar la calidad de un determinado cuerpo de agua o de parte de éstos.

Los planes se formularán atendiendo a los siguientes criterios:

a) Relaciones causa - efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas.
b) Alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros.

c) Condiciones en que se permitirán los vertidos de efluentes, presentes y futuros, incluyendo los límites de carga másica permisible para cada fuente contaminante.

d) Normas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de la calidad de las aguas.

SECCIÓN II
De los criterios de calidad para el uso del agua

ARTICULO 9°.- A los fines de orientar el uso o reuso del agua y para clasificar los cuerpos de agua, se establecen los criterios de calidad.

ARTICULO 10°.- Los usos asociados con la clasificación del agua establecidos en el artículo 5° son:

TIPO DE AGUA	USOS ASOCIADOS
EXCELENTE O CLASE 1	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remocion de piel, riego de cultivos arboreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
MUY BUENA O CLASE 2	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remocion de piel, riego de cultivos arboreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
BUENA O CLASE 3	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, recreación de segundo contacto, riego de cultivos arboreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
ACEPTABLE O CLASE 4	Armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.

Las Aguas salobres cuya salinidad esta entre 0.5 ‰ y 30 ‰ **y las aguas saladas de salinidades iguales o superiores** a 30 ‰ **podran ser excelentes, muy buenas, buenas o aceptables, de acuerdo a los criterios establecidos en esta normativa, sin considerar los parametros relativos a salinidad ni los usos destinados a riego.**

ARTICULO 11.- Algunos de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que definen los criterios para cada uso se presentan a continuación:

1. **Aguas de calidad excelente o clase 1.** son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,01 mg/l
Bario total	0,7 mg/l
Berilio	0,004 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cadmio total	0,003 mg/l
Calcio	200 mg/l
Cianuro total	0,07 mg/l
Cloruros	300 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1 mg/l
Fenoles	0,003 mg/l
Fluoruros	<1,5 mg/l
Hidrocarburos	*Ausentes*
Hierro	1 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 5 mg/l
pH	6,5 -8,5
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,01 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio	140 mg/l
Sólidos disueltos totales	1300 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Parámetro	Límite o rango máximo
Compuestos orgánicos	
Biocidas Organoclorados	0,02 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Aspectos biológicos	
Coliformes totales (*)	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 1000 organismos /100ml
Coliformes fecales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 75 organismos /100ml
Enterococos	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 25 organismos /100ml
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l
Actividad β	1,0 Bq/l

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

(**) Aplica sólo a aguas salobres o saladas.

2. **Aguas de calidad muy buena o clase 2.** Son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Limite o rango máximo
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	0,7 mg/l
Bicarbonatos	370 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cadmio total	0,003 mg/l
Calcio	200 mg/l
Carbonatos	5 mg/l

Parámetro	Limite o rango máximo
Cianuro total	0,07 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Conductividad específica	2000 (μS/cm)
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Fenoles	0,003 mg/l
Fluoruros	< 1,5 mg/l
Hidrocarburos	*Ausentesl*
Hierro total	1,0 mg/l
Litio	2,5 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso total	0,2 mg/l
Mercurio total	0, 001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Nitratos+Nitritos	10 mg/l
Oxígeno disuelto	> 5 mg/l
pH	6,5 – 8,5
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Sodio	140 mg/l
Sólidos totales disueltos	1300 mg/l
Selenio	0,02 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Potasio	20 mg/l
Coliformes totales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 1000/100ml
Coliformes fecales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 100/100 ml
Enterococos fecales	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 35/100ml

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

(**) Aplica sólo a aguas salobres y salinas.

3. Aguas de calidad buena o clase 3. Son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Limite o rango máximo
Aluminio	1,0 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Bicarbonatos	370 mg/l
Boro	1,0 mg/l
Cadmio total	0,005 mg/l
Calcio	200 mg/l
Carbonatos	5 mg/l
Cianuro total	0,2mg/l
Cloruros	250 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Fluoruros	< 1,5 mg/l
Hierro total	5,0 mg/l
Hidrocarburos	Sin película visible
Litio	2,5 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso total	0,2 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,2 mg/l
Oxígeno disuelto	>5 mg/l o al 60% del valor de saturación
pH	6,5 – 8,5
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,05 mg/l
Sólidos totales disueltos	1300 mg/l
Selenio	0,02 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Potasio	20 mg/l
Coliformes totales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras

Parámetro	Limite o rango máximo
	menor a 1000/100ml
Coliformes fecales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 100/100 ml

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Aguas de calidad aceptable o clase 4. Son aquellas cuyas características correspondan a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	1,5 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobre total	2 mg/l
Cromo total	0,5 mg/l
Detergentes	1 mg/l
Fenoles	0,3 mg/l
Fluoruros	<1,5 mg/l
Hierro	5 mg/l
Hidrocarburos	Sin película visible
Mercurio total	0,001 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 2 mg/l
pH	3,8 -10,5
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Compuestos orgánicos	
Biocidas Organoclorados	0,2 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Aspectos biológicos	
Colformes totales (*)	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 20000 organismos /100ml
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l
Actividad β	1,0 Bq/l

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

CAPITULO III
Del control de los vertidos de efluentes líquidos

SECCION I
De las actividades sujetas a control

ARTICULO 12.- Las actividades que se someterán a la aplicación de este Decreto, de acuerdo a la "Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas de las Naciones Unidas", son las siguientes:

División	Agrupación	Grupo	Título
11	111	1110	Producción agropecuaria.
21	210	2100	Explotación de Minas de Carbón
22	220	2200	Producción de Petróleo Crudo y Gas Natural.
23	230	2301	Extracción de mineral de hierro
		2302	Extracción de minerales no ferrosos
29	290	2901	Extracción de piedra, arcilla y arena.
		2902	Extracción de minerales para fabricación de abonos y elaboración de productos químicos.
		2903	Explotación de minas de sal
		2909	Extracción de minerales
31	311	3110	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas.
		3111	Matanza de ganado y preparación y conservación de carne.
		3112	Fabricación de productos lácteos
		3113	Envasado y conservación de frutas y legumbres.
		3114	Elaboración de conservas de pescado, crustáceos y otros productos marinos.
		3115	Fabricación de aceites y grasas, vegetales y animales.
		3118	Fábrica y refinería de azúcar.
		3121	Elaboración de productos alimenticios diversos.

			3122	Elaboración de alimentos preparados para animales.
	313		3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas.
			3132	Industrias vinícolas
			3133	Fabricación de cerveza, bebidas malteadas y maltas.
			3134	Industrias de bebidas no alcohólicas y agua gaseosas.
	314		3140	Industria del tabaco.
32	321		3211	Hilado, tejido y acabado de textiles.
	323		3231	Curtidurías y talleres de acabado
			3232	Industria de la preparación y teñido de pieles.
34	341		3411	Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón.
			3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón.
35		351	3511	Fabricación de sustancias químicas industriales básicas, excepto abonos.
			3512	Fabricación de abonos y plaguicidas.
			3513	Fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras artificiales, excepto el vidrio.
		352	3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas.
			3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos.
			3523	Fabricación de jabones y preparación de productos de limpieza, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador.
			3529	Fabricación de productos químicos no especificados.
		353	3530	Refinación de petróleo.
		354	3540	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón.
		355	3559	Fabricación de productos de caucho no especificados.
			3560	Fabricación de productos plásticos no especificados.
36		362	3620	Fabricación de vidrio y productos del vidrio.
		369	3692	Fabricación de cemento, cal y yeso.
37		371	3710	Industrias básicas de hierro y acero.

	372	3720	Industrias básicas de metales no ferrosos.
38	381	3819	Fabricación de productos metálicos estructurales no especificados, exceptuando maquinaria y equipo.
	384	3841	Construcciones navales y reparaciones de naves.
		3843	Fabricación de vehículos automóviles.
41	410	4101	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
42	420	4200	Obras hidráulicas y suministro de agua.
63	632	6320	Hoteles.
71	711	7115	Transporte por oleoductos o gasoductos.
	712	7123	Servicios relacionados con el transporte por agua.
	719	7192	Depósito y almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados.
92	920	9200	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares
94	949	9490	Servicios de diversión y esparcimiento.
	952	9520	Establecimientos de lavandería, teñido y prelavado.
95	959	9592	Laboratorios fotográficos, incluida la fotografía comercial.

Adaptado de CIIU, Serie M, N° 4, Rev. 2, 1969

Quedan además sujetas al cumplimiento de las disposiciones contenidas en este Decreto, aquellas actividades que aparecen enunciadas en la parte III referente a la clasificación detallada propuesta en la "Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas de las Naciones Unidas (CIIU), Serie M, N° 4, Rev. 2, 1969", prevista en este artículo.

ARTICULO 13.- Quedan también sujetas a las disposiciones contenidas en este Decreto, las actividades que generen efluentes líquidos no incluidas en la lista del artículo anterior, que se señalan a continuación:

a) Actividades cuyos vertidos contengan alguno de los elementos tóxicos o nocivos indicados en el Grupo I del artículo 11.
b) Actividades cuyos vertidos de efluentes superen una Población Equivalente (PE) de 1000 personas en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$), sólidos suspendidos o carga microbiana.

c) Actividades cuyos vertidos de efluentes estén afectando desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o de captación de agua para el consumo humano, animal o para riego. Esta condición deberá ser demostrada mediante informe técnico con las respectivas caracterizaciones del efluente líquido y del cuerpo de agua; realizados por especialistas en la materia y laboratorios registrados en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

ARTICULO 14.- Serán objeto de un control especial las actividades contenidas en los artículos 12 y 13 del presente Decreto, cuyos efluentes se encuentren por debajo de una población equivalente de 1000 PE en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$), sólidos suspendidos o carga microbiana, que no afecten desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o de captación de agua para el consumo humano, animal o riego. Esta condición deberá ser demostrada mediante informe técnico, con las respectivas caracterizaciones del efluente y del cuerpo de agua, realizadas por especialistas en la materia y laboratorios registrados en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

SECCION II
De la clasificación de los constituyentes en los efluentes líquidos

ARTICULO 15.- Los constituyentes de los efluentes líquidos se agrupan en dos categorías:

I.- GRUPO I: Sustancias para las cuales existe evidencia teórica o práctica de su efecto tóxico, agudo o crónico, de persistencia o de bioacumulación:

1. Compuestos organohalogenados tóxicos y sustancias que puedan dar origen a compuestos de este tipo en el medio acuático.
2. Sustancias cancerígenas.
3. Hidrocarburos.
4. Metaloides, metales y sus compuestos de la siguiente lista: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio, Telurio, Titanio, Uranio, Vanadio y Zinc.
5. Biocidas y sus derivados (Organofosforados, Organoclorados y Carbamatos).
6. Compuestos organosilísicos tóxicos o persistentes.
7. Cianuros, fenoles y fluoruros.
8. Sustancias radiactivas
9. Sustancias sintéticas persistentes que puedan flotar, permanecer suspendidas o sedimentar perjudicando cualquier uso de las aguas.

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

1. Materia orgánica carbonácea expresada en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)
2. Compuestos inorgánicos del fósforo y fósforo elemental
3. Compuestos orgánicos no tóxicos del fósforo
4. Compuestos orgánicos e inorgánicos del nitrógeno
5. Cloruros
6. Sulfatos
7. Detergentes
8. Dispersantes
9. Sólidos suspendidos totales que no contengan elementos tóxicos
10. Color
11. Temperatura
12. pH
13. Organismos coliformes
14. Aceites y grasas

ARTICULO 16.- Los límites de descarga del primer grupo de constituyentes, señalados en el Artículo 15, deberán cumplirse, sin excepción, para todas las descargas a cuerpos de agua, medio marino-costero y subacuatico, redes de cloacas y para disposición directa sobre el suelo. Asimismo, deberán cumplirse para la infiltración en el subsuelo, salvo en los casos expresamente previstos en estas Normas. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales determinará los límites para sustancias que no los tengan fijados, en función de los estudios que presente el administrado.

ARTICULO 17.- Los límites de descarga del segundo grupo de constituyentes, señalados en el Artículo 15, podrán ajustarse a las características actuales del receptor, sujetas a las restricciones que imponga la capacidad de asimilación de éste, aplicando como criterio general que las descargas no alteren la calidad del mismo. En los casos de cuerpos de agua sujetos a una clasificación la calidad de las aguas estará definida por los parámetros que correspondan según el uso a que hayan sido destinadas. El control de estos parámetros se efectuará con base en límites de cargas másicas, en kg/d o en kg de constituyente/unidades de producción (expresadas en la unidad que aplique a cada caso particular).

SECCION III
De las descargas a cuerpos de agua

ARTICULO 18.- A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de los efluentes líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses; siempre y cuando el cuerpo de agua objeto de la descarga no haya sido clasificado ni posea una reglamentación específica sobre vertidos líquidos.

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Aceites y grasas	20 mg/l
Aluminio	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros (ríos, lagos y embalses)	500 mg/l
Cloruros (en estuarios)	2000 mg/l
Cobre total	2,0 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Coliformes totales	1000 organismos /100ml
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Fenoles y sus derivados	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total	10,0 mg/l (5,0 mg/l)**
Hierro total	10 mg/l
Hidrocarburos	20 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel	2,0 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l (20 mg/l)**
Nitritos + nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Sulfatos (en ríos, lagos y embalses)	500 mg/l
Sulfatos (en estuarios)	1000 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas Organoclorados	0,05 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

** Los valores entre paréntesis corresponden a los límites de cumplimiento para vertidos de efluentes líquidos en ríos tributarios a embalses o directamente en éstos, que sean utilizados como fuente de abastecimiento para agua potable

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales definirá, previa justificación y conforme a la evaluación de la propuesta y del estudio técnico que presente el solicitante, la zona de mezcla térmica en la cual se podrá permitir la descarga de un efluente con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. En ríos la variación de la temperatura media de la zona de mezcla, comparada con la temperatura aguas arriba del vertido del efluente líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia de temperatura del efluente líquido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

ARTICULO 19.- El Ejecutivo Nacional, mediante Decreto, podrá establecer límites diferentes para los vertidos de efluentes líquidos a determinados cuerpos de agua, en función de sus características específicas. Igualmente, podrá fijar el caudal de diseño de control para cada curso de agua receptor y condiciones especiales para determinadas épocas del año, conforme a la variación de las condiciones de caudal por cada período estacional, y límites de efluentes líquidos para determinados sectores industriales en los parámetros que les sean relevantes, sujetos a las restricciones adicionales que imponga la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor.

ARTICULO 20.- Las descargas subacuaticas se harán a una profundidad y distancia tal que se logre una rápida dilución inicial y una satisfactoria difusión y asimilación por el medio receptor. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales establecerá en la autorización correspondiente, las condiciones particulares para las descargas subacuáticas. A tales efectos, los interesados presentarán un estudio de

impacto ambiental y socio cultural, que contemple lo siguiente, en los casos en que aplique:

1. Uso actual y potencial del cuerpo de agua receptor
2. Descripción de las características de la tubería y efluentes a descargar.
3. Estudios sobre la calidad físico-química y bacteriológica del agua en el área de influencia de la descarga.
4. Estudio batimétrico y de corrientes subacuáticas y superficiales en el sitio de la descarga.
5. Configuración y morfología de la línea de costa.
6. Características hidrográficas.
7. Geología de la zona.
8. Difusión horizontal y vertical estimada y posible estratificación del campo de aguas residuales.

Realmente se trata de estratificación del campo de aguas servidas? Nos causa un poco de ruido, debido a que la estratificación, debería ser del cuerpo de agua, ya sea causado por la entrada del agua residual (estratificación hidráulica), térmica o química.

SECCION IV
De las descargas al medio marino-costero

ARTICULO 21.- A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de los efluentes líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, al medio marino-costero; siempre y cuando el cuerpo de agua objeto de la descarga no haya sido clasificado y posea una reglamentación específica sobre vertido de efluentes líquidos.

Parámetros	**Límite o rango de cumplimiento**
Aceites y grasas	20 mg/l
Aluminio	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	2,0 mg/l
Coliformes totales	1000 organismos /100ml
Cromo Total	0,5 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno	350 mg/l

Parámetros	**Límite o rango de cumplimiento**
Detergentes	2,0 mg/l
Fenoles y sus derivados	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total	10,0 mg/l P
Hidrocarburos	20 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Niquel	2,0 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l N
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas Organoclorados	0,05 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales definirá, previa justificación y conforme a la evaluación de la propuesta y del estudio técnico que presente el solicitante, la zona de mezcla térmica en la cual se podrá permitir la descarga de un efluente con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. La variación de temperatura media en la zona de mezcla térmica, comparada con la temperatura media del medio marino - costero receptor, no debe ser mayor de 3°C.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales podrá establecer una variación de temperatura distinta a la establecida en este artículo, ajustada a los niveles de termotolerancia de los organismos existentes en el ecosistema a ser afectado, de conformidad con los resultados de los estudios técnicos pertinentes.

ARTICULO 22.- Quienes realicen operaciones de explotación o exploración petrolera en la Plataforma Continental y la Zona Económica Exclusiva, dispondrán

de los sistemas necesarios para evitar la descarga de hidrocarburos o la mezcla de ellos, al medio marino.

SECCION V
De la descargas a redes de cloacas

ARTÍCULO 23.- A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de los efluentes líquidos que sean o vayan a ser descargados, a las redes de cloacas.

Parámetros	**Límite o rango de cumplimiento**
Aceites y grasas	70 mg/l
Aluminio	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobre total	2,0 mg/l
Cloruros	750 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cromo total	0,5 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$)	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno	900 mg/l
Detergentes	8,0 mg/l
Fenoles y sus derivados	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total	10,0 mg/l P
Hidrocarburos	20,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Niquel	2,0 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l
Nitritos + Nitratos	10 mg/l N
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Zinc	10,0 mg/l

Parámetros	**Límite o rango de cumplimiento**
Biocidas Organoclorados	0,05 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

SECCION VI
De las descargas o infiltración en el subsuelo

ARTICULO 24.- Se prohibe la descarga, infiltración o inyección en el suelo o en el subsuelo de efluentes líquidos, cuyo contenido de sustancias pertenecientes al Grupo I, especificadas en el artículo 15, superen los límites establecidos en el artículo 18 de este Decreto.

ARTICULO 25.- Se exceptúa de lo dispuesto en el artículo anterior a las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación de hidrocarburos en acuíferos no aprovechables y yacimientos de petróleo, en los siguientes casos:

A.- En acuíferos no aprovechables: se permitirá, previo análisis técnico, económico y ambiental de alternativas, cuando se trate de:

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

La inyección se efectuará cumpliendo las siguientes condiciones:

A.1. La profundidad del intervalo receptor deberá ser mayor de 200 m por debajo de la base del acuífero aprovechable más profundo. La separación entre el acuífero aprovechable y no aprovechable debe contener como mínimo una capa impermeable con un espesor de por lo menos 30 metros o una capa semipermeable de por lo menos 200 m.

A.2. Acuíferos receptores con barreras impermeables supra e infrayacentes de espesor no menor de 2 m cada una, litológicamente constituídas con

material arcilloso, lutítico o equivalente, que impidan el movimiento vertical del fluido inyectado.

A.3. Condiciones petrofísicas (permeabilidad, porosidad y cantidad de arcilla) y de espesor y desarrollo lateral de la capa de almacén que garanticen la inyección sin exceder la presión de fractura de las barreras impermeables ni limiten la capacidad de almacenamiento del volumen de lodo planificado para la inyección. A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

a) Permeabilidad: mayor de 50 milidarcy.
b) Cantidad de arcilla: menor de 15%.
c) Porosidad: mayor de 12%.
d) Espesor de la capa almacén: mayor a 3 metros.

A.4. La extensión lateral del intervalo receptor debe ser lo suficientemente amplia para minimizar las presiones de inyección y evitar avance del frente hacia áreas de descarga.

A.5. El fluido inyectado debe ser compatible con las aguas de formación y minerales presentes en el intervalo receptor, bajo condiciones naturales o a través de tratamiento para evitar taponamiento y desarrollo de presiones excesivas.

A.6. El movimiento lateral del fluido en el intervalo receptor debe ser suficientemente lento bajo condiciones naturales para evitar desplazamiento de efluentes fuera del área de inyección.

A.7. Sellos de cemento entre el revestimiento y la formación que eviten la migración del fluido inyectado hacia el acuífero aprovechable más profundo.

A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

a) Longitud mínima de 30 m para el sello supra yacente del intervalo receptor.
b) Longitud mínima de 200 m para el sello de la base del acuífero aprovechable más profundo.

A.8. Se debe mantener la integridad mecánica del pozo inyector

B. En yacimientos de petróleo y acuíferos asociados: cuando se trate de aguas de formación, aguas residuales de procesos de producción de crudos, lodos

de perforación, hidrocarburos o desechos de hidrocarburos. Las condiciones para la inyección se fijarán de acuerdo a las características de cada yacimiento.

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

ARTICULO 26.- Las actividades de descargas, infiltración o inyección en el suelo o subsuelo establecidas en este Capítulo quedan sujetas a la autorización previa del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. A tales efectos, los interesados presentarán ante el señalado Ministerio un estudio de impacto ambiental y socio cultural que contemple lo siguiente:

A.- Para las actividades de descargas, infiltración e inyección, que cumplan con las especificaciones del artículo 24:

1.- Identificación del solicitante y del sitio con coordenadas geográficas y UTM, en un mapa 1:25.000 de acuerdo al Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
2.- Justificación de la solicitud.
3.- Balance hídrico o caracterización hidroclimática del área a afectar
4.- Estudios sobre requerimientos hídricos y de nutrientes de la vegetación presente en el área o posibles cultivos a desarrollarse.
5.- Estudios de suelos a ser afectados (permeabilidad, porosidad y capacidad de intercambio iónico).
6.- Mapa piezométrico indicando líneas y dirección del flujo de las aguas subterráneas
7.- Características de los efluentes a ser descargadas (cantidad y calidad fisicoquímica y bacteriológica).
8.- Línea base de la caracterización físico-química de las aguas subterráneas del área a ser afectada

B.- Para las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación de hidrocarburos, contemplados en el artículo 25:

1. Identificación del solicitante y del sitio con coordenadas geográficas y UTM, en un mapa 1:25.000 de acuerdo al Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
2. Localización de la instalación para la cual se solicita el permiso.

3. Justificación de la solicitud.
4. Cantidad, calidad y variación que presenta el fluido a inyectar.
5. Características hidrogeológicas del intervalo receptor, tal como permeabilidad, cantidad de arcilla, porosidad, descripción litológica, nombre de la formación estratigráfica, espesor y extensión lateral de la capa almacén, registros de resistividad y gamma, potencial espontáneo, neutrónico y sónico donde se refleje completamente la capa receptora /almacén.
6. Características del acuífero receptor, indicando localización, calidad de las aguas.
7. Características estructurales, confinamiento y riesgo sísmico.
8. Prueba de cementación del pozo y registros que avalen la calidad de la cementación.
9. Sistema de inyección del pozo: Capacidad de inyección, carga potenciométrica, presiones de inyección, frecuencia del proceso.
10. Programa de emergencia para ser aplicado al proceso, que incluya medidas de saneamiento.
11. Plan para cumplir con los requerimientos de monitoreo de los fluídos inyectados, presiones de inyección, tasa de inyección y volumen acumulado.
12. Presión de fractura de capas confinantes del intervalo receptor.
13. Plan de taponamiento y desincorporación.

SECCION VII
Del control de otras fuentes contaminantes

ARTICULO 27.- Se prohibe:

1. El uso de sistemas de drenaje de aguas pluviales para la descarga de efluentes líquidos.
2. La descarga de desechos sólidos a los cuerpos de agua y a las redes de cloacas.
3. La dilución de efluentes con agua limpia para cumplir con los límites establecidos en el presente Decreto.
4. La descarga, en los cuerpos de agua, de aguas residuales provenientes de la limpieza de pozos sépticos y baños portátiles.
5. La descargar de efluentes considerados peligrosos, cuya disposición y tratamiento deberá realizarse bajo la normativa ambiental legal vigente aplicable

Los establecimientos que estén utilizando los sistemas de drenaje de aguas pluviales deberán adecuarse a los requisitos señalados en la sección III de este Capítulo.

ARTICULO 28.- Las aguas residuales generadas en los rellenos sanitarios -lixiviados- cumplirán con los rangos y límites establecidos en el artículo 12 de este Decreto.

ARTÍCULO 29.- Se prohíbe a todos los buques que naveguen en aguas jurisdiccionales, verter en éstas sustancias, materiales y desechos peligrosos; desechos sólidos no peligrosos, aguas residuales producidas a bordo y aguas de lastre que no cumplan con los límites establecidos en los artículos 18 y 20 de este Decreto.

ARTICULO 30.- Todo puerto deberá disponer de un sistema de recepción y tratamiento de las aguas residuales, que pueda ser utilizado por las embarcaciones que atraquen en él. Los puertos que a la fecha de publicación del presente Decreto no dispongan de estas instalaciones deberán someterse, en lo que le sea aplicable, al proceso de adecuación previsto en el Capitulo V.

CAPITULO IV
Del seguimiento y control

ARTÍCULO 31.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, a los fines a dar cumplimiento al seguimiento y control de las actividades productivas, contempladas en el artículo 12 y 13, llevará el Registro de Actividades Capaces de Degradar el Ambiente (RASDA).

ARTÍCULO 32.- Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que se propongan iniciar cualquiera de las actividades contempladas en los artículos 12 y 13, deberán inscribirse en el RASDA, del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, en la correspondiente Dirección Estadal Ambiental, antes del inicio de sus actividades. Así mismo, deberán inscribirse en este Registro las empresas en funcionamiento a la fecha de publicación de este Decreto, que no hayan cumplido con este trámite.

El RASDA deberá ser actualizado cuando ocurran cambios en: Responsable legal, ubicación, materia prima y otros insumos, procesos operacionales, productos y desechos.

ARTICULO 33.- La inscripción en el RASDA a que se refiere el artículo 32, se efectuará llenando los datos que aparecen en la planilla y conforme al instructivo anexo a la misma, la cual estará a la disposición en las oficinas regionales del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Una vez consignada la planilla, debidamente llena y cumplidos los requisitos exigidos en el mencionado instructivo, se le otorgará al administrado la correspondiente constancia de inscripción, en la cual se hará mención expresa al procedimiento a seguir para determinar la

frecuencia de presentación de las caracterizaciones de acuerdo a lo previsto en el Artículo 34 del presente Decreto.

ARTICULO 34.- Los responsables de las actividades inscritas en el RASDA, cuya descarga sea continua, deberán presentar ante el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales la caracterización de sus efluentes al menos una vez cada tres (3) meses. Para aquellas actividades cuya descarga sea eventual, la frecuencia de presentación de la caracterización será fijada por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, previa solicitud de la parte interesada, sustentada con un informe técnico realizado por especialistas en la materia y debidamente documentada.

ARTÍCULO 35.- Los parámetros a determinar en la caracterización a que se refiere el artículo 34 serán propuestos por el interesado según las características de la actividad a realizar y a partir de las listas de las secciones III, IV y V del Capítulo III del presente Decreto. Los parámetros propuestos estarán sujetos a la conformidad del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, el cual podrá modificarlos mediante acto motivado debidamente notificado al interesado En caso que se produzcan cambios en los patrones de producción de una actividad particular, éstos deberán considerarse para la determinación de los parámetros a reportar en la caracterización.

ARTICULO 36: Se exceptúan del cumplimiento de lo dispuesto en el artículo anterior, las actividades que se encuentran en proceso de adecuación, conforme a lo señalado en el Capítulo V de estas Normas y las actividades contenidas en el Artículo 14, cuyos efluentes se encuentren por debajo de una población equivalente de 1.000 PE en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO),Sólidos Suspendidos o carga microbiana, que mediante informe técnico acompañado de la respectiva caracterización del efluente y del cuerpo de agua, realizado por especialista en la materia y laboratorio registrado en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, demuestren que no afectan desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o de captación de aguas para el consumo humano, animal o riego.

ARTICULO 37.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, previa solicitud debidamente justificada de parte interesada, podrá extender la frecuencia para la presentación de la caracterización hasta una vez cada cuatro (4) meses, para aquellas actividades que hayan demostrado durante dos (2) años, a través de ocho (8) caracterizaciones consecutivas, que cumplen cabalmente con los límites de descarga.

ARTICULO 38.- Los responsables de las actividades inscritas, deberán mostrar la constancia de inscripción en el RASDA y de la caracterización o evaluación

correspondiente, a los funcionarios de guardería ambiental y las autoridades ambientales que, por razones de vigilancia y control, así lo requieran.

ARTICULO 39.- La información suministrada para los fines del RASDA será de carácter confidencial en lo relativo a la licencia industrial de producción, pero no así los datos concernientes a la caracterización de los efluentes líquidos.

CAPITULO V
Del régimen de adecuación

ARTICULO 40.- Los responsables de las actividades comprendidas en el listado del artículo 12 y en el artículo 13, que para la fecha de publicación de este Decreto no hayan alcanzado los límites de descarga establecidos en los artículos 18, 21 y 23, o no tengan aprobados cronogramas de adecuación, deberán presentar ante las correspondientes Direcciones Estadales del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, dentro de los primeros cuatro (4) meses posteriores a la fecha de entrada en vigencia de estas normas, una propuesta de adecuación de los efluentes líquidos, la cual debe incluir lo siguiente:

a) La descripción de la actividad, incluyendo la localización, insumos, tecnologías, procesos productivos, recursos humanos y servicios.

b) La descripción de los equipos y procesos generadores de los efluentes.

c) La caracterización cuantitativa y cualitativa de los efluentes generados, o en su defecto los cálculos teóricos sobre los mismos.

d) La información disponible sobre las características, cualitativas y cuantitativas, del cuerpo de agua en el área de la descarga, de estar disponible.

e) Los objetivos específicos, características, alcances y condiciones del proceso de adecuación.

f) La descripción de las acciones de adecuación a la normativa ambiental en proceso de ejecución.

g) Opciones tecnológicas o alternativas de técnicas disponibles tendientes a la reducción en la generación de efluentes, reuso y reciclaje.

h) La propuesta sobre acciones a desarrollar, presentadas de un modo cronológico, con la indicación de sus fechas de ejecución y resultados esperados del proceso de adecuación.

i) Los datos disponibles sobre la rentabilidad de la empresa o sector, que se estimen necesarios para la toma de decisiones sobre el proceso de adecuación.

j) La propuesta de un plazo definido para el traslado o clausura de la actividad ante la imposibilidad técnica o financiera para la adecuación a la normativa ambiental, de ser el caso.

ARTICULO 41.- Quienes a la fecha de publicación de estas normas tengan aprobados cronogramas de adecuación de los vertidos de efluentes líquidos a las normas ambientales, continuarán el desarrollo del cronograma aprobado. Aquellos que por dificultades técnicas o financieras no hayan completado el proceso de adecuación, podrán solicitar ante el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales la revisión de las propuestas, con la justificación detallada de las circunstancias que lo motivan y la actualización de los recaudos exigidos en el artículo anterior.

ARTICULO 42.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales evaluará la propuesta de adecuación y, en caso de no considerarla adecuada, lo comunicará al interesado para que éste efectúe las correcciones correspondientes y proceda, dentro de los treinta (30) días consecutivos siguientes a la presentación de una propuesta definitiva de adecuación.

ARTICULO 43.- Presentada la propuesta definitiva de adecuación de los vertidos de efluentes líquidos, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales realizará su evaluación y de ser procedente, autorizará la continuación temporal de la actividad y fijará las condiciones, limitaciones y restricciones bajo las cuales ésta se desarrollará, mientras dure el proceso de adecuación.

ARTICULO 44.- La propuesta de adecuación y la autorización correspondiente serán publicadas por cuenta del administrado en un diario de circulación regional en el área de influencia de la industria, a los efectos de informar a la ciudadanía y promover su participación en el seguimiento del proceso.

ARTICULO 45.- Cumplida la propuesta de adecuación, los interesados presentarán la caracterización de sus efluentes líquidos, conforme a lo establecido en el artículo 34 de estas normas.

ARTICULO 46.- El incumplimiento de los plazos señalados en los artículos 40 y 42, de las propuestas de adecuación de los efluentes líquidos y de las condiciones, limitaciones y restricciones para el desarrollo de actividades mientras dura el proceso de adecuación, por causas imputables al administrado, dará lugar al inicio del respectivo procedimiento administrativo y a la aplicación de las medidas de

seguridad establecidas en la Ley Orgánica del Ambiente, sin perjuicio de la responsabilidad penal prevista en la Ley Penal del Ambiente.

CAPITULO VI
Disposiciones finales y transitorias

ARTICULO 47.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, a solicitud de la parte interesada, podrá otorgar constancias de cumplimiento de la normativa ambiental en materia de vertidos de efluentes líquidos, a aquellas actividades inscritas en el Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente para las cuales se hayan presentado las caracterizaciones correspondientes, con resultados satisfactorios, y a quienes hayan cumplido con su proceso de adecuación.

ARTÍCULO 48.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales podrá autorizar por un período no mayor de un año, pruebas para la operación inicial de procesos o de equipos para el control del vertido de efluentes líquidos.

ARTICULO 49.- En casos de vertidos de efluentes líquidos imprevisibles en violación de estas Normas por situaciones de emergencia o de paradas de plantas no programadas, los responsables de la actividad lo notificarán al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales a la brevedad posible y activarán los planes de emergencia o contingencia a que haya lugar. Cuando se trate de paradas por mantenimiento planificadas, el interesado notificará al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales con tres (03) meses de anticipación, a objeto de fijar las condiciones de operación y tomar las medidas que sean pertinentes.

ARTÍCULO 50.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales llevará un Registro de Laboratorios Ambientales cuyas instalaciones y funcionamiento estén debidamente adecuados para efectuar, con un máximo de garantías, la captación y análisis de las muestras de efluentes líquidos.

A los efectos de este Decreto, sólo estarán autorizados para realizar las caracterizaciones de los efluentes líquidos los laboratorios cuya inscripción en el Registro de Laboratorios Ambientales esté vigente a la fecha de realización de las respectivas caracterizaciones.

A los efectos del control de los Laboratorios Ambientales, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales llevará el "Programa de Verificación de la Calidad Analítica de los Laboratorios Ambientales", cuyo costo será sufragado por dichos establecimientos.

Los Laboratorios Ambientales a que se refiere este artículo, llevarán a cabo todas las acciones de captación, preservación y análisis de las muestras mediante los procedimientos descritos en las Normas Venezolanas Covenin o, en su defecto, en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", publicado por la American Public Health Asociation, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, en su más reciente edición, u otro método equivalente aprobado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

ARTÍCULO 51.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales podrá ordenar la aplicación de las medidas de seguridad que sean necesarias para el control de aquellas actividades que por las características o peligrosidad de sus efluentes líquidos, así lo ameriten.

A los efectos señalados en este artículo, se dará prioridad en la apertura de los procedimientos a las empresas que no estén inscritas en el RASDA

ARTÍCULO 52.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y los responsables de las actividades generadoras de efluentes líquidos podrán suscribir convenios para la formulación y ejecución de programas dirigidos a la internalización del costo ambiental derivado de los efectos generados en el área de influencia de sus descargas.

ARTÍCULO 53.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, a los fines de lograr la participación de la comunidad, propiciará la creación de Juntas Asesoras Regionales y Locales para el seguimiento de las acciones de control de la calidad de las aguas. Dichas Juntas estarán integradas por representantes designados por el Ministerio de Salud y Desarrollo Social, Ministerio de la Defensa, Ministerio de Infraestructura, los ejecutivos estadales, alcaldías, corporaciones regionales de desarrollo, empresas encargadas de los servicios de agua potable y saneamiento, universidades, comunidad organizada, asociaciones de industriales y comerciantes y sindicatos.

ARTÍCULO 54.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales practicará las visitas, inspecciones y comprobaciones que sean necesarias para verificar el adecuado cumplimiento de las disposiciones contenidas en estas normas.

ARTÍCULO 55.- Los costos de las inspecciones y comprobaciones realizados con motivo de solicitudes presentadas por los administrados, serán sufragados por éstos, mediante aportes a los Servicios Autónomos del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

ARTICULO 56.- La Comisión Nacional de Normas Ambientales, creada por decreto Nº 2.014 de fecha 26 de septiembre de 2002, publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.563 de fecha 5 de noviembre 2002, mantendrá un proceso de revisión y evaluación de las disposiciones técnicas contenidas en estas Normas, a los efectos de su mayor conformidad con la realidad ambiental y socioeconómica del país y en atención a la dinámica científica y técnica.

ARTICULO 57.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales hará una amplia difusión de las presentes normas a través de las Asociaciones Gremiales, Cámaras de Industriales y Comerciantes, Asociaciones de Vecinos y demás Comunidades Organizadas interesadas en su cumplimiento, a fin de transmitir la importancia del control de los efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático como una forma de preservar y mejorar la calidad de las aguas, para proteger la salud y bienestar de la población.

ARTICULO 58.- Se deroga el Decreto No. 883 de fecha 11 de Octubre de 1995, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela Nº 5.021 Extraordinario de fecha 18 de Diciembre de 1995.

ARTICULO 59.- El o la Ministro (a) del Ambiente y de los Recursos Naturales queda encargado (a) de la ejecución del presente Decreto.

Dado en Caracas a..... Año ... de la Independencia y ..... de la Federación.

REFRENDADO:

HUGO CHAVEZ

Exposición de motivo

Chicos, esto es material que podríamos utilizar para hacer la exposición de motivos.

A los fines de la gestión de conservación y mantenimiento de la calidad de los cuerpos de agua, el Ejecutivo Nacional deberá mantener una situación de equilibrio entre los usos y las descargas, reconociendo la existencia de cuerpos de aguas receptoras sensibles, debido a su susceptibilidad a la degradación por descargas de

actividades humanas o una frágil situación biológica o ecológica; a través de establecimiento del sistema de gestión de la calidad del agua nacional.

Introducción del uso del ICA... El ICA permitirá obtener la calidad de cuerpos de agua receptor en función del uso actual y evaluará su variación a los usos definidos sobre ella por el Ejecutivo Nacional.

ARTICULO 3°.- A los fines de la gestión de conservación y mantenimiento de la calidad de los cuerpos de agua, el Ejecutivo Nacional deberá mantener una situación de equilibrio entre los usos y las descargas, reconociendo la existencia de cuerpos de aguas receptoras sensibles, debido a su susceptibilidad a la degradación por descargas de actividades humanas o una frágil situación biológica o ecológica; a través de establecimiento del sistema de gestión de la calidad del agua nacional.

ARTICULO 4°.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, para definir la gestión de conservación, clasificará los cuerpos de agua o sectores de éstos a nivel nacional, a través de la aplicación de índices de calidad de agua (ICA), como un mecanismo de evaluación de las condiciones actuales de los cuerpos de aguas, de forma clara, precisa y concisa. Para ello deberá establecerse un sistema de manejo de información.

ARTICULO 5°.- El ICA permitirá obtener la calidad de cuerpos de agua receptor en función del uso actual y evaluará su variación a los usos definidos sobre ella por el Ejecutivo Nacional.

ARTICULO 6°.- En aquellos casos donde el ICA cumpla con la calidad establecida, el control del vertido de efluentes líquidos será para mantener el nivel de calidad existente. En aquellos casos donde el ICA no cumpla con la calidad establecida, el control del vertido de efluentes líquidos tendrá como meta la restricción de las descargas para alcanzar el equilibrio.

ARTICULO 7°.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, hará uso del ICA anualmente como herramienta de gestión y seguimiento, identificando así las prioridades nacionales y determinando la efectividad de las estrategias y acciones implantadas para el mejoramiento de los cuerpos de agua. Esta clasificación o resultados de la aplicación de los ICA, podrá ser publicado mediante resoluciones ministeriales anualmente.

La gestión de los vertidos de efluentes líquidos estará basada en la promoción de la aplicación de tecnologías y técnicas disponibles, tendientes a la reducción en la generación de efluentes, el reuso de aguas de producción y el reciclaje.
Basado en los criterios de calidad de agua y especificaciones técnicas de los sistemas productivos, podrán acondicionarse las descargas de forma tal que sean aprovechables.

Anexo II: Lista de Chequeo Consulta a Experto







FORMATO DE CONSULTA A EXPERTO (Lista de Chequeo)

Fecha: _____

Experto: _____

Especialización: _____

Años de Experiencia: _____

1. Conoce las arenas de producción Si ☐ No ☐
2. Conoce las características principales de éstas Si ☐ No ☐
3. Conoce como se manejan y disponen Si ☐ No ☐
4. Conoce las características del área de Manglar del Delta del Orinoco Si ☐ No ☐
5. Conoce las instalaciones del campo Pedernales Si ☐ No ☐

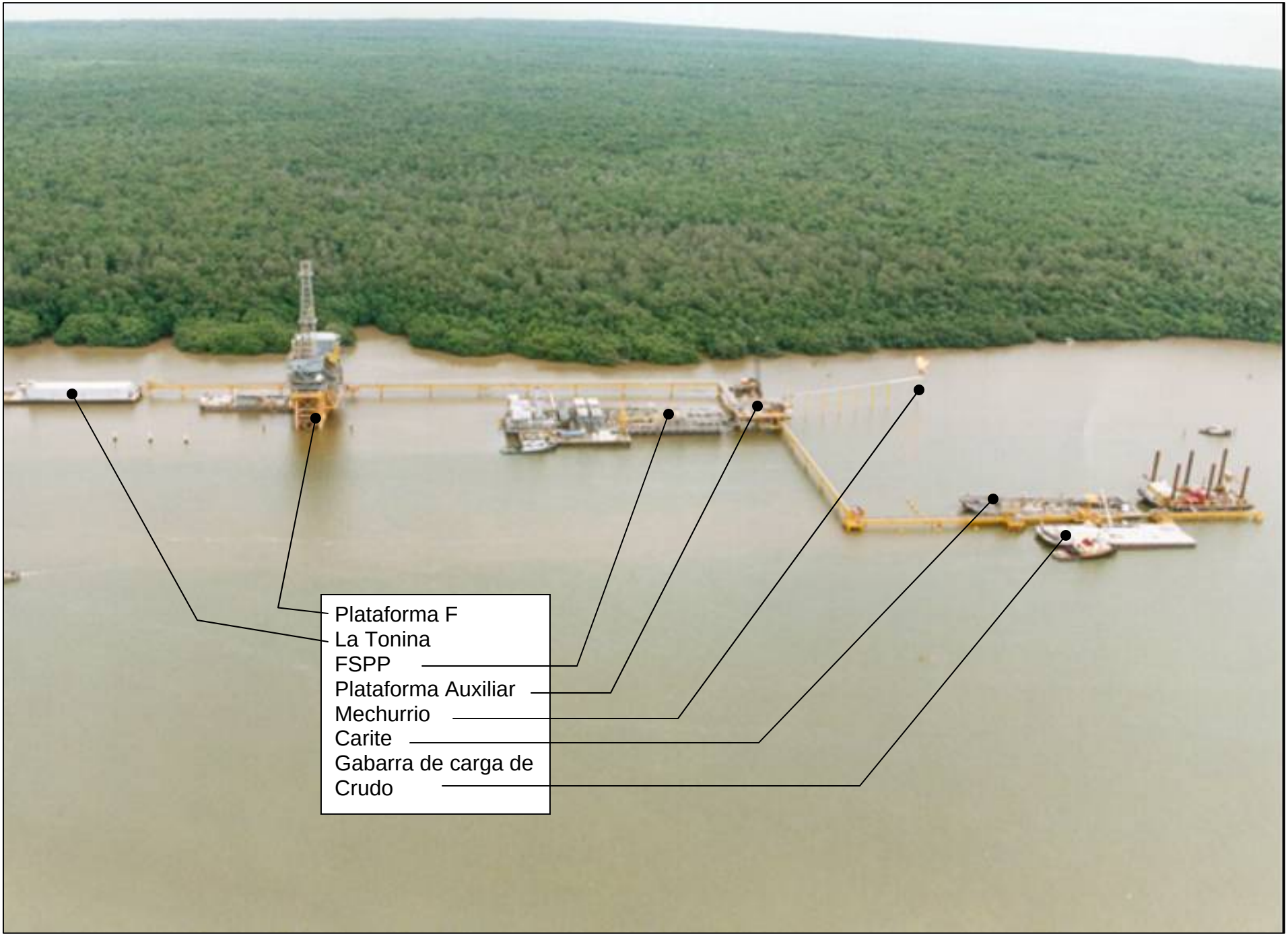
6. Cómo afectaría la descarga de las arenas de producción al medio deltano
7. Cuáles variables físicas y biológicas son más sensibles a un derrame accidental de las arenas de producción
8. Qué parámetros físicos y biológicos son los más adecuados para medir el grado de afectación de un derrame de arenas de producción
9. En que grado mejoraría el evento si las arenas fueran pre-tratadas y limpias de hidrocarburos
10. Considera conveniente un proceso de pre-tratamiento de las arenas de producción previo a su descarga
11. Si el pre-tratamiento garantiza fracciones de hidrocarburo por debajo de 1% en base al volumen, y no se detectan otros compuestos contaminantes (metales), recomendaría la descarga de las arenas de producción pre-tratadas al caño
12. Que pruebas de laboratorio exigiría para permitir la descarga de arenas pre-tratadas al Caño Pedernales
13. Cuales variables de medición son más efectivas para medir el potencial de contaminación
14. Que opina de la investigación
15. Que sugiere para incrementar el valor agregado de ésta

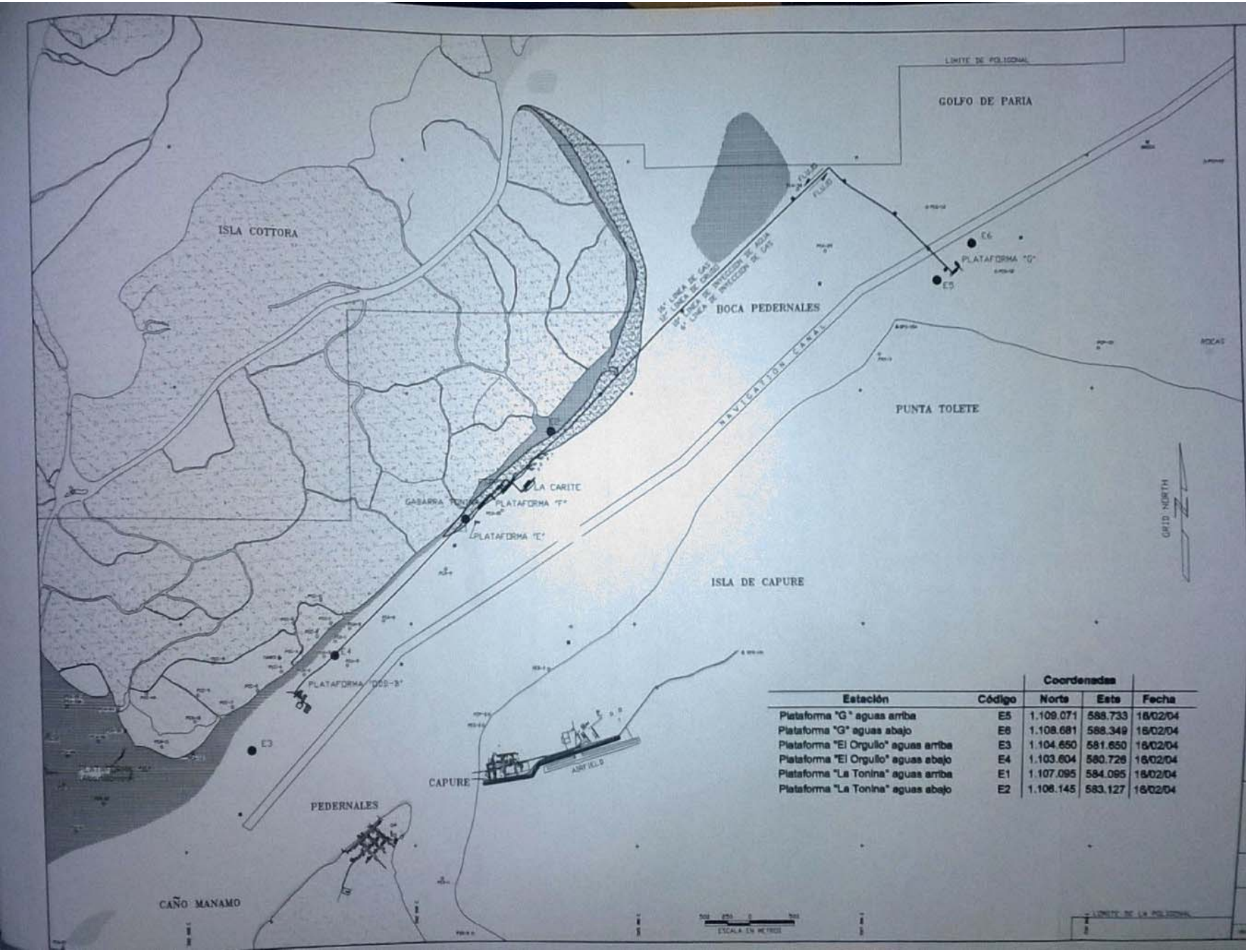
Anexo III: Mapa de Instalaciones y Ubicación de Estaciones de Monitoreo








Plataforma F
La Tonina
FSPP
Plataforma Auxiliar
Mechurrio
Carite
Gabarra de carga de Crudo



Estación	Código	Coordenadas Norte	Coordenadas Este	Fecha
Plataforma "G" aguas arriba	E5	1.109.071	588.733	16/02/04
Plataforma "G" aguas abajo	E6	1.108.681	588.349	16/02/04
Plataforma "El Orgullo" aguas arriba	E3	1.104.650	581.650	16/02/04
Plataforma "El Orgullo" aguas abajo	E4	1.103.604	580.726	16/02/04
Plataforma "La Tonina" aguas arriba	E1	1.107.095	584.095	16/02/04
Plataforma "La Tonina" aguas abajo	E2	1.106.145	583.127	16/02/04

LEYENDA

- E6 Estaciones de Monitoreo
- Plataformas de Pozos
- Pozos Aislados
- Centros Poblados



PROJECTION PARAMETERS
DATUM LA CANOA PSAD 1956
SPHEROID INTERNATIONAL 1924
ZONE 20 NORTH
CENTRAL MERIDIAN 63° W
SEMIMAJOR AXIS 6378388
RECIPROCAL FLATTENING 1/f = 297.0
FALSE EASTING 500,000
FALSE NORTHING 0
SCALE FACTOR 0.9996 FROM CENTRAL MERIDIAN

PLAN DE DESARROLLO
CAMPO PEDERNALES

MAPA 1.
LOCACION DE LAS INSTALACIONES DE PLATAFORMAS

VISTA GENERAL DE LAS INSTALACIONES DEL CAMPO PEDERNALES Y ESTACIONES DE MONITOREO

EPI-01


GOLFO DE PARIA
ISLA COTTORA
BOCA PEDERNALES
PUNTA TOLETE
ROCAS
PLATAFORMA "G"
FSPP
LA CARITE
GABARRA TONINA
PLATAFORMA "F"
PLATAFORMA "E"
ESTACIONES DE MONITOREO
GRID NORTH
PLATAFORMA "DDD-P"
ISLA DE CAPURE
PLATAFORMA "A"
(Abandonada)
CAPURE
PEDERNALES
CAÑO MANAMO

Anexo IV: Historial de Monitoreo Calidad de Aguas y Sedimentos







CONTENIDO DEL INFORME

1 ALCANCE Y APLICACION DEL ENSAYO

2 DATOS DE ORIGEN DE LA MUESTRA Y CONDICIONES DE LA TOMA

- *Mediciones In Situ*

3 IDENTIFICACIÓN DE LOS METODOS DE ENSAYO

4 RESULTADOS DE ENSAYO

4.1 Aguas Superficiales

4.2 Sedimentos de Río

5 INTERPRETACION DE RESULTADOS

LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.

Zona industrial Los Montones, 3ra Etapa, Al lado de Super “S”, Barcelona , Edo Anzoátegui- Venezuela. Telf: 0281-2773333 / 2773444 Fax: 0281-2773277

1.- ALCANCE Y APLICACIÓN DEL ENSAYO.

La empresa Perenco de Venezuela solicitó la evaluación de aguas superficiales del río Orinoco, específicamente en su área de operación, Municipio Pedernales, jurisdicción del Estado Delta Amacuro; con la finalidad de constatar el posible impacto ambiental causado por sus operaciones en la mencionada localidad. Para tal fin se efectuó un muestreo en diferentes puntos en el Río Orinoco el día Lunes 20/12/2005, para su posterior evaluación de acuerdo a las normas ambientales, **DECRETO 883 *"Normas para la Clasificación y Control de Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos y/o Efluentes Líquidos"*.**

2.- DATOS DE ORIGEN DE LA MUESTRA Y CONDICIONES DE LA TOMA.

Oxi-Lab, División de Control Ambiental el día 20/12/2005 realizó un muestreo de aguas en el Río Orinoco en el área de operaciones de la empresa Perenco, ubicada en el Municipio Pedernales, jurisdicción del Estado Delta Amacuro.

Las muestras de agua fueron captadas en forma discreta en seis puntos, así como también los sedimentos de fondo en las mismas estaciones de muestreo. Los puntos fueron marcados por coordenadas geográficas, utilizando para esta actividad un posicionador geográfico satelital (GPS). A estas muestras les fueron medidos in situ los siguientes parámetros: pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno disuelto y Temperatura.

Una vez captadas las muestras, se preservaron de acuerdo a los procedimientos estándar según el tipo de parámetro a evaluar, para su traslado al laboratorio donde serán analizadas; las muestras fueron identificadas por códigos como se describe a continuación:

LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.

Zona industrial Los Montones, 3ra Etapa, Al lado de Super "S", Barcelona , Edo Anzoátegui- Venezuela. Telf: 0281-2773333 / 2773444 Fax: 0281-2773277

2.1 Asignación de códigos y Mediciones in situ.

Origen	E-1 Aguas Arriba La Tonina	E-2 Aguas Abajo La Tonina	E-3 Aguas Abajo Orgullo del Delta	E-4 Aguas Arriba Orgullo del Delta	E-5 Aguas Arriba Plataforma G	E-6 Aguas Abajo Plataforma G
Fecha	20/12/2005	20/12/2005	20/12/2005	20/12/2005	20/12/2005	20/12/2005
Códigos Aguas de Río	ML051220-1235	ML051220-1236	ML051220-1237	ML051220-1238	ML051220-1239	ML051220-1240
Códigos Sedimentos	MS051220-1241	MS051220-1242	MS051220-1243	MS051220-1244	MS051220-1245	MS051220-1246
Hora	10:50 am	10:36 am	10:20 am	10:00 am	11:50 am	12:10 m
Coordenadas	1106705 N 0583959 E	1105750 N 0582910 E	1104364 N 0581439 E	1108386 N 0588097 E	1103242 N 0580554 E	1103409 N 0580551 E

Estación / Código	E-1 Aguas Arriba La Tonina	E-2 Aguas Abajo La Tonina	E-3 Aguas Abajo Orgullo del Delta	E-4 Aguas Arriba Orgullo del Delta	E-5 Aguas Arriba Plataforma G	E-6 Aguas Abajo Plataforma G
pH	5,90	5,90	5,91	5,86	5,89	5,89
Conductividad (m*S/cm)*	16,24	14,86	15,07	14,46	16,52	16,29
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6,6	6,7	7,4	5,7	6,7	6,2
Temperatura (°C)	27,9	27,7	27,6	27,8	28,0	27,9

LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.

Zona industrial Los Montones, 3ra Etapa, Al lado de Super "S", Barcelona , Edo Anzoátegui- Venezuela. Telf: 0281-2773333 / 2773444 Fax: 0281-2773277

3.- IDENTIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, 1998.	Código SMWW
Aceites Y Grasas Vegetales y Animales	**5520-B**
Aceites Y Grasas Minerales	**5520-B**
Bario Total	**3111-Ba-D**
Carbono Orgánico Total	**5310-B**
Conductividad	**2510-B**
D.B.O.	**5210-B**
Hierro Total	**3111-Fe-B**
Níquel Total	**3111-Ni-B**
Oxígeno Disuelto	**4500-O-C**
pH	**4500-H**
Salinidad	**2520-B**
Sólidos Suspendidos	**2540-D**
Sólidos Disueltos Totales	**2540-C**
Temperatura	**2550-B**
Turbiedad	**2130-B**
Vanadio Total	**3111-V-D**
Zinc Total	**3111-Zn-B**

LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.

Zona industrial Los Montones, 3ra Etapa, Al lado de Super “S”, Barcelona , Edo Anzoátegui- Venezuela. Telf: 0281-2773333 / 2773444 Fax: 0281-2773277

4.- RESULTADOS DEL ENSAYO

4.1- AGUAS SUPERFICIALES

Standards Methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition, 1998.	Unidad	Rango Aguas Tipo 4B Decreto 883	E1 ML051220-1235	E2 ML051220-1236	E3 ML051220-1237	E4 ML051220-1238	E5 ML051220-1239	E6 ML051220-1240
Aceites Y Grasas Vegetales y Animales	***mg/L***	**NE**	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Aceites Y Grasas Minerales	***mg/L***	**0,30**	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
Carbono Orgánico Total (*)	***mg/L***	**NE**						
D.B.O	***mg/L***	**NE**	1,60	1,90	2,05	1,70	1,80	1,50
Oxígeno Disuelto	***mg/L***	**> 5**	6,6	6,7	7,4	5,7	6,7	6,2
pH	***UpH***	**6,5 – 8,5**	**5,90**	**5,90**	**5,91**	**5,86**	**5,89**	**5,89**
Salinidad	***‰***	**NE**	9,5	8,6	8,8	8,4	9,7	9,5
Sólidos Disueltos	***mg/L***	**NE**	8120	7430	7530	7230	8260	8140
Sólidos Suspendidos	***mg/L***	**NE**	106	62	54	50	22	50
Temperatura	***℃***	**NE**	27,9	27,7	27,6	27,8	28,0	27,9
Turbiedad	***UNT***	**NE**	42	12	33	14	11	11

ND= No detectable; NE= No Especificado. (*)= Resultado obtenido mediante Laboratorio de Referencia. Se anexa informe

LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.

Zona industrial Los Montones, 3ra Etapa, Al lado de Super "S", Barcelona , Edo Anzoátegui- Venezuela. Telf: 0281-2773333 / 2773444 Fax: 0281-2773277

4.2- SEDIMENTOS DE RIOS

Método Estándar Edición 20	*Unidad*	E1 MS051220-1241	E2 MS051220-1242	E3 MS051220-1243	E4 MS051220-1244	E5 MS051220-1245	E6 MS051220-1246
Aceites y Grasas	%	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
Bario	*mg/Kg*	9,98	27,97	26,33	37,27	3,44	1,35
Clasificación Textural	N/A	Limo arenoso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Arcilloso	Arenoso limoso	Limoso arenoso
Materia Orgánica	%	2,23	4,33	3,79	4,06	0,16	0,2
Níquel	*mg/Kg*	23,05	37,84	38,25	35,17	6,03	6,85
Hierro	*mgKg*	2095	3456	3628	4141	36,69	45,27
T.P.H	%	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Vanadio	*mg/Kg*	26,7	41,7	51,6	41,7	< 0,2	< 0,2
Zinc	*mg/Kg*	48,64	108,4	81,04	64,77	12,51	13,69

ND= No Detectado; N/A = No Aplica

LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.

Zona industrial Los Montones, 3ra Etapa, Al lado de Super "S", Barcelona , Edo Anzoátegui- Venezuela. Telf: 0281-2773333 / 2773444 Fax: 0281-2773277

5.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos de las muestras analizadas, en las seis estaciones seleccionadas indican que las aguas presentan conductividad media-alta y salinidad característicos de un estuario. Los niveles de pH obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo resultaron por debajo del límite mínimo permisible, establecido en el decreto 883. Las muestras evaluadas fueron comparadas con el **Artículo 4**, aguas del **subtipo 4B** (aguas para el contacto humano parcial) del **DECRETO 883** ***"Normas para la Clasificación y Control de Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos y/o Efluentes Líquidos"*.**

Nivel de Aprobación del Informe

Ing. Alix Guerrero
Gte. de Laboratorio Ambiental

Lic. Albertina Ferreira
Jefe de Laboratorio Ambiental

José Hernández
Coord. Técnico de Laboratorio

LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.

Zona industrial Los Montones, 3ra Etapa, Al lado de Super "S", Barcelona , Edo Anzoátegui- Venezuela. Telf: 0281-2773333 / 2773444 Fax: 0281-2773277

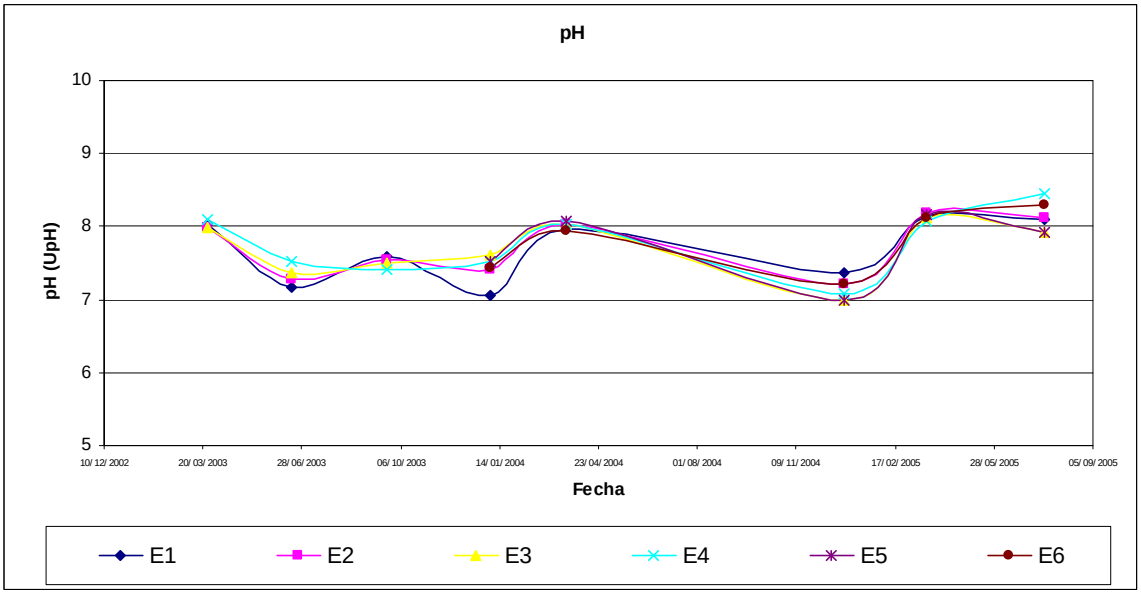
ANEXO IV: Monitoreo de Aguas Superficiales y Sedimentos

1.1.1 Comportamiento de cada parámetro a través del tiempo

Cuadro N 1: pH (Estaciones E1, E2, E3, E4, E5 y E6, ver plano de ubicación en Anexo III).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	8,1	8,12	7,91	8,45	7,91	8,3
21/03/2005	8,15	8,19	8,12	8,07	8,17	8,11
27/12/2004	7,37	7,21	6,99	7,09	7	7,21
22/03/2004	7,97	8,03	8,04	8,04	8,08	7,94
05/01/2004	7,06	7,41	7,61	7,52	7,53	7,43
22/09/2003	7,59	7,54	7,49	7,42		
17/06/2003	7,16	7,28	7,37	7,53		
25/03/2003	8,02	7,98	7,99	8,1		

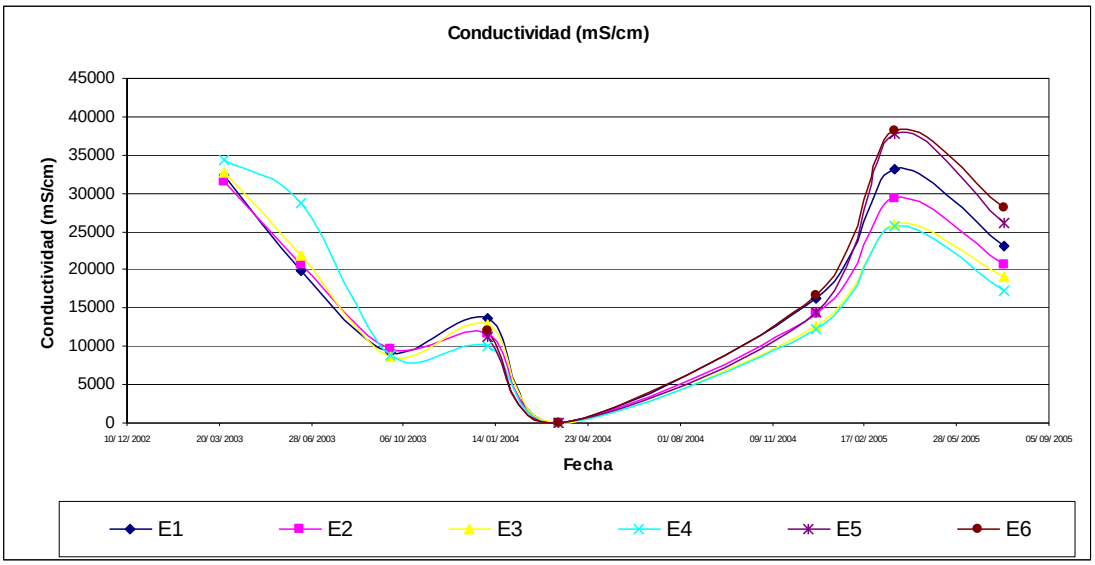
Gráfico N 1: pH



Cuadro N 2: Conductividad

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	23100	20600	19170	17300	26100	28100
21/03/2005	33100	29300	26000	25800	37800	38100
27/12/2004	16360	14220	12670	12340	14460	16630
22/03/2004	6,1	6,6	7,5	6,8	6,4	6,4
05/01/2004	13690	11650	12800	10020	11270	12010
22/09/2003	9280	9660	8720	8820		
17/06/2003	19860	20600	21800	28700		
25/03/2003	32300	31600	32800	34400		

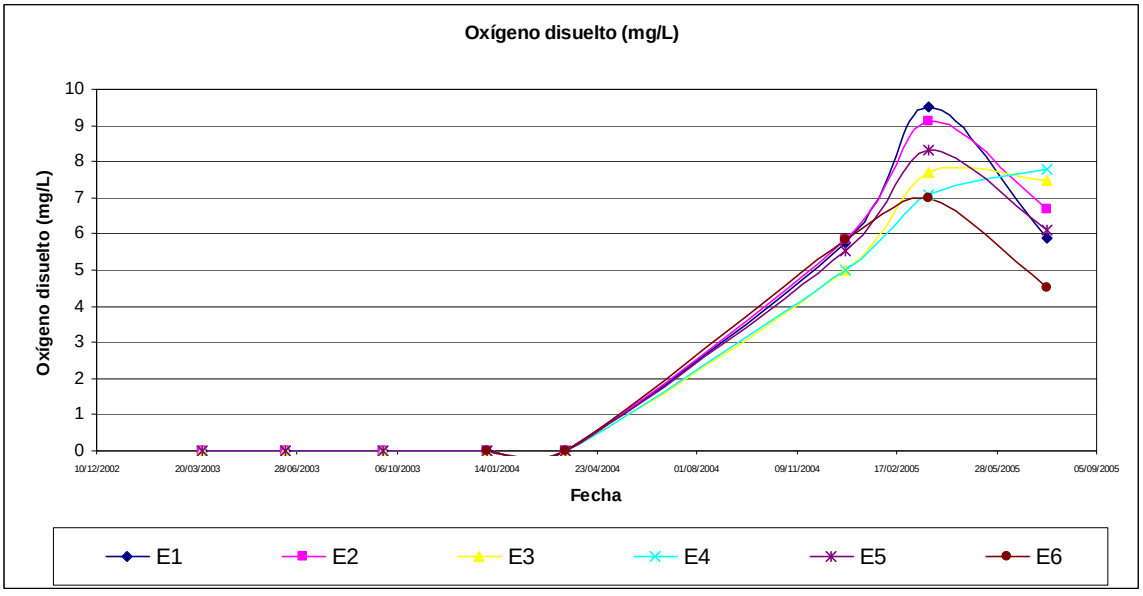
Gráfico N 2: Conductividad



Cuadro N 3: Oxigeno Disuelto

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	5,9	6,7	7,5	7,8	6,1	4,5
21/03/2005	9,5	9,1	7,7	7,1	8,3	7
27/12/2004	5,76	5,84	5,01	5	5,55	5,85
22/03/2004	0	0	0	0	0	0
05/01/2004	0	0	0	0	0	0
22/09/2003	0	0	0	0	0	
17/06/2003	0	0	0	0	0	
25/03/2003	0	0	0	0	0	

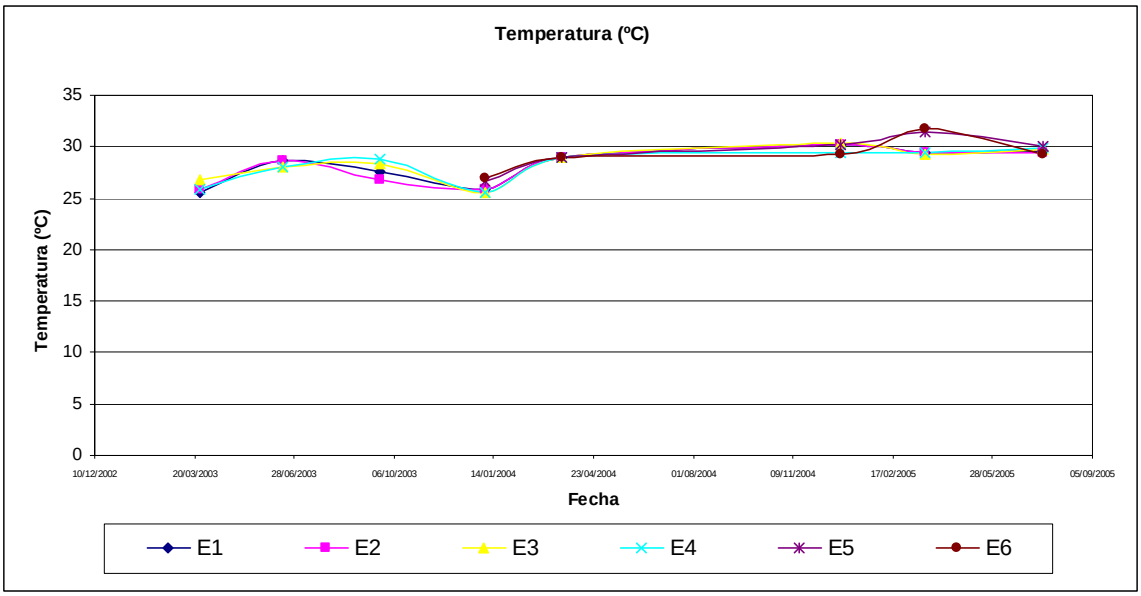
Gráfico N 3: Oxigeno Disuelto



Cuadro N 4: Temperatura

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	29,6	29,4	29,8	29,9	30	29,3
21/03/2005	29,5	29,5	29,3	29,5	31,4	31,8
27/12/2004	30,2	30,2	30,3	29,4	30,2	29,2
22/03/2004	29	29	29	29	29	29
05/01/2004	25,9	25,8	25,6	25,6	26,7	26,9
22/09/2003	27,5	26,8	28,4	28,8		
17/06/2003	28,6	28,6	28,1	28		
25/03/2003	25,6	25,8	26,8	25,8		

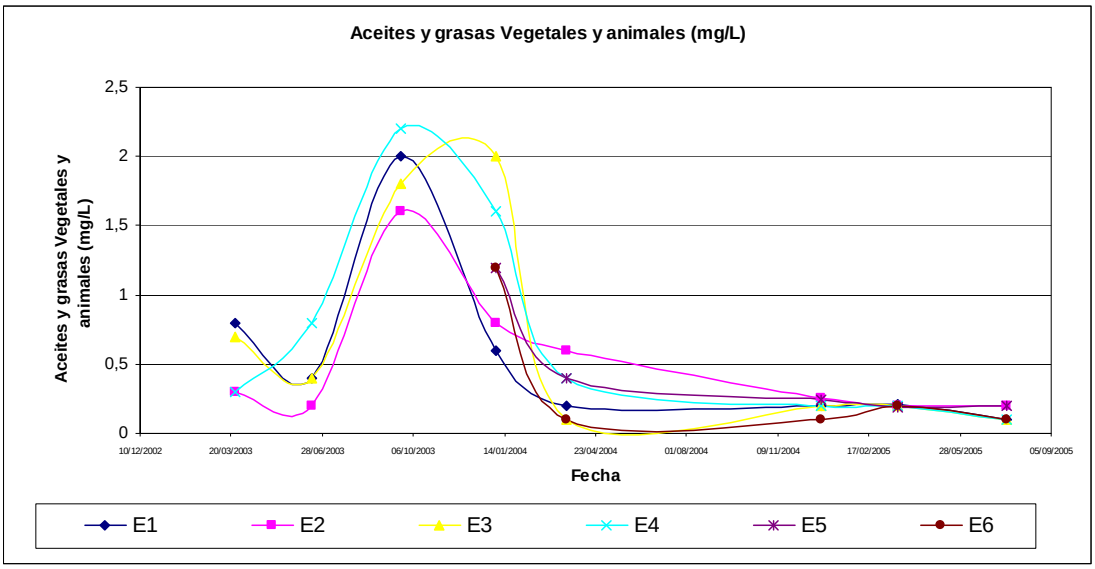
Gráfico N 4: Temperatura



Cuadro N 5: Aceites y Grasas Vegetales y Animales

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
21/03/2005	0,21	0,2	0,2	0,2	0,19	0,2
27/12/2004	0,2	0,25	0,2	0,2	0,24	0,1
22/03/2004	0,2	0,6	0,1	0,4	0,4	0,1
05/01/2004	0,6	0,8	2	1,6	1,2	1,2
22/09/2003	2	1,6	1,8	2,2		
17/06/2003	0,4	0,2	0,4	0,8		
25/03/2003	0,8	0,3	0,7	0,3		

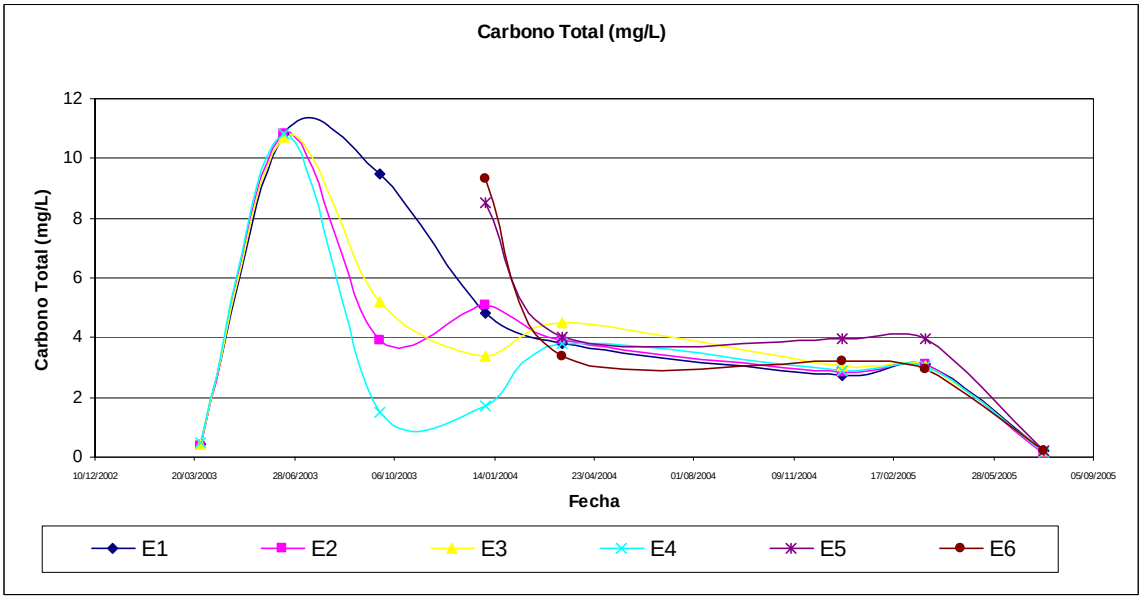
Gráfico N 5: Aceites y Grasas Vegetales y Animales



Cuadro N 6: Carbono Total

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	0,19	0,13	0,19	0,16	0,22	0,24
21/03/2005	3,1	3,11	3,06	3,08	3,96	2,92
27/12/2004	2,72	2,85	3,08	2,9	3,95	3,21
22/03/2004	3,8	3,9	4,5	3,8	4	3,4
05/01/2004	4,8	5,1	3,4	1,7	8,5	9,3
22/09/2003	9,5	3,9	5,2	1,5		
17/06/2003	10,8	10,8	10,7	10,8		
25/03/2003	0,42	0,4	0,45	0,48		

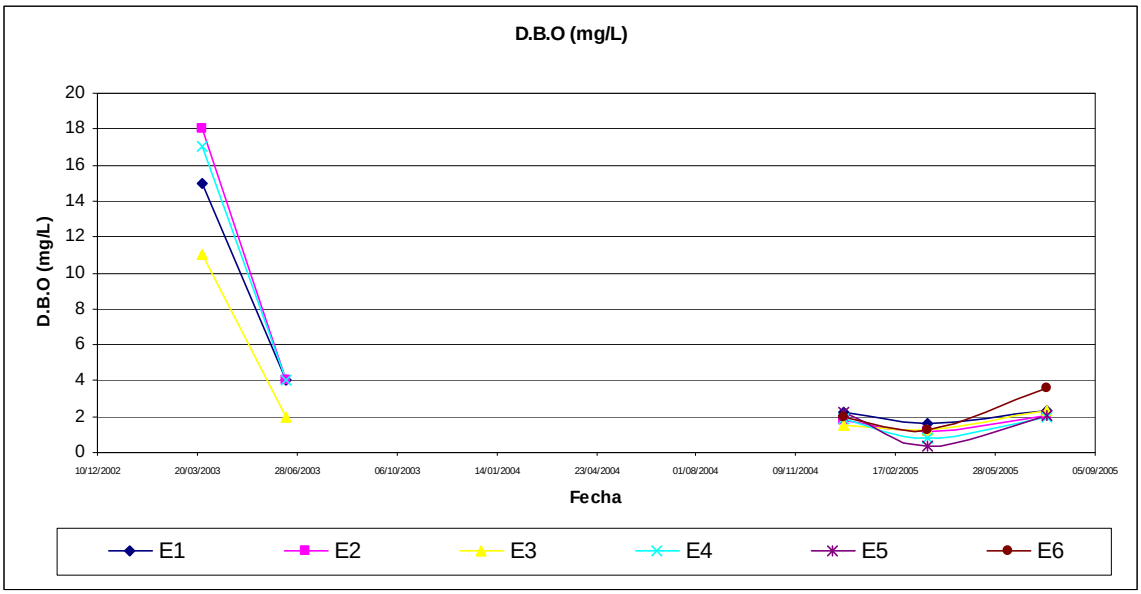
Gráfico N 6: Carbono Total



Cuadro N 7: D.B.O

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	2,3	2,1	2,3	2	2,1	3,6
21/03/2005	1,6	1,2	1,3	0,8	0,4	1,3
27/12/2004	2,25	1,75	1,5	1,85	2,2	2
22/03/2004						
05/01/2004						
22/09/2003						
17/06/2003	4	4	2	4		
25/03/2003	15	18	11	17		

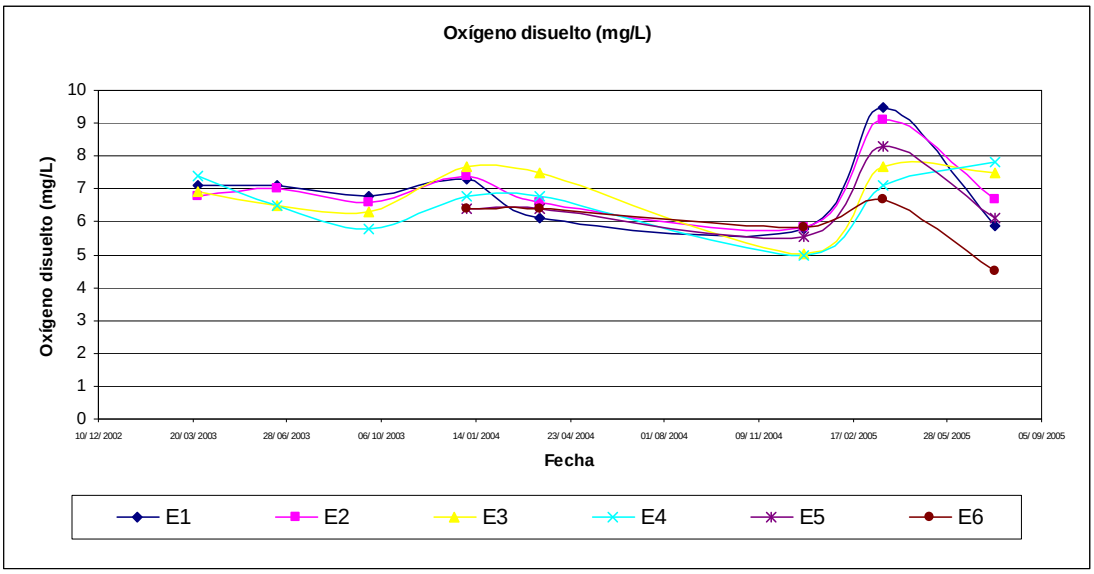
Gráfico N 7: D.B.O



Cuadro N 8: Oxigeno Disuelto

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	5,9	6,7	7,5	7,8	6,1	4,5
21/03/2005	9,5	9,1	7,7	7,1	8,3	6,7
27/12/2004	5,76	5,84	5,01	5	5,55	5,85
22/03/2004	6,1	6,6	7,5	6,8	6,4	6,4
05/01/2004	7,3	7,4	7,7	6,8	6,4	6,4
22/09/2003	6,8	6,6	6,3	5,8		
17/06/2003	7,1	7	6,5	6,5		
25/03/2003	7,1	6,8	6,9	7,4		

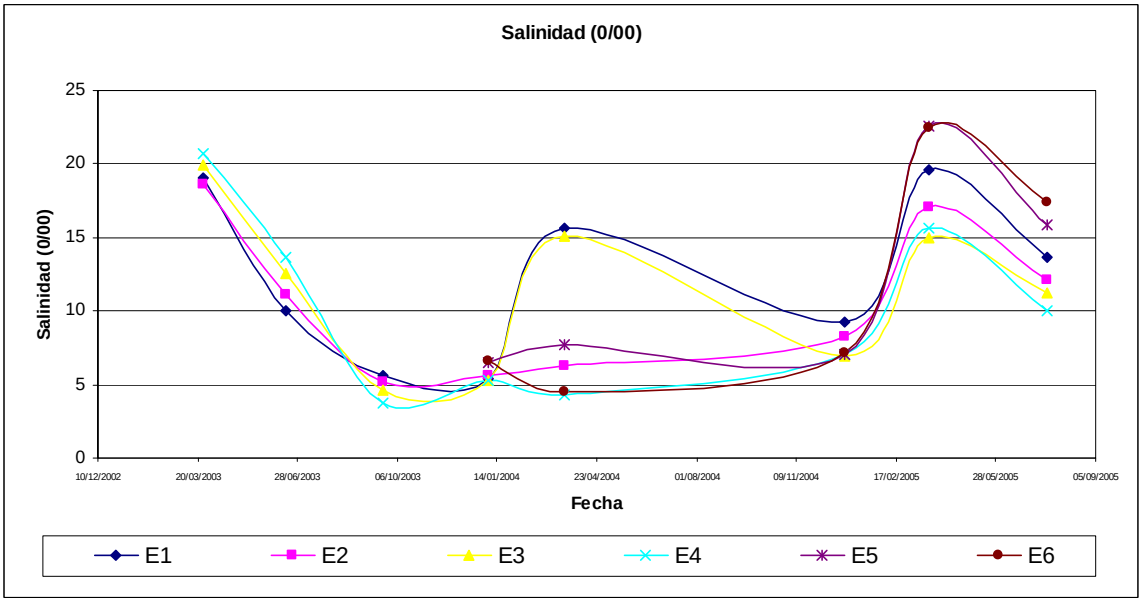
Gráfico N 8: Oxigeno Disuelto



Cuadro N 9: Salinidad

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	13,7	12,1	11,2	10	15,9	17,4
21/03/2005	19,6	17,1	15	15,6	22,6	22,5
27/12/2004	9,3	8,3	6,99	7,09	7	7,21
22/03/2004	15,6	6,3	15,1	4,3	7,7	4,5
05/01/2004	5,4	5,6	5,3	5,3	6,5	6,6
22/09/2003	5,6	5,2	4,6	3,7		
17/06/2003	10	11,1	12,6	13,7		
25/03/2003	19	18,6	19,9	20,7		

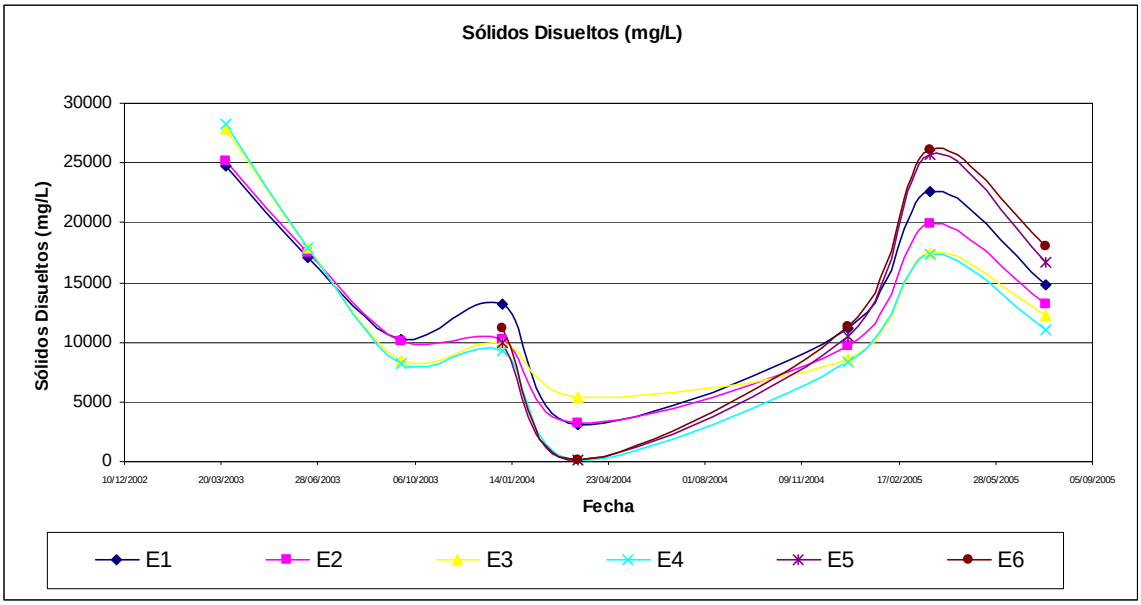
Gráfico N 9: Salinidad



Cuadro N 10: Sólidos Disueltos

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	14784	13184	12269	11072	16704	17984
21/03/2005	22560	19900	17550	17310	25700	26100
27/12/2004	11150	9750	8600	8300	10550	11250
22/03/2004	3034	3250	5402	118,3	131,4	116,4
05/01/2004	13160	10250	9930	9280	9890	11220
22/09/2003	10230	10120	8510	8140		
17/06/2003	17130	17505	17920	17945		
25/03/2003	24705	25200	27875	28188		

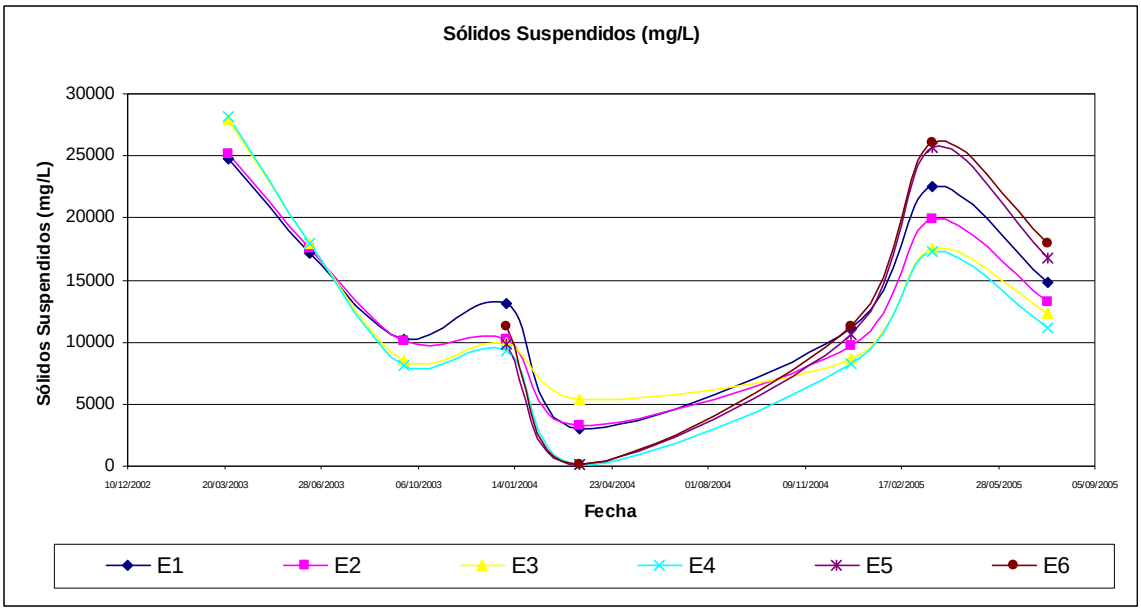
Gráfico N 10: Sólidos Disueltos



Cuadro N 11: Sólidos Suspendidos

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	22	17	23	21	10	24
21/03/2005	42	63	67	19	205	199
27/12/2004	132	60	141	141	45	72
22/03/2004						
05/01/2004						
22/09/2003						
17/06/2003	231	350	234	240		
25/03/2003	109	125	186	205		

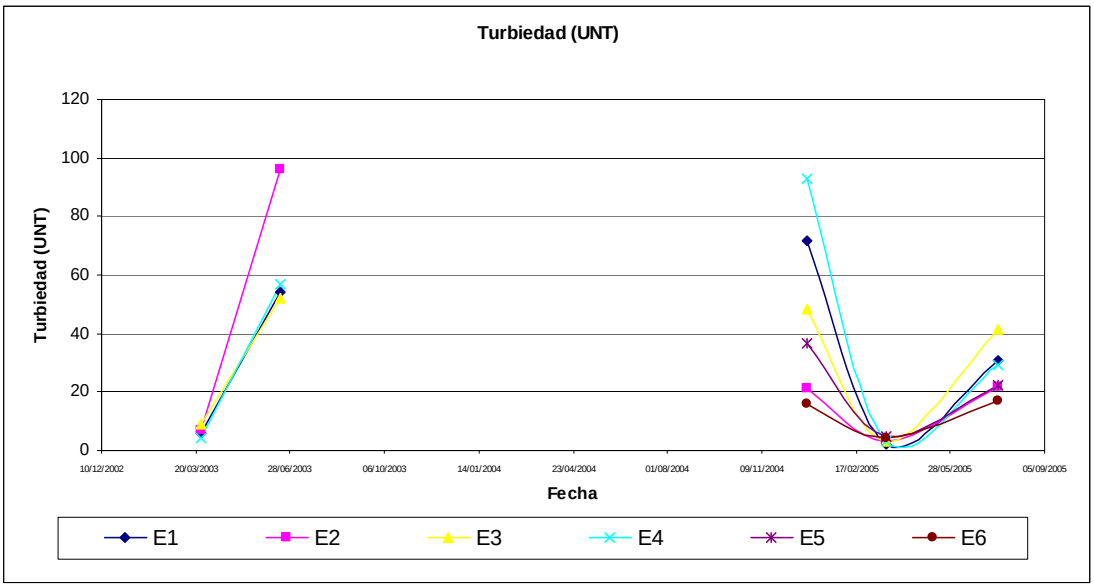
Gráfico N 11: Sólidos Suspendidos



Cuadro N 12: Turbiedad

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	30,9	21,54	41,4	29,03	22,3	17,01
21/03/2005	2	3	3	3	5	4
27/12/2004	71,89	21,12	48,22	92,76	36,68	15,78
22/03/2004						
05/01/2004						
22/09/2003						
17/06/2003	54	96	52	57		
25/03/2003	6	7	9	4		

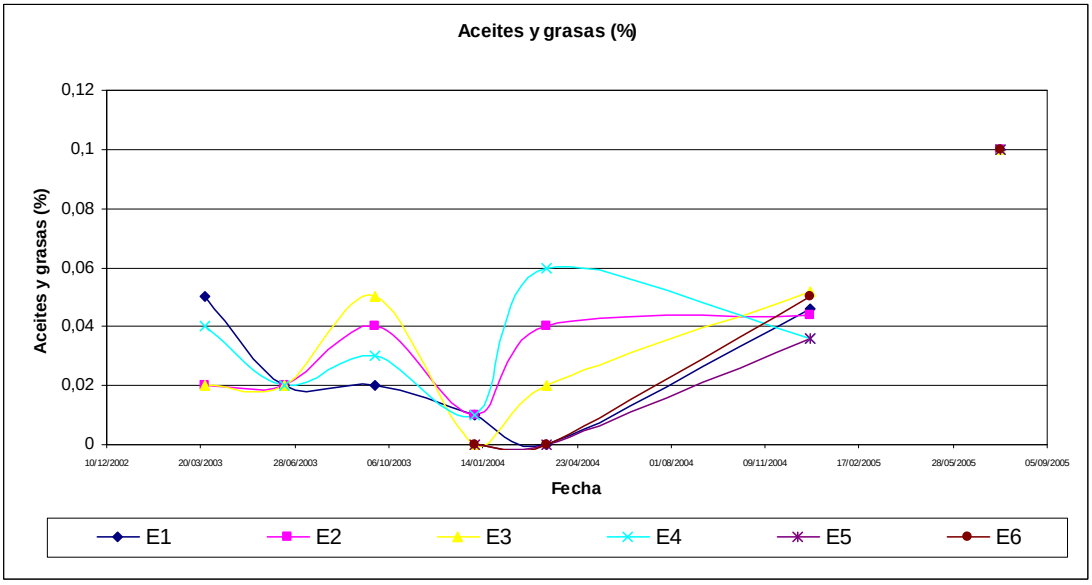
Gráfico N 12: Turbiedad



Cuadro N 13: Aceites y Grasas

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
21/03/2005						
27/12/2004	0,046	0,044	0,052	0,036	0,036	0,05
22/03/2004	0	0,04	0,02	0,06	0	0
05/01/2004	0,01	0,01	<0,01	0,01	0	0
22/09/2003	0,02	0,04	0,05	0,03		
17/06/2003	0,02	0,02	0,02	0,02		
25/03/2003	0,05	0,02	0,02	0,04		

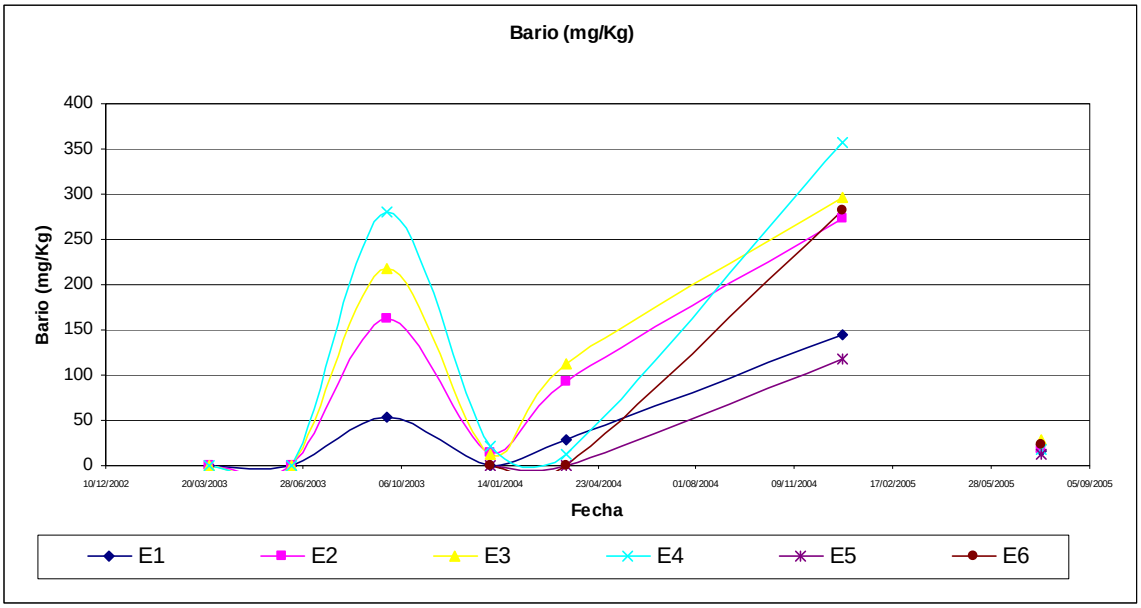
Gráfico N 13: Aceites y Grasas



Cuadro N 14: Bario

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	16,81	17,9	27,833	18,68	12,58	23,14
21/03/2005						
27/12/2004	145,25	272,7	297	357,85	117,55	282,85
22/03/2004	29	92	112	11,62	0	0
05/01/2004	ND	13,5	12,7	21,7	0	0
22/09/2003	53	162	218	280		
17/06/2003	0	0	0	0		
25/03/2003	0	0	0	0		

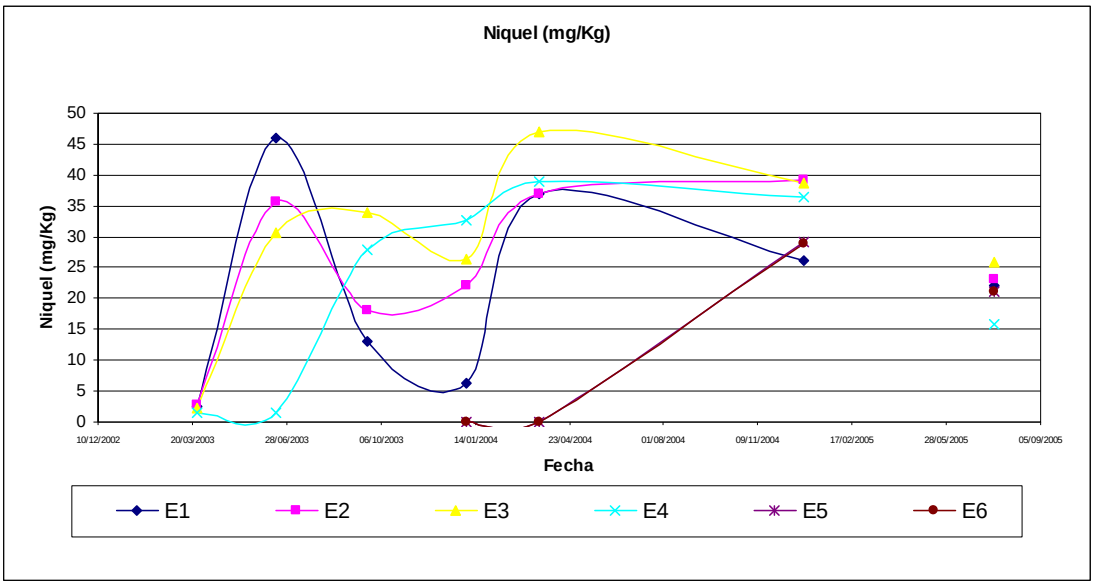
Gráfico N 14: Bario



Cuadro N 15: Níquel

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	22,1	23,24	25,77	15,82	21,03	21,23
21/03/2005						
27/12/2004	26,21	39,32	38,67	36,35	29,09	29,02
22/03/2004	37	37	47	38,88	0	0
05/01/2004	6,2	22	26,3	32,6	0	0
22/09/2003	13	18	34	28		
17/06/2003	46	35,7	30,7	1,5		
25/03/2003	2,4	2,7	2,3	1,6		

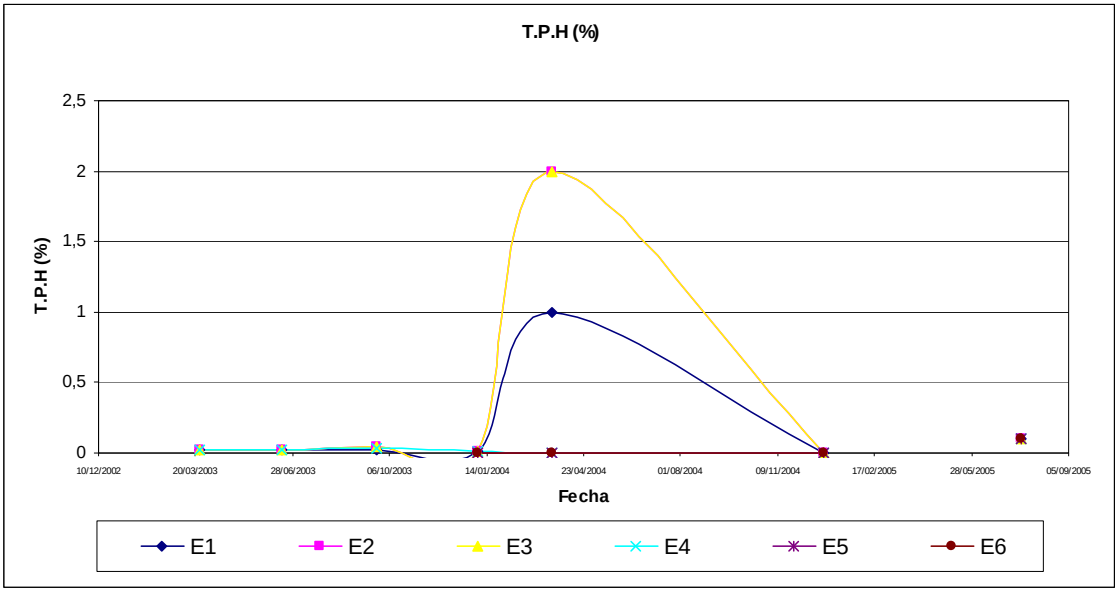
Gráfico N 15: Níquel



Cuadro N 16: T.P.H.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
21/03/2005						
27/12/2004	0	0	0	0	0	0
22/03/2004	1	2	2	0	0	0
05/01/2004	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0
22/09/2003	0,02	0,04	0,05	0,03		
17/06/2003	0,02	0,02	0,02	0,02		
25/03/2003	0,02	0,02	0,02	0,02		

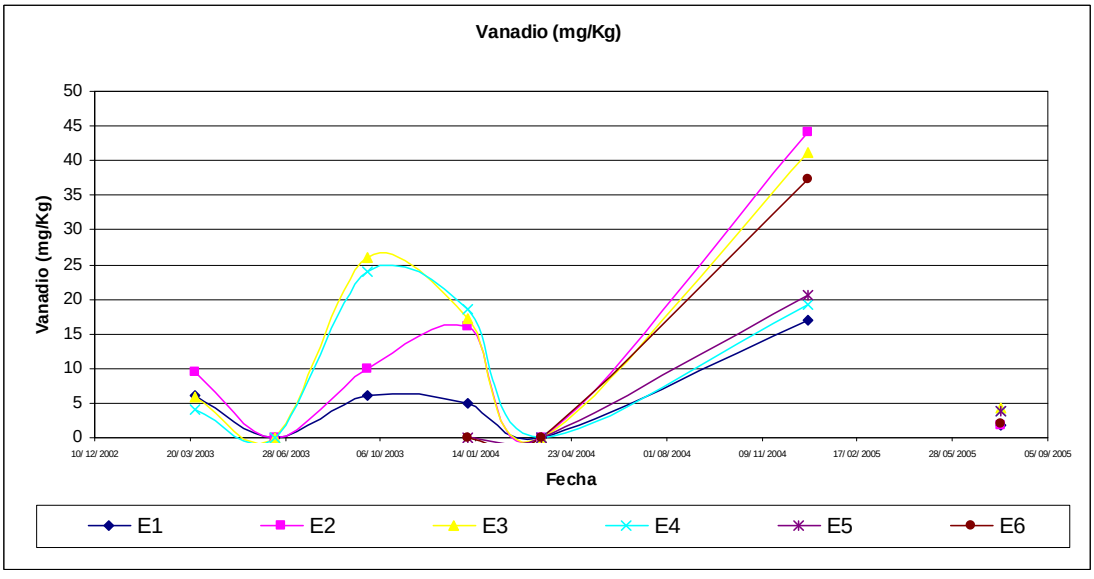
Gráfico N 16: T.P.H



Cuadro N 17: Vanadio

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	1,74	1,83	4,36	3,82	3,9	2,05
21/03/2005						
27/12/2004	16,96	44,13	41,27	19,26	20,65	37,25
22/03/2004	0	0	0	0	0	0
05/01/2004	4,9	16,1	17,2	18,5	0	0
22/09/2003	6	10	26	24		
17/06/2003	0	0	0	0		
25/03/2003	6,2	9,4	5,8	4		

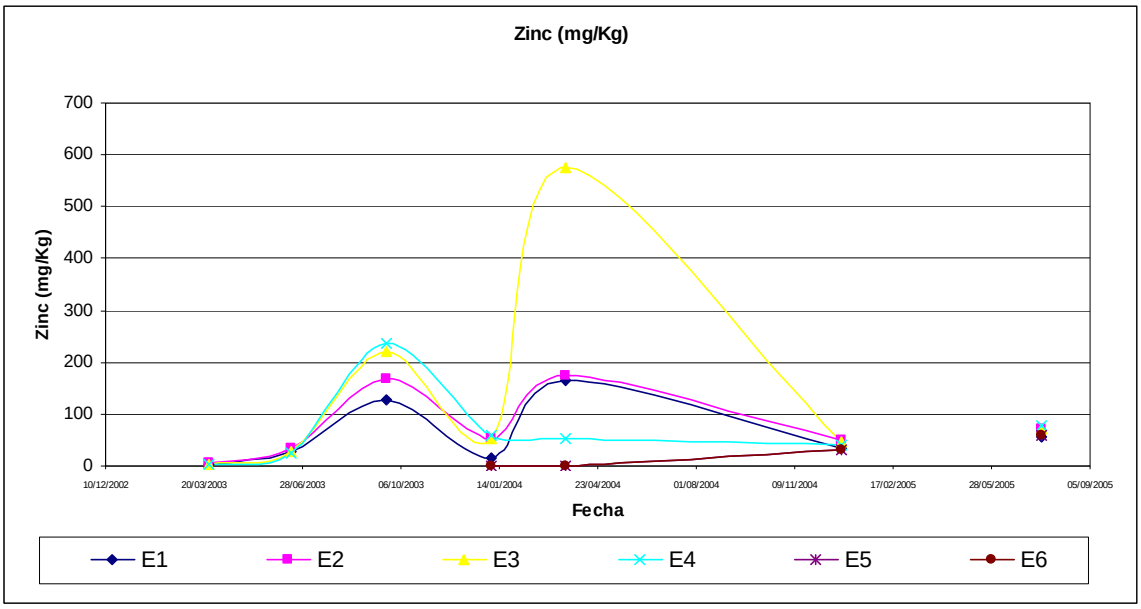
Gráfico N 17: Vanadio



Cuadro N 18: Zinc

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
18/07/2005	56,34	72,9	71,03	77,33	59,94	59,71
21/03/2005						
27/12/2004	34,43	49,07	47,28	39,46	31,89	31,96
22/03/2004	166	175	576	52	0	0
05/01/2004	16,5	51,6	53,5	59,8	0	0
22/09/2003	127	168	221	236		
17/06/2003	28,4	33	29	26		
25/03/2003	4,1	4,8	2,3	3,8		

Gráfico N 18: Zinc



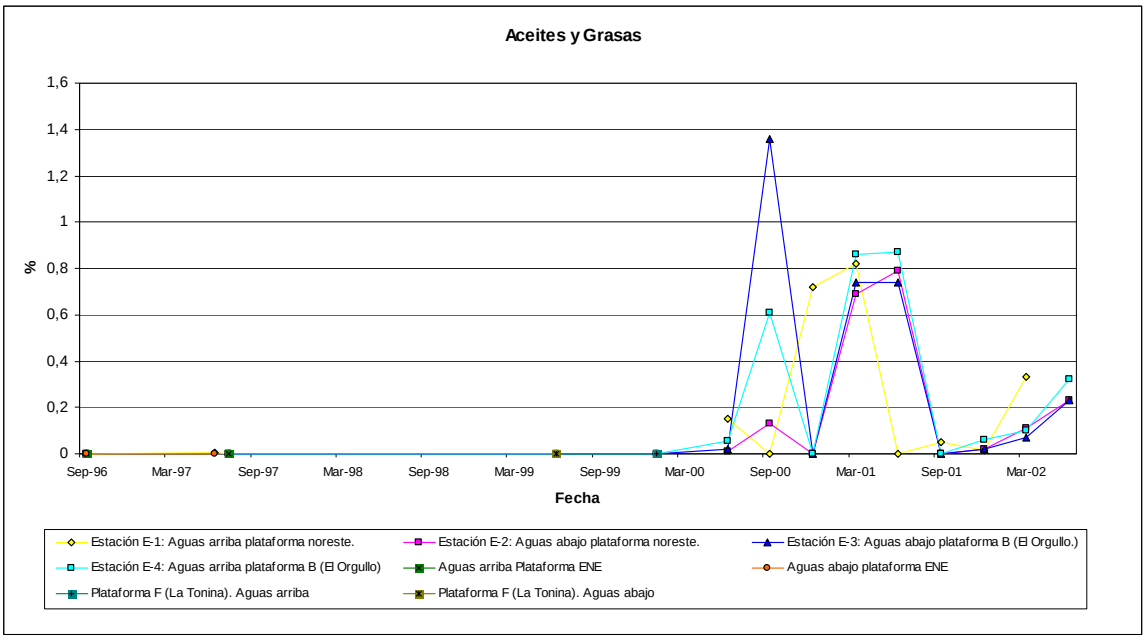
1.2 Resultados de Informes de muestras realizados en el Campo Pedernales

1.2.1 Comportamiento de cada parámetro a través del tiempo

Cuadro N 19: Aceites y Grasas

Aceites y Grasas (%)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	0	0,005	0			0,15	< 0,00002	0,72	0,82	0,000031	0,05	0,014	0,33	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	0		0			0,012	0,13	< 0,00002	0,69	0,79	0,000022	0,02	0,11	0,23
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	0		0	0	0	0,022	1,36	< 0,00002	0,74	0,74	0,000039	0,02	0,07	0,23
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	0		0	0	0	0,055	0,61	< 0,00002	0,86	0,87	0,000052	0,06	0,1	0,32
Aguas arriba Plataforma ENE	0		0											
Aguas abajo plataforma ENE	0	0			0									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				0	0									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				0										

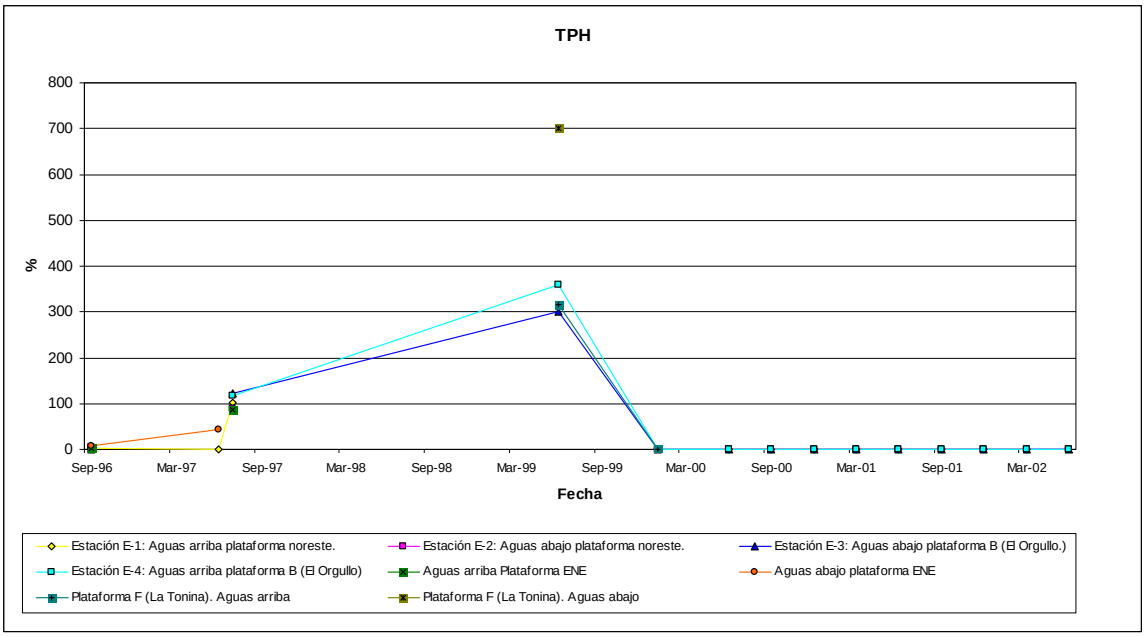
Gráfico N 19: Aceites y Grasas



Cuadro N 20: TPH

TPH (%)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	3,66	< 0,01	102			0,14	< 0,00002	0,68	0,58	< 0,00002	< 0,2	< 0.2	< 0,2	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	4,9		88			< 0,01	0,1	< 0,00002	0,65	0,60	< 0,00002	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	0,59		122	300	0,05	< 0,01	0,44	< 0,00002	0,70	0,74	< 0,00002	< 0,2	< 0.2	< 0,2
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	0,75		117	359	0,05	< 0,01	0,48	< 0,00002	0,76	0,65	< 0,00002	< 0,2	< 0.2	< 0,2
Aguas arriba Plataforma ENE	2,68		86											
Aguas abajo plataforma ENE	6,98	43			0,3									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				316,00	0,05									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				700										

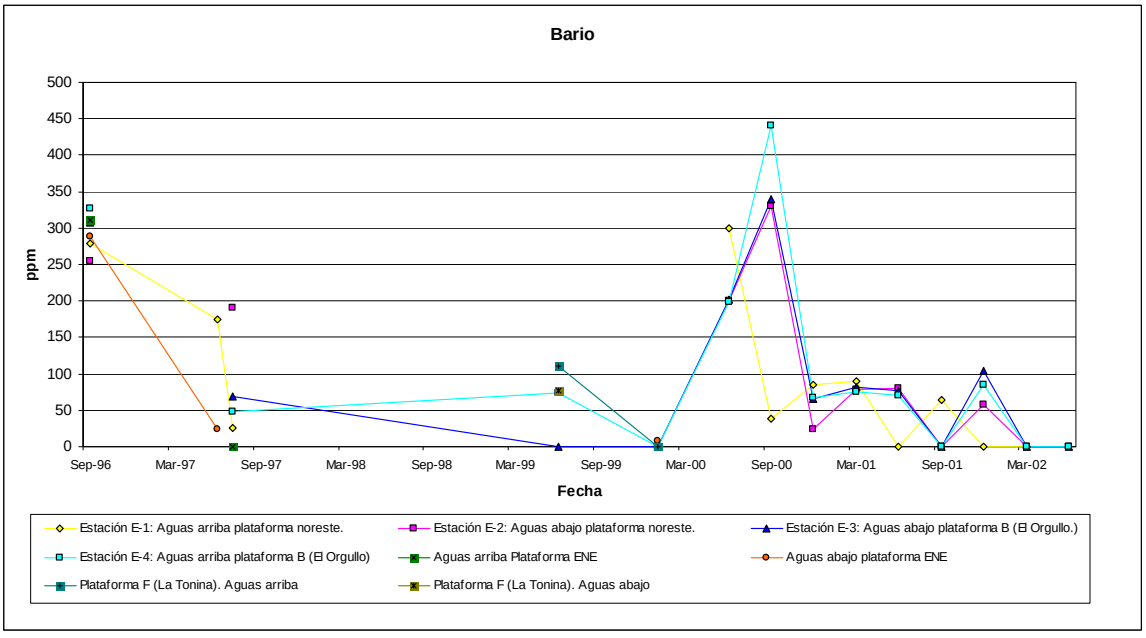
Gráfico N 20: TPH



Cuadro N 21: Bario

Bario (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	279	174	26,1			299,00	39	85	89,00	< 0,01	64	< 0.01	< 0,01	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	255,0		190,0			201,0	330,0	24,0	79,0	79,50	< 0,01	58	< 0.01	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	308		68,4	118,9	< 0,05	202	340	65	82,00	77,4	< 0,01	104	< 0.01	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	327,00		48,50	74,20	< 0,05	198	440	67	76	70,00	< 0,01	85	< 0.01	0
Aguas arriba Plataforma ENE	311		< 5											
Aguas abajo plataforma ENE	288	24,8			8,47									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				110,10	< 0,05									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				76,4										

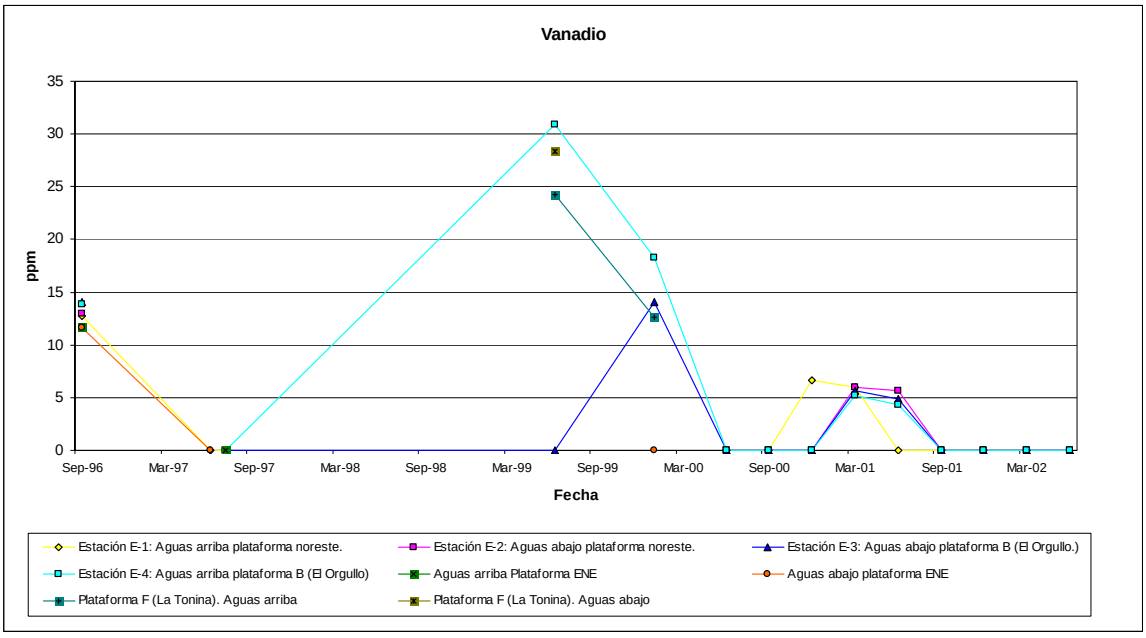
Gráfico N 21: Bario



Cuadro N 22: Vanadio

Vanadio (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	12,71	< 0,1	0			< 0,01	< 0,01	6,7	6,00	< 0,01	< 0,01	< 0.01	< 0.01	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	12,9		0,0			< 0,1	< 0,01	< 0,01	6,0	5,70	< 0,01	< 0,01	< 0.01	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	14,06		0	20,1	14,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	5,70	4,9	< 0,01	< 0,01	< 0.01	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	13,90		0,00	30,90	18,30	< 0,1	< 0,01	< 0,01	5,2	4,30	< 0,01	< 0,01	< 0.01	0
Aguas arriba Plataforma ENE	11,78		0											
Aguas abajo plataforma ENE	11,65	0			< 0,05									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				24,30	12,6									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				28,4										

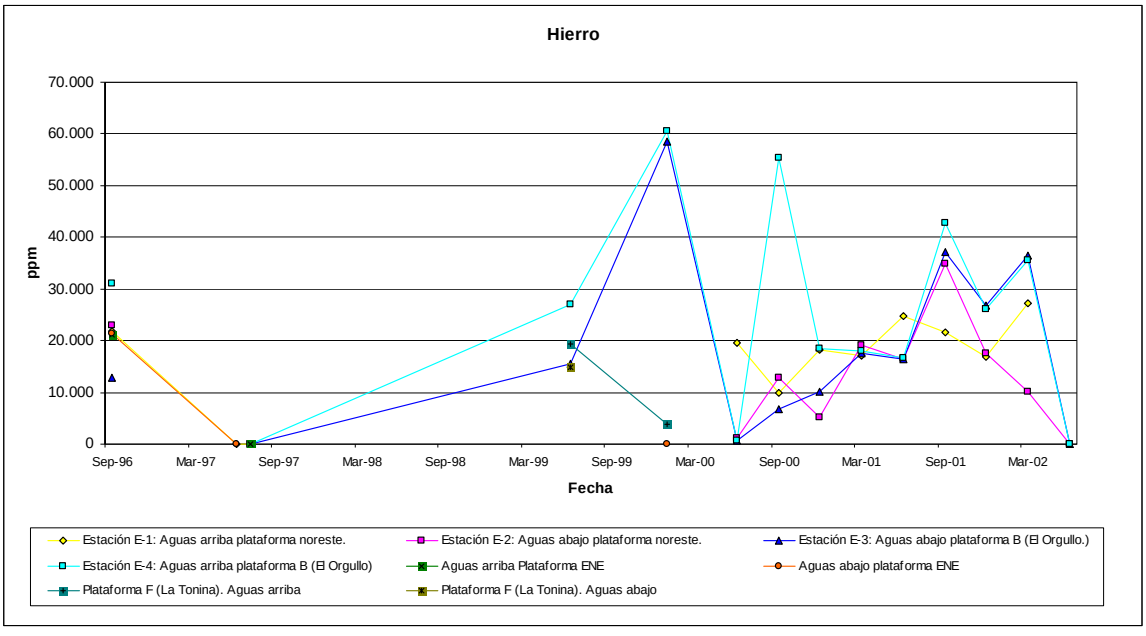
Gráfico N 22: Vanadio



Cuadro N 23: Hierro

Hierro (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	21780	1,153	0			19638	9884	18310	17000	24860	21530	16840	27160	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	23025		0,0			1043	12836	5202	19135	16371	34930	17660	10060	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	12785		0	15475	58601	618	6740	10210	17590	16502	37040	26680	36440	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	31022		0,00	27107	60501	681	55341	18410	18000	16715	42750	26000	35590	0
Aguas arriba Plataforma ENE	21183		0											
Aguas abajo plataforma ENE	21311	0			17,3									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				19337	3716									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				14852										

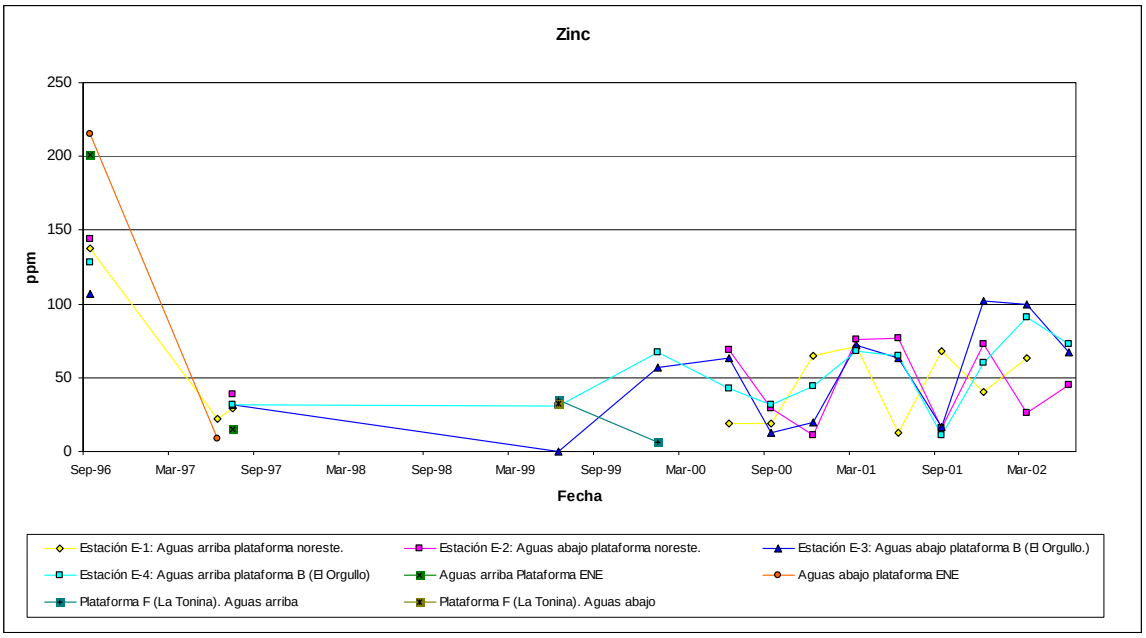
Gráfico N 23: Hierro



Cuadro N 24: Zinc

Zinc (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	138	22	29,1			19,00	19	65	71,00	13	68	40	63	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	144,0		38,9			69,0	29,0	11,0	76,0	77,00	16,00	73	26	45
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	107		31,6	71,15	56,94	63	13	20	72,00	63	16,4	102	100	67
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	128,00		32,00	30,93	66,99	43	32	44	68	65,00	10,8	60	91	73
Aguas arriba Plataforma ENE	201		15,3											
Aguas abajo plataforma ENE	215	8,7			45.998									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				34,72	6,64									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				32,7										

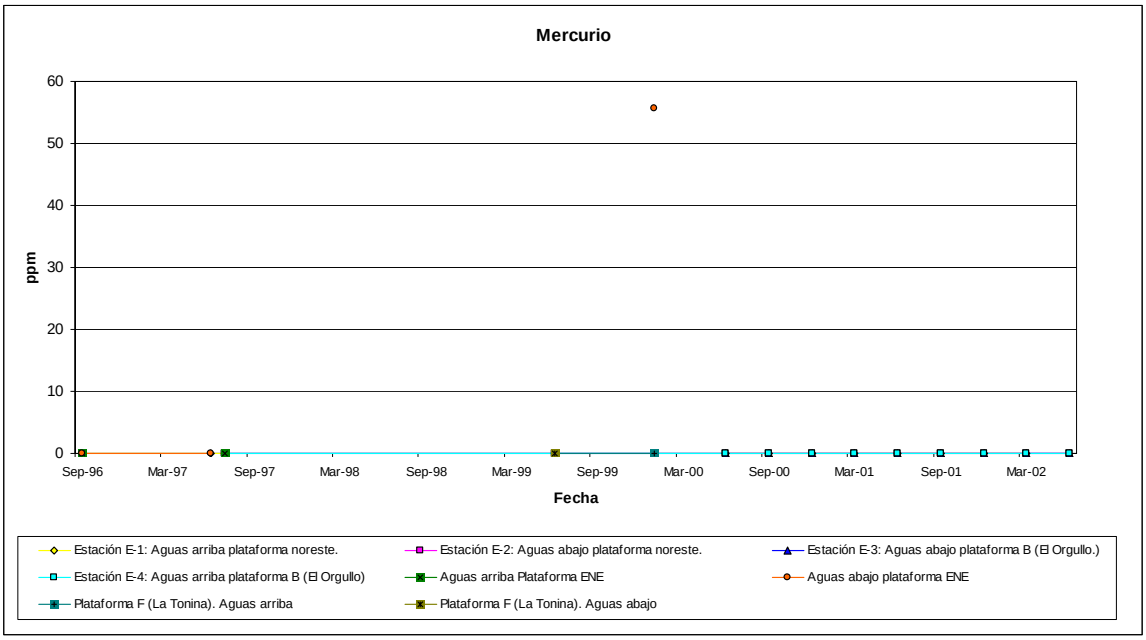
Gráfico N 24: Zinc



Cuadro N 25: Mercurio

Mercurio (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	0,05	0	0,05			0,00	0	0	0,00	0	0	0	0	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	0,0		0,0			0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	< 0,01		0,03	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	< 0,01		< 0,01	0,00	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
Aguas arriba Plataforma ENE	0,05		0,01											
Aguas abajo plataforma ENE	0,08	0,0			56									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				0,00	0									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				0										

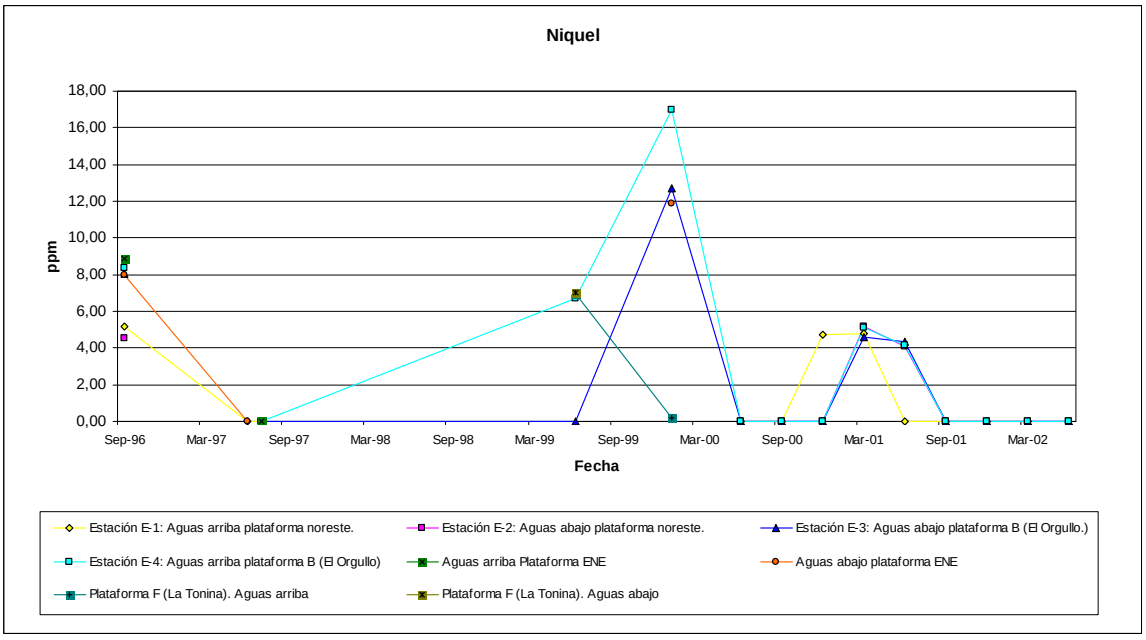
Gráfico N 25: Mercurio



Cuadro N 26: Níquel

Níquel (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	5,20	< 0,1	0,00			< 0,01	< 0,01	4,72	4,78	< 0,01	< 0,01	< 0.01	< 0.01	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	4,5		0,0			< 0,1	< 0,01	< 0,01	5,2	4,10	< 0,01	< 0,01	< 0.01	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	8,02		0	7,58	12,71	< 0,1	< 0,01	< 0,01	4,62	4,35	< 0,01	< 0,01	< 0.01	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	8,33		0,00	6,73	17,00	< 0,1	< 0,01	< 0,01	5,1	4,13	< 0,01	< 0,01	< 0.01	0
Aguas arriba Plataforma ENE	8,90		0											
Aguas abajo plataforma ENE	7,95	0,0			12									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				6,97	0,18									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				6,99										

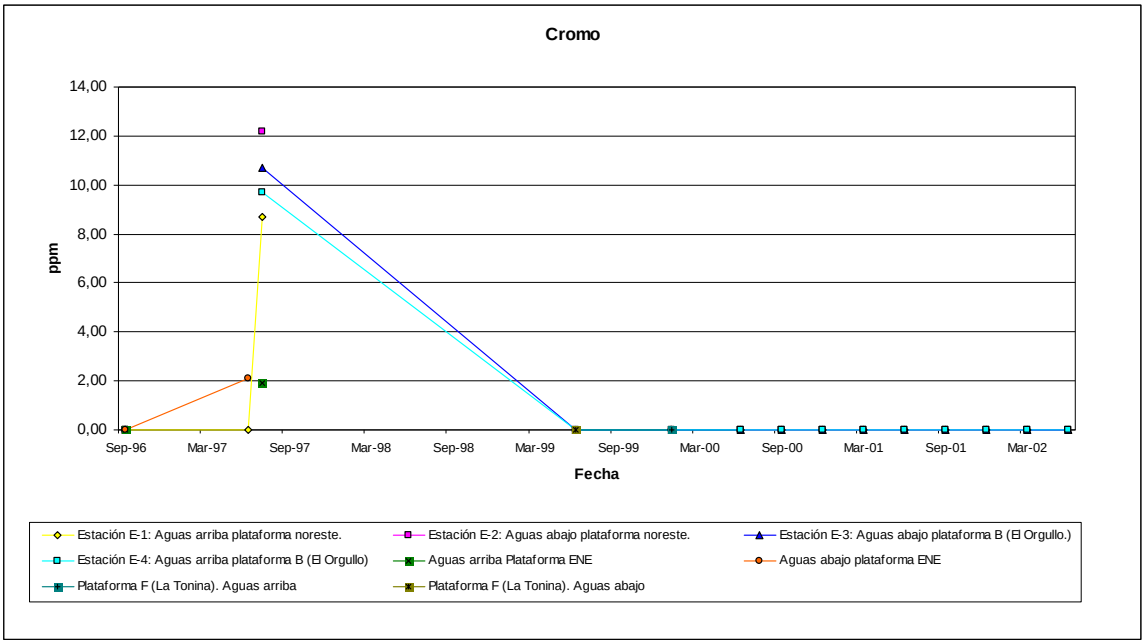
Gráfico N 26: Níquel



Cuadro N 27: Cromo

Cromo (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	0,00	0	8,70			0,00	0	0	0,00	0	0	0	0	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	0,0		12,2			0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	0		10,7	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	0,00		9,70	0,00	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
Aguas arriba Plataforma ENE	0,00		1,9											
Aguas abajo plataforma ENE	0,00	2,1			0									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				0,00	0,00									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				0										

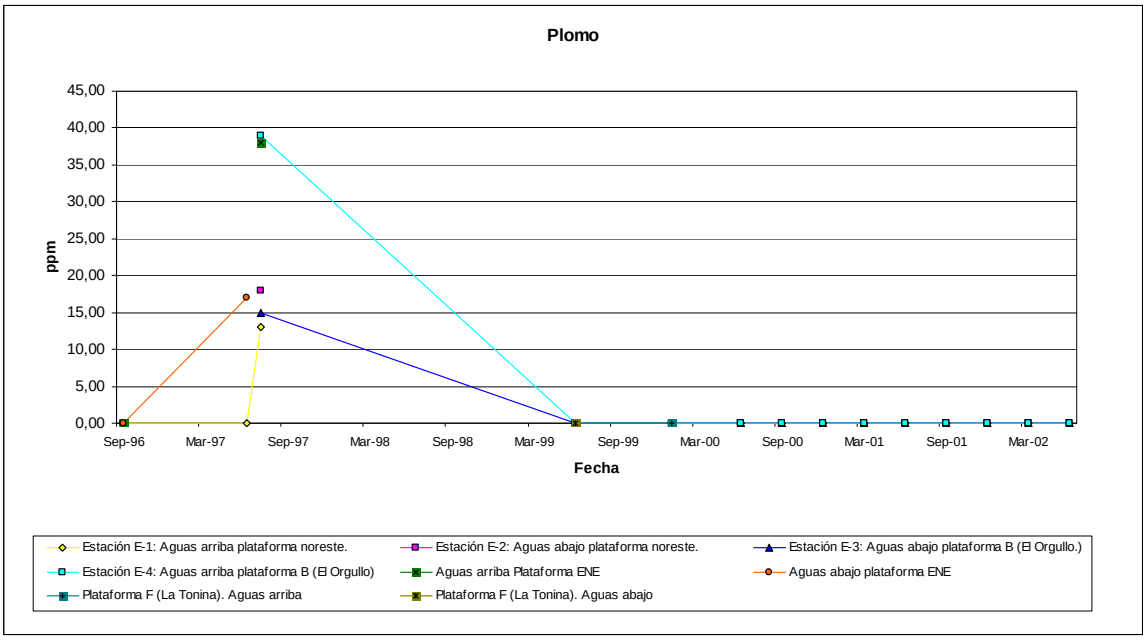
Gráfico N 27: Cromo



Cuadro N 28: Plomo

Plomo (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	0,00	0	13,00			0,00	0	0	0,00	0	0	0	0	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	0,0		18,0			0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	0		15	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	0,00		39,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
Aguas arriba Plataforma ENE	0,00		38											
Aguas abajo plataforma ENE	0,00	17,0			0									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				0,00	0,00									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				0										

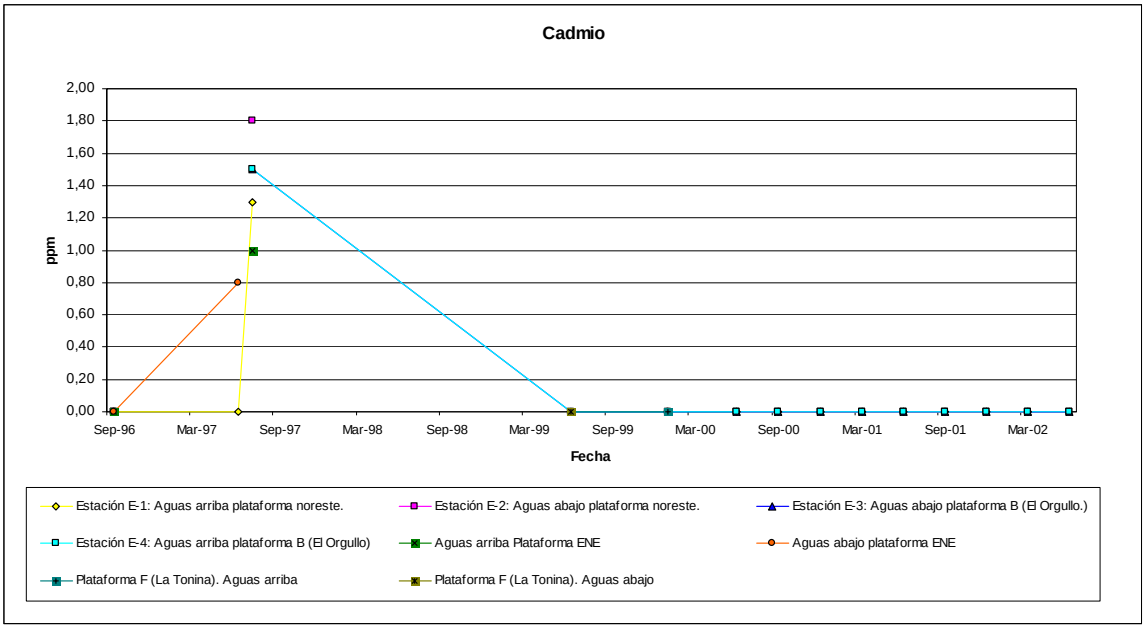
Gráfico N 28: Plomo



Cuadro N 29: Cadmio

Cadmio (ppm)	Sep-96	Jun-97	Jul-97	Jun-99	Ene-00	Jun-00	Sep-00	Dic-00	Mar-01	Jun-01	Sep-01	Dic-01	Mar-02	Jun-02
Estación E-1: Aguas arriba plataforma noreste.	0,00	0	1,30			0,00	0	0	0,00	0	0	0	0	
Estación E-2: Aguas abajo plataforma noreste.	0,0		1,8			0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0
Estación E-3: Aguas abajo plataforma B (El Orgullo.)	0		1,5	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0
Estación E-4: Aguas arriba plataforma B (El Orgullo)	0,00		1,50	0,00	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
Aguas arriba Plataforma ENE	0,00		1											
Aguas abajo plataforma ENE	0,00	0,8			0									
Plataforma F (La Tonina). Aguas arriba				0,00	0,00									
Plataforma F (La Tonina). Aguas abajo				0										

Gráfico N 29: Cadmio

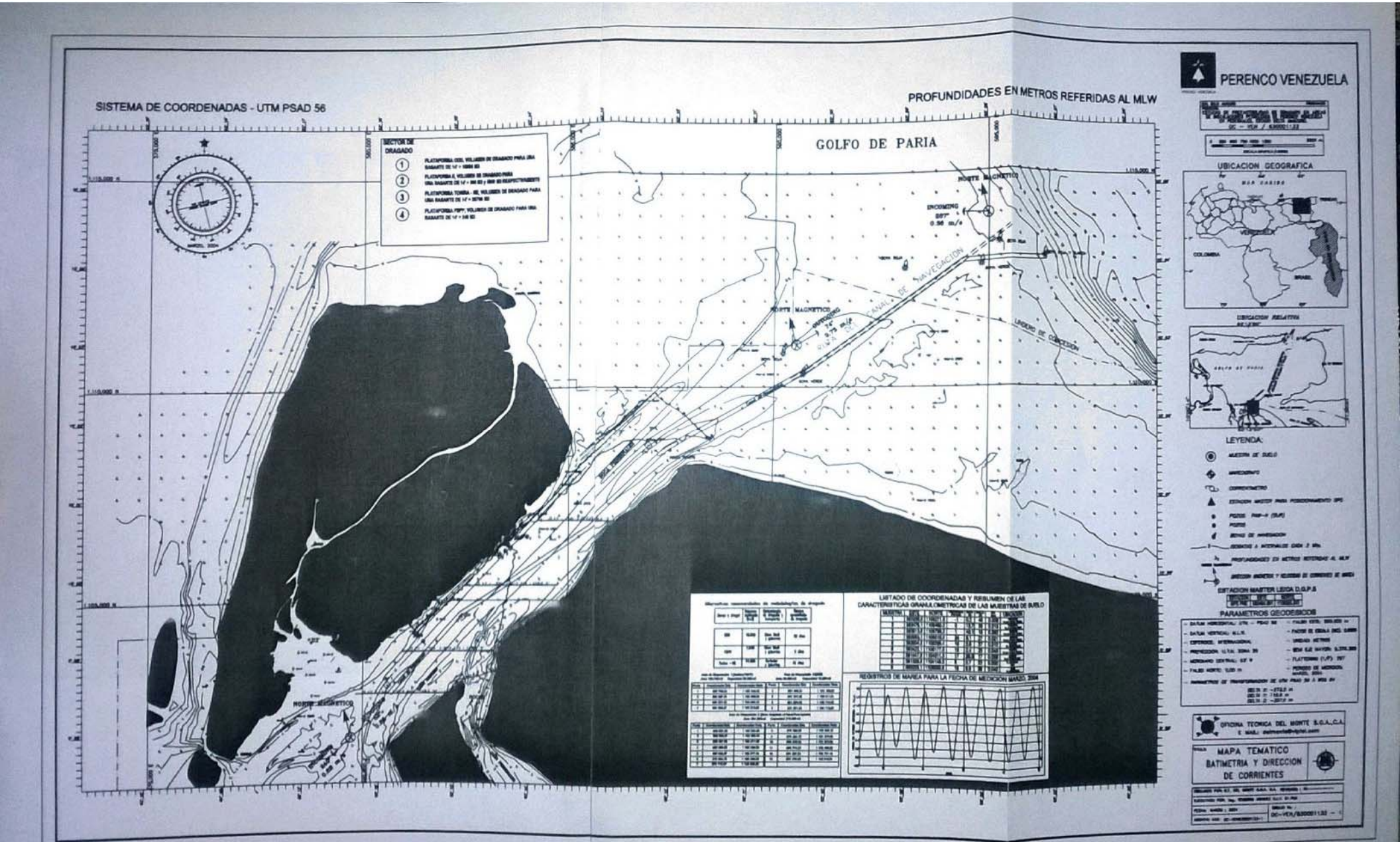


Anexo V: Mapa de Batometría y Dirección de Corrientes







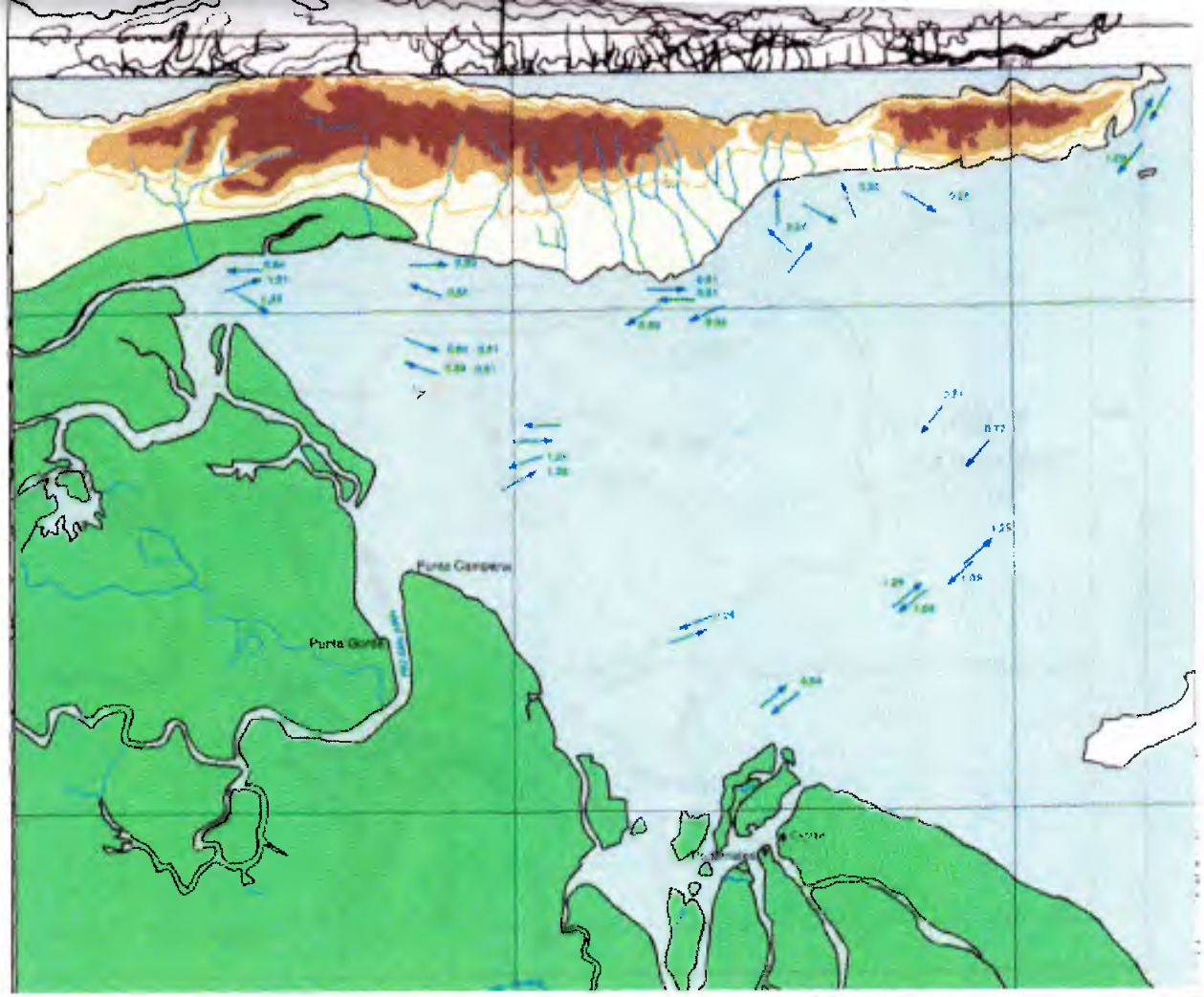

SISTEMA DE COORDENADAS - UTM PSAD 56
PROFUNDIDADES EN METROS REFERIDAS AL MLW
GOLFO DE PARIA
PERENCO VENEZUELA
SECTOR DE DRAGADO
NORTE MAGNETICO
CANAL DE NAVEGACION
LINDERO DE CONCESION
UBICACION GEOGRAFICA
LEYENDA
PARAMETROS GEODESICOS
LISTADO DE COORDENADAS Y RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELO
REGISTROS DE MAREA PARA LA FECHA DE MEDICION MARZO 2004
OFICINA TECNICA DEL MONTE S.C.A.,C.A.
MAPA TEMATICO
BATIMETRIA Y DIRECCION
DE CORRIENTES

Anexo VI: Estudio de Investigación de Laboratorio para Lavado de Arenas de Producción del Campo Pedernales









LEYENDA

Dirección de la corriente

Velocidad en m/seg.

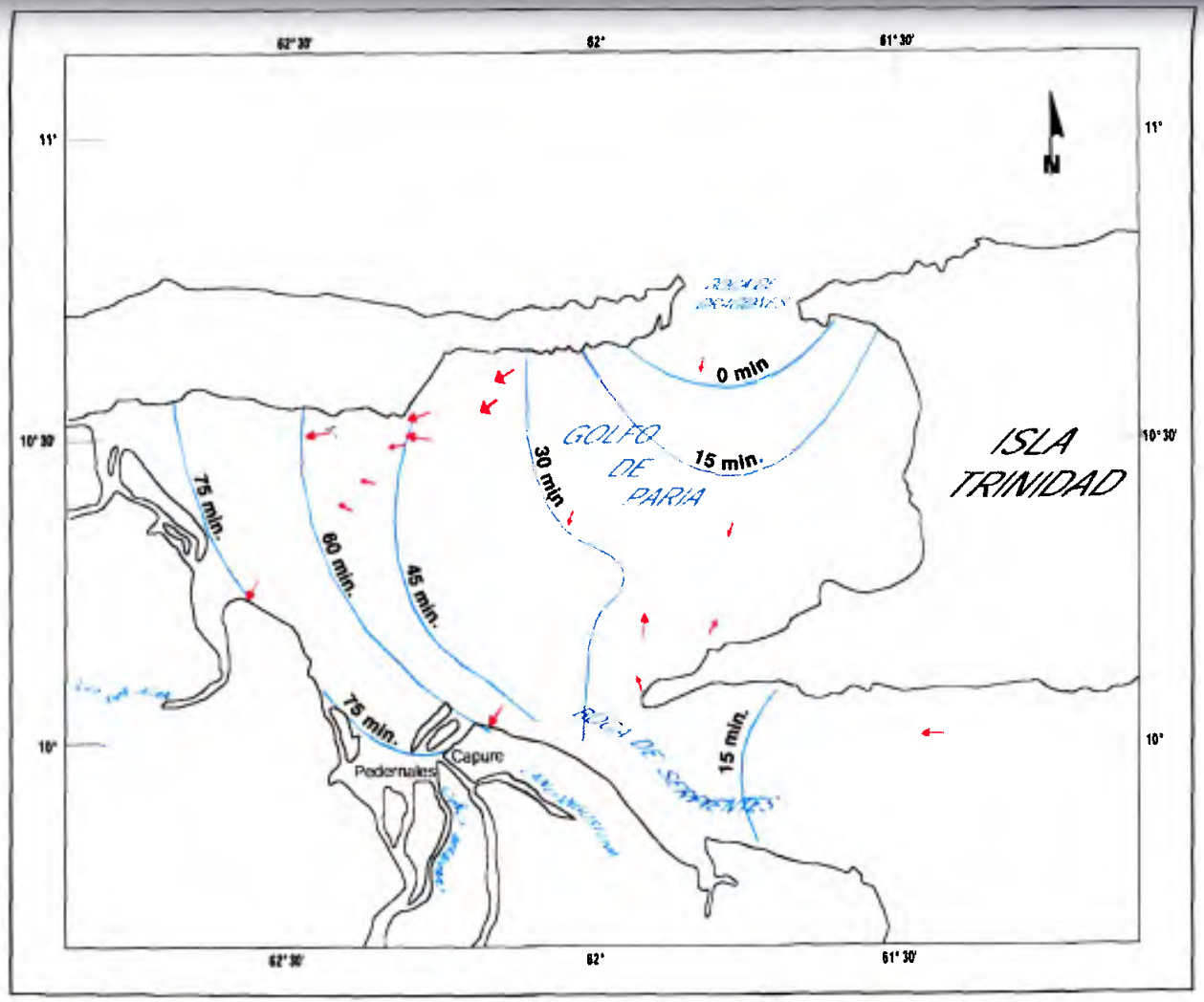
PERENCO VENEZUELA S.A.

Evaluación Ambiental Específica Proyecto Perforación de Pozos 2002. Campo Petrolero Pedernales

MAPA 7

CORRIENTES SUPERFICIALES

Diciembre, 2001



LEYENDA

Dirección de las Mareas

15 min. Velocidad de las Corrientes de Marea

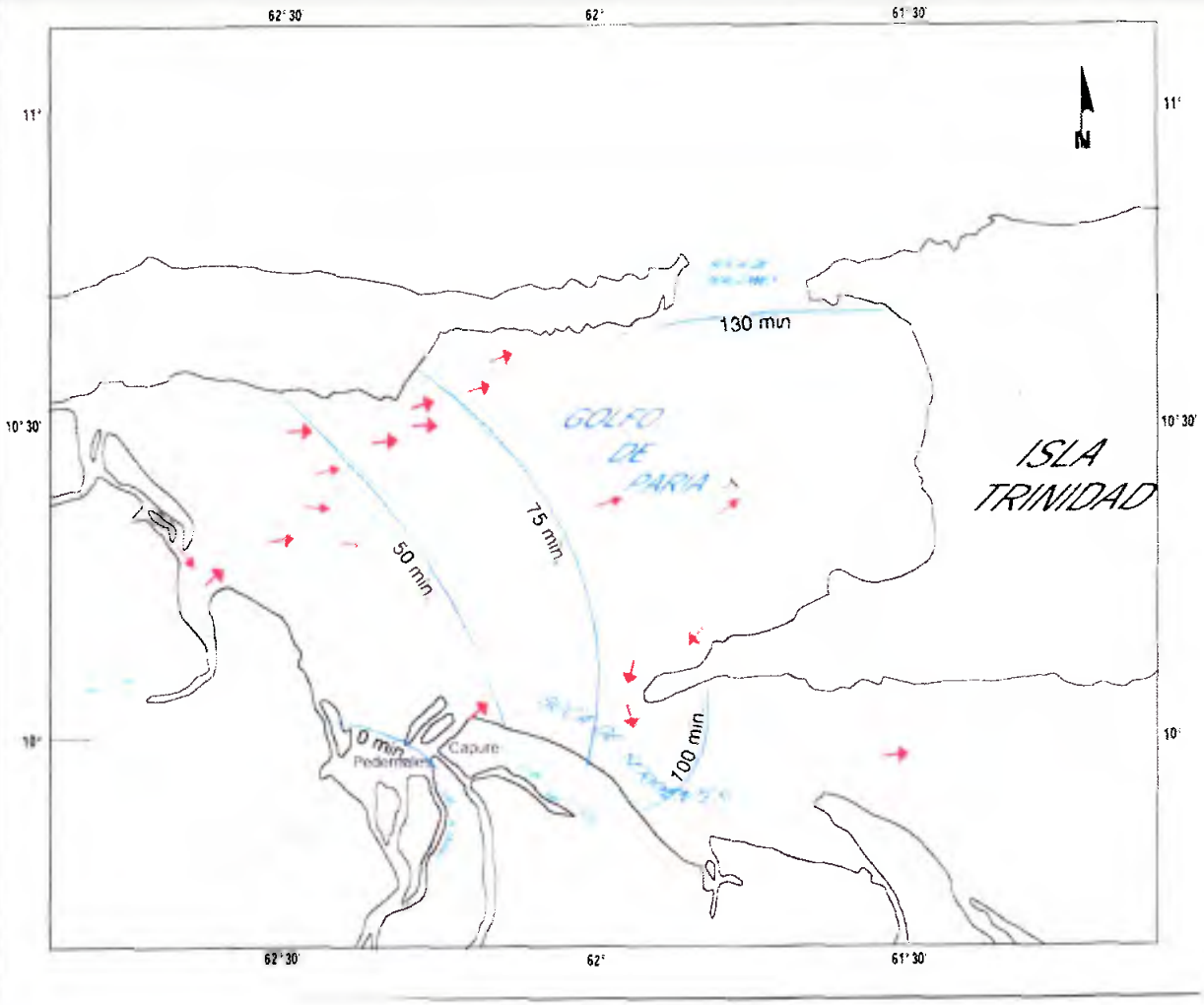
PERENCO VENEZUELA S.A.

Evaluación Ambiental Específica Proyecto Perforación de Pozos 2002.
Campo Petrolero Pedernales

MAPA 5

MAREA ENTRANTE

Diciembre, 2001



LEYENDA

- Dirección de las Mareas
- 15 min Velocidad de las Corrientes de Marea

PERENCO VENEZUELA S.A.

Evaluación Ambiental Específica Proyecto Perforación de Pozos 2002.
Campo Petrolero Pedernales

MAPA 6

MAREA SALIENTE

Diciembre, 2001

Anexo VI: Estudio de Investigación de Laboratorio para Lavado de Arenas de Producción del Campo Pedernales



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO PARA LAS ARENAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Luis García
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Jean Michel Bonnet

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título De Ingeniero Químico Por el Br. Hermoso Paiva Jennifer Milagros

Caracas, Junio 2003.

5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El propósito de esta sección del trabajo, es describir la metodología llevada a cabo para la realización de la presente investigación.

Para cubrir con los objetivos planteados se utilizó la siguiente metodología:

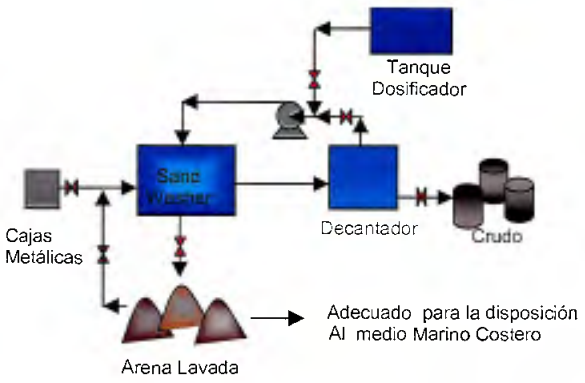
5.1 Revisión bibliográfica sobre:

- Tecnologías existentes para el tratamiento de desechos contaminados.
- Caracterización ecológica del área de Pedernales.
- Características de la arena del campo Pedernales.
- Normativa Ambiental, que se debe aplicar en el tratamiento de los desechos sólidos contaminados.

5.2 Ensamblaje y puesta en marcha del Sistema de Lavado.

Para cumplir con los objetivos planteados, fue necesario la implementación de un sistema para el lavado de las arenas donde se realizaron las pruebas. El lavado era por cargas y para esto el sistema contaba de 1 tanque de plástico con una capacidad de 35 Lt., donde se realizó el proceso de lavado de las arenas. Para ello se tomó una cantidad

Figura Nº 11: Diagrama de Bloque del Proceso (DBP)



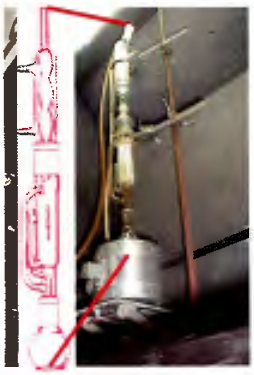
de arena contaminada con crudo y se procedió a limpiar las arenas con la ayuda de una bomba reciprocante, en la presente figura Nº 11 se tiene un diagrama de bloque de la Planta Piloto instalada.

5.3 Se requirió el adiestramiento en el uso de los equipos de laboratorio en función de adquirir las destrezas fundamentales relacionadas con el manejo de estos. Y análisis de las muestras inicial de arena impregnada con crudo, el cual se realizó en el equipo Soxhlet.

5.4 Se realizaron 12 corridas de limpieza donde se evaluaron parámetros de volumen de arena a tratar, tiempo de lavado y cantidad de agua utilizada en el lavado. El procedimiento seguido en el lavado fue el siguiente:

- Se pesaba la muestra de arena a lavar con ayuda de la balanza analítica.
- Se colocaba la muestra de arena a lavar en el recipiente de plástico.
- Se realizaba el proceso de lavado con ayuda de la bomba reciprocante.
- Una vez culminada esta se dejaba decantar la mezcla por 1 hora, para garantizar la decantación de todos los granos de arena.
- Se procedía a retirar la capa de crudo y agua ubicada en el tope.
- Se tomaba una muestra de esta lavada, se colocaba en un beaker previamente identificado y se llevaba a la estufa a una temperatura de 60 °C, por un tiempo de 2 horas para eliminar el agua en la muestra.
- Se dejaba enfriar a temperatura ambiente por un periodo de una hora.

5.5 Caracterización de los productos obtenidos mediante las determinaciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) y de aceites y grasas, para lo cual se empleo la



extracción Soxhlet, el cual se puede visualizar en la foto Nº 9, consistió en:

- Se tomó un dedal y se pesó en la balanza analítica, y se registró en la Tabla correspondiente en la nomenclatura de masa del dedal

Foto Nº 9: Equipo de Extracción Soxhlet

- La muestra obtenida de la estufa, una vez fría, se agregó en el dedal y se procedió nuevamente a pesar, anotando el valor en la tabla correspondiente a la prueba en masa del dedal + muestra sin caracterizar.
- Se toman 125 ml de disolvente diclorometano y se agregan en el balón aforado.
- Se coloca el dedal dentro del equipo de extracción.
- Se verifica que todas las piezas encajen perfectamente, para evitar perdidas de diclorometano y largos tiempo de extracción.
- Se abre la llave de agua, a un flujo medio para evitar fugas de dicloromentano por el tope de equipo.
- Se enciende la resistencia y se regula a una temperatura de 140 °C.
- Una vez comenzado el proceso de extracción se deja en reflujo por un tiempo de 2 horas, o hasta observar el diclorometano limpio como se observa en la foto Nº 11 y no como se muestra en la foto Nº 10.



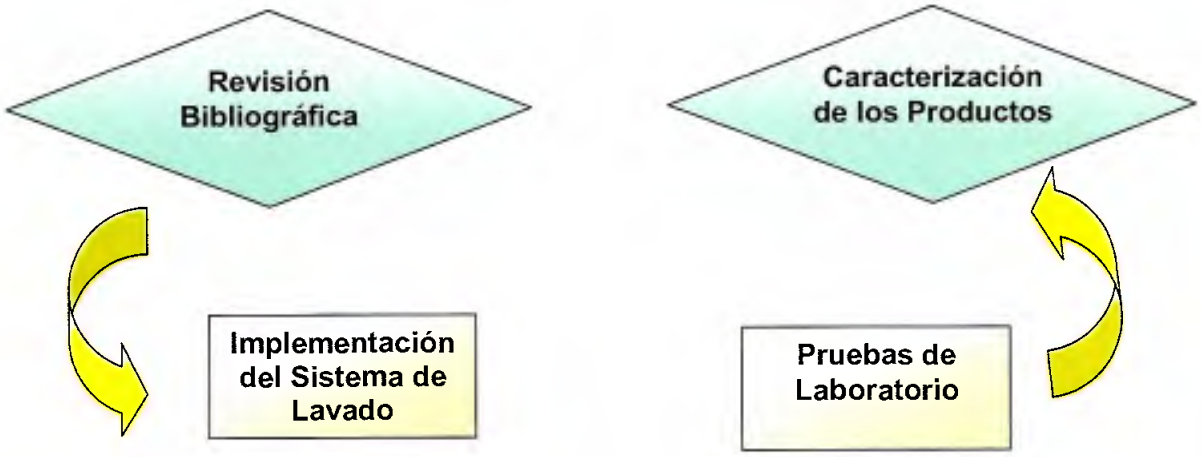
Foto Nº 10: Antes de la Extracción Soxhlet

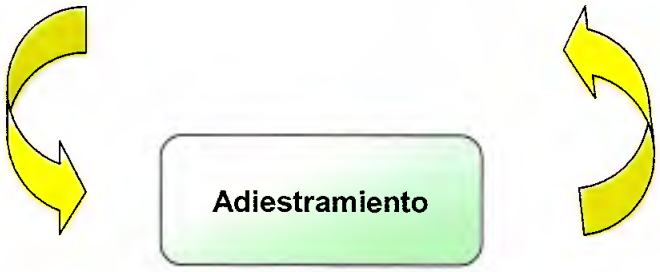


Foto Nº 11: Después de la Extracción Soxhlet

- e desmonta el sistema y el dedal se coloca en un beaker a temperatura ambiente por un periodo de 5 horas para asegurarnos que el diclorometano se haya evaporado completamente y este luego no afecte en mi peso final.
- Se pesa el dedal nuevamente y se registra el valor en la tabla en el renglón masa del dedal + muestra caracterizada.

5.6 Esquema




Adiestramiento

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El propósito de esta sección del trabajo, es presentar los resultados y el análisis de estos, obtenidos con la realización de la presente investigación.

5.2 PRUEBAS DE LABORATORIO

La primera prueba realizada fue la caracterización de la muestra original, para lo cual la arena contaminada con crudo traída del campo fue sometida al proceso de caracterización mediante el equipo de Extracción Soxhlet, cabe destacar que la muestra fue colocado en la estufa para evaporar el agua de la arena y el crudo, debido a que ésta influye en el peso inicial. El tiempo en la estufa fue de 60 °C por 4 horas.

Dicha prueba arrojo los resultados presentados en la Tabla Nº 12.

Tabla Nº 12: **Caracterización de la Muestra Patrón**

	Masa del dedal, m_{d1} (gr. ±0,001)	**Masa del dedal + muestra sin caracterizar, M_{msc1}, (gr. ±0,001).**	**Masa del dedal + muestra caracterizada, M_{mc1}, (gr. ±0,001)**
Muestra Patrón	19,628	45,084	43,560

Con los datos de la Tabla Nº 12 se calcula el porcentaje de crudo de la muestra original obteniéndose un porcentaje en peso de 5,9% lo que nos indica que tal como se encuentra la arena al salir del proceso de la FSPP, no se puede disponer al medio ambiente ya que no cumple con la normativa ambiental, que indica que el máximo porcentaje en peso de totales de hidrocarburos en la arena es 1%.

Se confirma que los valores de la caracterización utilizando el equipo de extracción Soxhlet son acertados y semejantes a los valores obtenidos de la caracterización realizada por el Laboratorio Corelab tal como se muestra en el anexo Nº 1, que se encuentra certificado por el Ministerio del Ambiente y en donde se puede observar que el porcentaje total de hidrocarburos presentes en la arena de producción del Campo Pedernales es de 5%.

5.2.1 Limpieza con Agua a Presión

La primera limpieza se realizó utilizando únicamente agua a presión sobre la arena contaminada, con un tiempo de lavado de 2 min. la cual se fijó aleatoriamente para tener una base, sobre el tiempo necesario para la limpieza y a partir de los resultados obtenidos comenzar a variar la cantidad de agua a utilizar.

La bomba utilizada para las pruebas a escala piloto, fue una bomba reciprocante, que trabaja a alta presión, es denominada QL-2100G y los datos técnicos son los presentados en la Taba Nº 13. La bomba utilizada en el proceso de lavado de las arenas se puede observar en la Foto Nº 12.



Foto Nº 12: Bomba reciprocante utilizada en el lavado

Tabla Nº 13: **Datos técnicos de la bomba QL-2100G**

Voltaje de la red (V)	110
Frecuencia de la red (Hz)	60
Potencia de entrada (W)	1200
Presión de funcionamiento (bar)	70
Presión máx. de funcionamiento (bar)	140
Consumo de agua (l/min)	6
Presión máx. de alimentación del agua (bar)	3
Temperatura máx. del agua (ºC)	50
Peso (Kg)	12

Durante los 2 minutos de la primera lavada se distribuyó uniformemente el agua a presión sobre toda la superficie de arena en el recipiente y no en un solo punto, finalizada esta limpieza la mezcla se dejó en reposo por un tiempo de 1 hora, tiempo suficiente para dejar decantar las partículas de arena, seguidamente fue retirada el agua y el crudo de la arena, de la cual se tomó una muestra para ser caracterizada, donde los resultados arrojados de esta prueba se encuentran en la Tabla N° 14, y el análisis obtenidos del proceso de caracterización se muestran en la Tabla N° 15. En la Foto N° 13 se puede apreciar el chorro a presión utilizado en el proceso de limpieza.



Foto N° 13: Chorro a presión

Tabla N° 14: **Caracterización de limpieza con agua a presión durante 120 seg.**

	Lavado con 120 seg. agua a presión
Masa del dedal, m_{d2} (gr. ±0,001)	20,142
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc2}, (gr. ±0,001).	42,652
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc2}, (gr. ±0,001)	45,650
Volumen de agua utilizada, V_{a1} (lt)	12
Masa de arena lavada M_{ar1} (Kg)	1

Tabla N° 15: **Porcentaje de Hidrocarburos luego de 120 seg. de lavado con agua a presión.**

Para un tiempo de 120 seg. de lavado Totales de Hidrocarburos, TPH_{120seg} (% en peso)	0,005

Esta primera prueba dió muy buenos resultados ya que la cantidad de crudo retirada de la arena fue de un 99,9%, y visualmente también podemos pudimos apreciar una notable diferencia y se aprecia en la foto Nº 14 antes de la limpieza y en la foto Nº 15 después de la limpieza.



Foto Nº 14: Muestra Original

Foto Nº 15: Muestra después de 120 seg. de lavado

Este porcentaje de limpieza se da ya que, la arena y el crudo no están unidos químicamente sino que el tipo de unión física. La separación de la unión existente se rompe debido a la presión aplicada, que fue generada por el agua a alta presión.

La intención es ahora lograr la misma separación basado en el mismo concepto de utilizar únicamente agua a presión pero con la menor cantidad posible de la misma por eso se realizó la limpieza pero con un tiempo de duración de 60 seg. y los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla Nº 16.

Tabla Nº 16: **Caracterización de la limpieza con agua a presión durante 60 seg.**

	Lavado con 60 seg. agua a presión
Masa del dedal, m_{d3} (gr. ±0,001)	20,452
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc3}, (gr. ±0,001).	38,792
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc3}, (gr. ±0,001)	38,788
Volumen de agua utilizada V_{a2}, (lt)	6
Masa de arena lavada Mar2 (Kg)	1

Y el porcentaje de TPH correspondiente a dicha prueba luego de la caracterización es el presentado en la Tabla Nº 17:

Tabla Nº 17: **Porcentaje de Hidrocarburos luego de 60 seg. de lavado con agua a presión**

Para un tiempo de 60seg. de lavado Totales de Hidrocarburos, TPH_{60seg} (% en peso)	0,010

Con la obtención de dicho valor la diferencia entre la primera lavada y la segunda difieren en el tiempo de lavado que es directamente proporcional al volumen de agua a utilizar para la limpieza.

En el primer caso usamos 12 lts de agua y en el segundo caso 6 Lt. de agua exactamente la mitad de agua y los resultados en cuanto al porcentaje de TPH son de 0.005% y 0.01% respectivamente, con lo el agua a utilizar para la limpieza es inversamente proporcional al porcentaje de TPH después de la limpieza. Esto indica entonces que no es posible disminuir el porcentaje de TPH, reduciendo el tiempo de lavado, pero si hasta donde es posible limpiar con la menor cantidad de agua.

A pesar de que el porcentaje de TPH es más elevado en el presente caso que en el anterior, los resultados son buenos muy por debajo del límite establecido en el Decreto 2635, y en apariencia se observan limpias tal como podemos observar en la en la foto Nº 14 y 16 antes de limpiarla y después de la limpieza, respectivamente.



Foto Nº 14: Muestra Original



Foto Nº 16: Muestra después de 60 seg. de lavado

Luego de la caracterización con ayuda del equipo Soxhlet el porcentaje de hidrocarburos es de 0,01%, la cual es una arena limpia en un 99,8% pero ofrece una desventaja que es mucha cantidad de agua utilizada en la limpieza, por tal motivo se decidió se siguen realizando pruebas disminuyendo la cantidad de agua a utiliza.

El tercer caso de limpieza corresponde a un tiempo de 50 seg. Se siguió el mismo procedimiento indicado anteriormente y los resultados se muestran en la Tabla Nº 18, y la caracterización de la misma en la Tabla Nº 19.

Tabla Nº 18: **Caracterización de la limpieza con agua a presión durante 50 seg.**

	Lavado con 50 seg. agua a presión
Masa del dedal, m_{d4} (gr. ±0,001)	19,970
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc4}, (gr. ±0,001).	45,355
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc4}, (gr. ±0,001)	45,328
Volumen de agua utilizada V_{a3}, (lt)	5
Masa de arena lavada M_{ar3} (Kg)	1

Tabla Nº 19: **Porcentaje de Hidrocarburos luego de 50 seg. de lavado con agua a presión**

Para un tiempo de 50 seg. de lavado Totales de Hidrocarburos, TPH_{50seg} (% en peso)	0,060

En este caso reduciendo la cantidad de agua utilizada en un 17% y el porcentaje de TPH aumentó pero dentro del límite establecido, físicamente se observa una arena limpia como se muestra en la foto Nº 17.



Foto Nº 17: Muestra después de 50 seg. de lavado

Disminuyendo nuevamente el volumen de agua a utilizar debido a las buenas condiciones presentadas por la arena en cuanto a su aspecto físico y a los valores obtenidos en la caracterización de TPH muy por debajo de lo establecido en el Decreto. La cuarta limpieza corresponde a un tiempo de lavado de 40 seg. y los resultados se presenta en la siguiente tabla.

Tabla Nº 20: **Caracterización de la limpieza con agua a presión durante 40 seg.**

	Lavado con 40 seg. agua a presión
Masa del dedal, m_{d5} (gr. ±0,001)	19,702
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc5}, (gr. ±0,001).	43,314
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc5}, (gr. ±0,001)	43,281
Volumen de agua utilizada V_{a4}, (lt)	4
Masa de arena lavada M_{ar4} (Kg)	1

Al realizar la caracterización del lavado con 4 Lt. de agua, que es el parámetro a modificar ya que la presión de trabajo no se puede variar, se obtiene un porcentaje de TPH indicado en la Tabla Nº 21.

Tabla Nº 21: **Porcentaje de Hidrocarburos luego de 40 seg. de lavado con agua a presión**

Para un tiempo de 40 seg. de lavado Totales de Hidrocarburos, TPH_{40seg} (% en peso)	0,076

La apreciación percibida luego de la limpieza es la mostrada en la Fotos Nº 18



Foto Nº 18: Muestra después de 40 seg. de lavado

Disminuyendo aún más la cantidad de agua a utilizar en el lavado para poder obtener el óptimo, en este caso reduciendo la cantidad de agua a 3 Lt., es obtenido lo presentado en la Tabla Nº 22 y 23.

Tabla Nº 22: **Caracterización de la limpieza con agua a presión durante 30 seg.**

	Lavado con 30 seg. agua a presión
Masa del dedal, m_{d6} (gr. ±0,001)	20,630
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc6}, (gr. ±0,001).	47,966
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc6}, (gr. ±0,001)	47,909
Volumen de agua utilizada V_{a5}, (lt)	3
Masa de arena lavada M_{ar5} (Kg)	1

Tabla Nº 23: **Porcentaje de Hidrocarburos luego de 30 seg. de lavado con agua a presión**

Para un tiempo de 30 seg. de lavado Totales de Hidrocarburos, TPH_{30seg} (% en peso)	0,119

La apreciación visual para este caso es la observada en la Foto Nº 14 y 19.

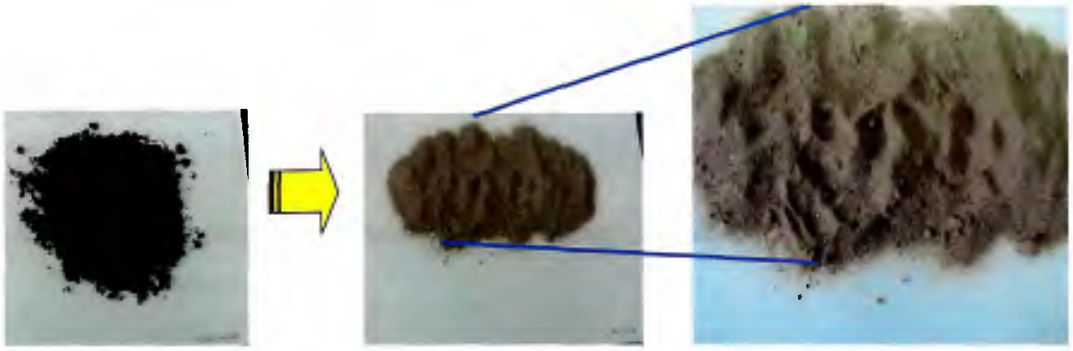


Foto Nº 14: Muestra Original

Foto Nº 19: Muestra después de 30 seg. de lavado

En este caso se bajo la cantidad de agua utilizar y a pesar de que el porcentaje de TPH dio mayor a los casos anteriores, se obtuvo una arena limpia al compararla con la muestra original, tal como observamos en las fotos.

La prueba a continuación realizada es reduciendo la cantidad de agua a utilizar a 2 lts. para 1 Kg. de arena y los datos obtenidos se presentan en la Tabla Nº 24 y porcentaje de TPH luego de la caracterización en la Tabla Nº 25.

Tabla Nº 24: **Caracterización de la limpieza con agua a presión durante 20 seg.**

	Lavado con 20 seg. agua a presión
Masa del dedal, m_{d7} (gr. ±0,001)	20,401
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc7}, (gr. ±0,001).	51,101
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc7}, (gr. ±0,001)	50,968
Volumen de agua utilizada V_{a6}, (lt)	2
Masa de arena lavada M_{ar6} (Kg)	1

Tabla Nº 25: **Porcentaje de Hidrocarburos luego de 20 seg. de lavado con agua a presión**

Para un tiempo de 30 seg. de lavado Totales de Hidrocarburos, TPH_{20seg} (% en peso)	0,260

La apreciación visual para este caso es la observada en la Foto Nº 20.

Foto Nº 20: Muestra después de 20 seg. de lavado



Foto Nº 19: Muestra después de 30 seg. de lavado

En la foto presentadas anteriormente Foto Nº 19, se observa más limpia que la foto Nº 20, pero la diferencia no es muchas, ambas se encuentran por debajo de lo establecido en el Decreto.

Se deduce que seguir bajando el tiempo de lavado es posible porque hasta el momento todos han arrojado resultados favorables, seguimos rompiendo la unión física existente entre la arena y el crudo, recuperamos el crudo con poco porcentaje de agua y es acorde con lo establecido por el Decreto, por lo tanto, la siguiente prueba se realiza con un tiempo de lavado de 10 seg y los resultados de la caracterización se presentan en la Tabla Nº 26 y en la Tabla Nº 27, se presenta el porcentaje de TPH luego de la caracterización.

Tabla Nº 26: **Caracterización de la limpieza con agua a presión durante 10 seg.**

	Lavado con 10 seg. agua a presión
Masa del dedal, m_{d8} (gr. ±0,001)	20,456
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc8}, (gr. ±0,001).	45,639
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc8}, (gr. ±0,001)	45,242
Volumen de agua utilizada V_{a7}, (lt)	1
Masa de arena lavada M_{ar7} (Kg)	1

Tabla Nº 27: **Porcentaje de Hidrocarburos luego de 10 seg. de lavado con agua a presión**

Para un tiempo de 30 seg. de lavado Totales de Hidrocarburos, TPH_{20seg} (% en peso)	0,870

En este caso resulta el mayor porcentaje de TPH de todas las pruebas realizadas, pero dentro de Decreto 2.635. Es importante destacar que la cantidad de agua es mucho menor, recuperando crudo al igual que las otras lavadas. En la Foto Nº 21 se observa la apreciación visual luego de la limpieza.



Foto Nº 14: Muestra Original



Foto Nº 21: Muestra después de 10 seg. de lavado

Al comparar todas las pruebas realizadas con agua a presión, se deduce que todas, limpian la arena a niveles acordes con lo establecido en el Decreto 2.635 como se puede apreciar en el gráfico Nº 12. A mayor cantidad de agua empleada en la limpieza menor porcentaje de Totales de Hidrocarburos presentes en la arena.

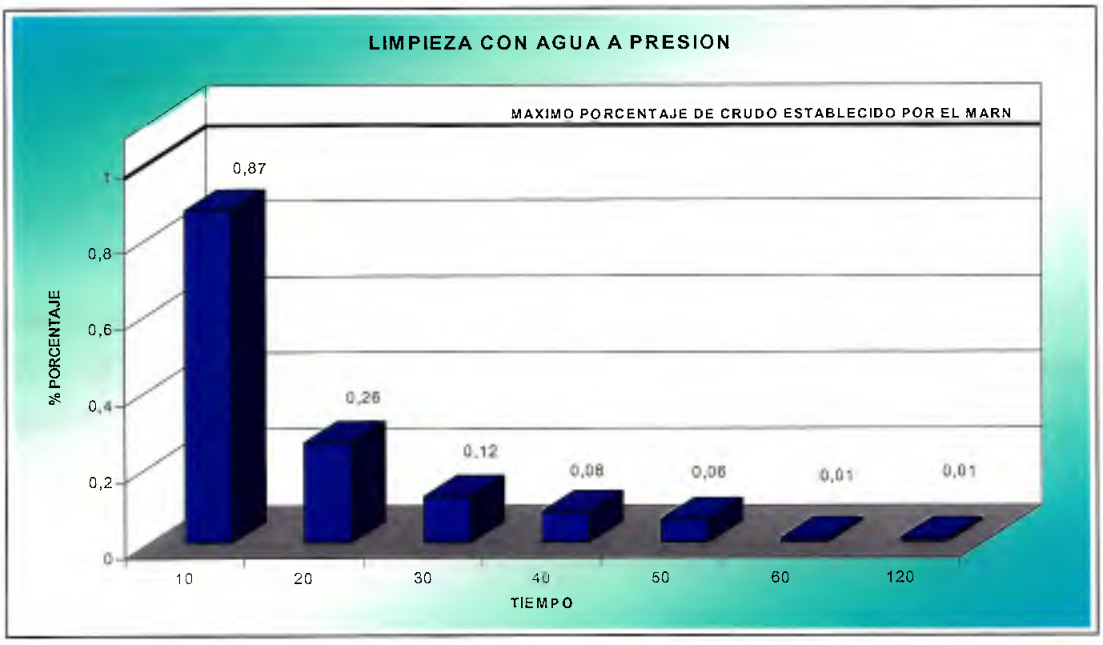


Figura Nº 12: Limpieza con agua a presión

Los resultados indican que este tratamiento es efectivo en la eliminación del crudo de la arena de producción, con lo cual se verifica la factibilidad técnica.

La mejor relación cantidad de agua Vs. Porcentaje de TPH la presenta la limpieza con un tiempo de lavado de 20 seg. Con un % TPH de 0.26%, ya que con aumentar la cantidad de agua al doble, el porcentaje de TPH disminuye en un 60% y este mismo comportamiento se aprecia en la figura Nº 13.

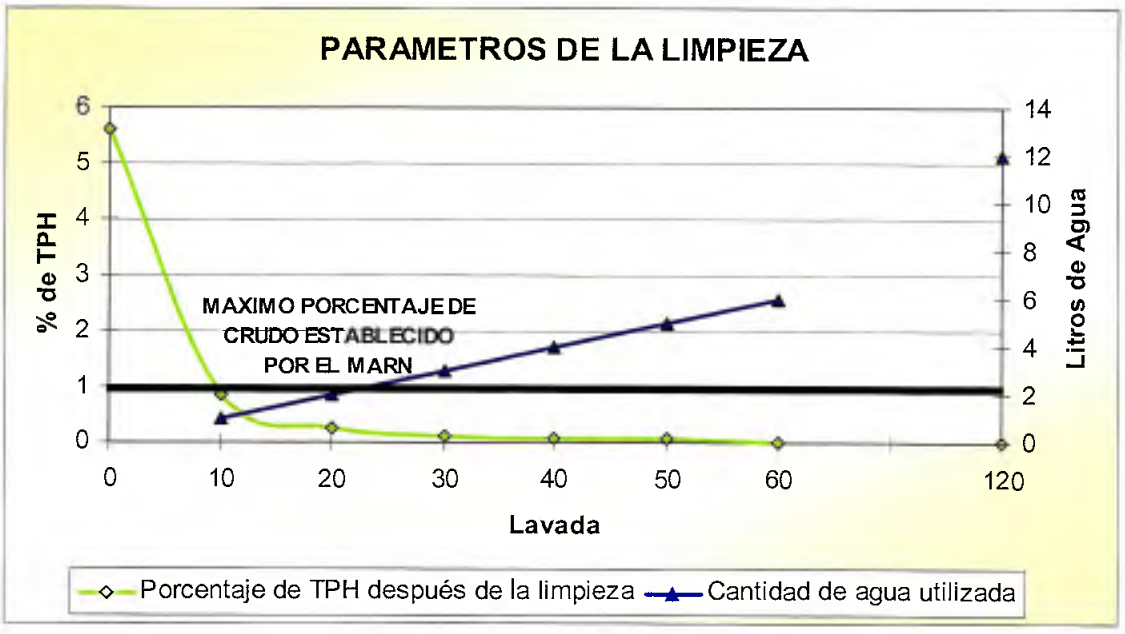


Figura Nº 13: Parámetros de la limpieza

Existe un cambio mayor entre la limpieza entre 10 y 20 seg que entre la limpieza de 20 y 30 seg. Donde se puede concluir que es mejor aplicar 20 seg de limpieza lo que equivale a 2 Lt. de agua por cada kilo de arena de producción.



Foto Nº 14: Muestra Original

Foto Nº 20: Muestra después de 20 seg. de lavado



Foto Nº 21: Muestra después de 10 seg. de lavado

Foto Nº 19: Muestra después de 30 seg. de lavado

5.2.2 Limpieza con Enzimas

Para realizar la limpieza esta limpieza, se utilizó un producto enzimático, certificado por Intevep, el cual es soluble el agua, trabaja muy bien a bajas concentraciones, es reusable y biodegradable.

Para la primera prueba se utilizo una solución de 25% enzima y 75% agua y los resultados se presentan en la Tabla Nº 28 y 29.

Tabla Nº 28: **Caracterización de la limpieza con enzima al 25%.**

	Lavado con enzima al 25%
Masa del dedal, m_{d9} (gr. ±0,001)	20,598
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc9}, (gr. ±0,001).	53,000
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc9}, (gr. ±0,001)	52,847
Volumen de agua utilizada V_{a8}, (lt)	0.2
Masa de arena lavada M_{ar8} (Kg)	0,1

Tabla Nº 29: **Porcentaje de Hidrocarburos de la limpieza con enzima al 25%**

Limpieza con enzima al 25%, Totales de Hidrocarburos, $TPH_{25\%\ enzima}$(% en peso)	0,289

La segunda prueba realizada con la enzima fue con un valor de 5% enzima y 95% agua para ver cuanto era lo mínimo permitido en concentración de enzima para obtener un TPH dentro de lo establecido por la Normativa Venezolana. Los resultados se muestran en la Tabla Nº 30 y 31.

Tabla Nº 30: **Caracterización de la limpieza con enzima al 5%.**

	Lavado con enzima al 5 %
Masa del dedal, m_{d10} (gr. ±0,001)	20,405
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc10}, (gr. ±0,001).	45,629
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc10}, (gr. ±0,001)	45,258
Volumen de agua utilizada V_{a9}, (lt)	0,2
Masa de arena lavada M_{ar9} (Kg)	0,1

Tabla Nº 31: **Porcentaje de Hidrocarburos luego la limpieza con enzima al 5%**

Limpieza con enzima al 5%, Totales de Hidrocarburos, $TPH_{5\%\ enzima}$(% en peso)	0,813

Este alto porcentaje de separación se da debido a que las enzimas son catalizadores orgánicos que facilitan y aceleran la mayoría de las reacciones bioquímicas, sin intervenir en los reactivos, por lo cual no se consume en el proceso. También produce una reacción que es capaz de romper la cadena de hidrocarburos que impregna los sólidos, cambiando su humectabilidad de oleofílicos a oleofóbicos, mejorando la separación agua-crudo.

Al comparar las pruebas realizadas con enzimas con las de agua a presión se tiene, que ambas cumplen con el objetivo que es retirar el crudo de los sólidos dentro de lo establecido en el decreto, y se diferencian en que una separa a través de presión y otra mediante una enzima pero los valores de agua utilizados son iguales y el % de TPH similares ya que para el caso optimo de la limpieza con agua presión se lavó 1 Kg de arena con 2 lts de agua y un porcentaje de TPH de 0,26%, con la enzima se obtuvo un % TPH de 0,29 se utilizó extrapolando las cantidades para 1 Kg. de arena y 2 lts. de agua igualmente Por lo tanto el análisis económico decidirá que opción es la apropiada.

5.2.3 Limpieza con Agua a Presión con Entrada Tangencial

A manera de definir el diseño utilizado para la limpieza de las arena se decidió realizar una prueba con entrada tangencial a presión, pensando que este aumentaría la eficiencia del proceso ya que al tener una entrada lateral por la parte inferior del envase ayudaría a que los sólidos sedimentaras y el crudo separado por la presión se elevara con en agua. Los resultados obtenidos de esta prueba son los presentados en la Tabla Nº 32 y 33.

Tabla Nº 32: **Caracterización de la limpieza con agua a presión 10 seg. y entrada tangencial**

	Lavado con enzima al 5 %
Masa del dedal, m_{d11} (gr. ±0,001)	20,272
Masa del dedal + muestra sin caracterizar M_{msc11}, (gr. ±0,001).	42,928
Masa del dedal + muestra caracterizada M_{mc11}, (gr. ±0,001)	42,117
Volumen de agua utilizada V_{a10}, (lt)	1
Masa de arena lavada M_{ar10} (Kg)	1

Tabla Nº 31: **Porcentaje de Hidrocarburos de la limpieza con agua a presión 10 seg. y entrada tangencial**

Limpieza con enzima al 5%, Totales de Hidrocarburos, TPH_{ET} (% en peso)	1,889

Al evaluar el resultado obtenido el porcentaje total de hidrocarburos se encuentra fuera de la normativa, y esto ocurre porque es sistema pierde presión al tener la entrada tangencial ya que el primer contacto lo tiene con las paredes del recipiente y no con la arena que es lo que eficiente para que se rompa la unión física existente entre el sólido y el petróleo y se puedan separar por diferencia de densidades.

Con todo esto, se corrobora que la mejor opción es el lavado a presión, donde este entre de manera directa y tenga la menor cantidad de perdida de presión por tuberías con codos, conexiones entre otras.

5.3 OPCIONES DE DISEÑO

Una vez realizadas las pruebas y analizados los resultados se presentan las opciones de diseños que se deben construir para obtener a escala macro los mismos resultados.

5.3.1 **Diseño de Limpieza con Agua a Presión**

La primera opción consiste en un proceso por cargas, el cual esta constituido por un tanque donde las arenas contaminadas con crudo van a ser colocadas. En el tope del tanque se van a situar unos orificios a lo largo del tanque por donde se va a inyectar el agua a presión, proveniente de una bomba industrial reciprocante que genere la presión de trabajo requerida. En la figura Nº 14 podemos observar el diagrama de este diseño.

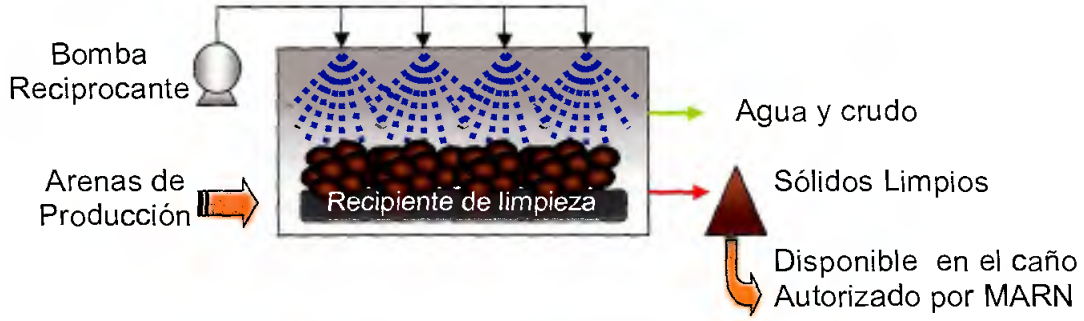


Figura Nº 14: Opción de Diseño 1

Basándonos en los resultados obtenidos y los datos de producción las especificaciones del equipo deben ser:

Capacidad del tanque: 8 m^3
Capacidad de arena a limpiar diaria: 2 m^3/día o 5200 Kg/día
Presión de trabajo: 140 bar
Cantidad de agua a utilizar: 10.400 lts ó 20 Bbls de agua
Dimensiones del equipo: 4 m de largo* 2 m de ancho * 1 m de alto

Luego de finalizada la limpieza se debe enviar a un equipo de separación mecánica que separe dos fases, líquidos de sólidos, el cual puede se un equipo de zaranda vibratoria o un decantador.

Donde por un lado se obtendrían los líquidos compuesta la mezcla por agua y crudo los cuales deben ser enviados a la Plataforma de Procesos Flotante Sumergible para su posterior separación y otra corriente de sólidos limpios a los cuales se les debe aplicar una caracterización para verificar su porcentaje de hidrocarburos presentes.

La cantidad de agua a utilizar no es un problema ya que diariamente la producción de agua en el Campo Pedernales es de aproximadamente 1000 Bbls de agua, tal como se menciono anteriormente.

5.3.2 **Diseño de Limpieza con Enzimas**

La segunda opción de diseño es de utilizarse la enzima, disponer de un sistema que consta de tres equipos tal como se observa en la Figura Nº 16. El primer equipo es un mezclador dinámico el cual esta conformado por un embudo gigante que recibe los sólidos contaminados con hidrocarburos procedentes de la cajas metálicas, conjuntamente con la enzima que es el producto limpiador. Allí la mezcla es succionada al vació, por una motobomba que realiza una mezcla a alta velocidad, luego de la limpieza los sólidos son enviados a través de mangueras de 4 pulgadas de diámetros a el segundo equipo que es la zaranda vibratoria donde se separan los sólidos limpios que se encuentran listo para ser dispuestos en forma segura ambientalmente y por otro lado se obtiene el producto limpiador usado, que posteriormente va a un tanque.

La función principal del tanque es sacar la nata de hidrocarburos de la parte superior y los sedimentos más finos que decantan del mismo en la parte cónica

inferior, la enzima recuperada pasa a un segundo tanque donde es acondicionado con productor limpiador no utilizado el cual se encuentra en un tercer tanque.

Del segundo tanque el producto acondicionado vuelve nuevamente al mezclador repitiéndose el proceso descrito anteriormente.

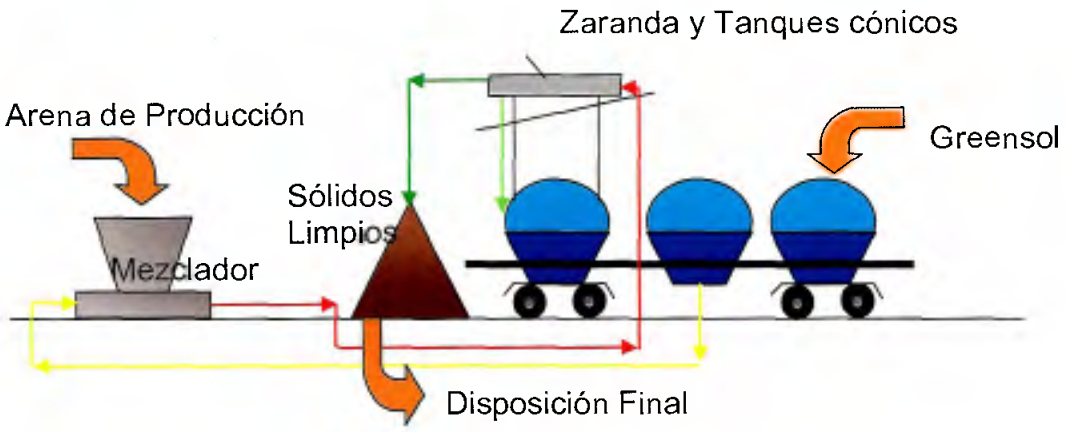


Figura N° 15: Opción de Diseño 2

Anexo VII: Folleto de Equipo CONSOLEFCA







Anexo VII: Folleto de Equipo CONSOLEFCA



Consolef, c. a.

Av. Libertador
C/ Av. Raúl Leoni
Edif. MOCA, Maturín
www.consolef.com

Teléfono 58 291 641 6311
Fax 58 291 641 7188
consolef@consolef.com

Informe Técnico : Construcción de un Bio-Reactor

Sistema de Tratamiento Basado en la Limpieza Bio-Mecánica de Sólidos Petrolizados.

Informe Técnico

Información general

Consolef, c.a es una empresa Venezolana para el suministro de servicios de tratamiento y disposición de efluentes contaminados de la industria petrolera, gas y afines, apoyados en una sólida inversión en investigación y desarrollo, así como la aplicación de las mejores tecnologías en el área ambiental.

El enfoque principal de la empresa esta basada en dos fundamentos:

Diseño y construcción de equipos para:

- Separación y control de sólidos, móviles, modulares y compactos.
- Equipos móviles para limpieza rápida de residuos sólidos petrolizados de perforación, producción y refinación.
- Almacenamiento, transporte y dosificación (landspreading) de residuos acondicionados.

Transporte, Tratamiento y Disposición Final de lodos, ripios de perforación y arenas contaminadas con hidrocarburos en nuestros Centros de acopio permisados.

Consolef, c. a. ha dedicado muchos de sus recursos al desarrollo de tecnologías destinadas a minimizar el impacto que ocasionan desechos tóxicos provenientes de los procesos industriales, muy especialmente los concemientes a la industria petrolera y gasifera.

Actualmente, estos desarrollos tecnológicos han probado ser excelentemente efectivas para nuestros clientes especialmente aquellos alcanzados en el progreso de limpieza de los sólidos asociados al crudo proveniente de formaciones en pozos profundos petroleros y pozos de gas. Unas de estas tecnologías es el Biorreactor© o "Equipo de Limpieza Biomecánica", llamado así ya que para la limpieza emplea un producto, también novedoso, de nombre Greensol©, a base de enzimas, biodegradable, que conjuntamente con los componentes mecánicos del equipo, efectúan una mezcla dinámica, donde se produce una reacción para romper la cadena de hidrocarburos que impregnan los sólidos, cambiando su humectabilidad, mejorando la separación agua-crudo y rompiendo las emulsiones que se forman.

Consolef, c.a ha sido consultada para el diseño, construcción e instalación de esta tecnología en el área de sus instalaciones ubicadas en Pedemales. Varias visitas se han realizados a estas instalaciones, y charlas técnicas se han dictados.

El objetivo de este reporte técnico preliminar es el de presentar las características y fundamentos principales para el diseño, construcción e instalación del Biorreactor© con el objeto de minimizar el impacto ambiental de sus arenas de producción.

I.- ANTECEDENTES

Los sólidos contaminados con hidrocarburos pueden provenir de diferentes fuentes, entre las mas comunes tenemos:

- Ripios de perforación

- Arenas o finos procedentes de las formaciones productoras

- Acumulaciones asfalténicas o parafínicas de producción

- Finos acumulados en procesos de refinación

- Suelos o rellenos contaminados por derrames de hidrocarburos

Cualesquiera que sea su procedencia, lo mas conveniente y económico desde el punto de vista de contaminación ambiental, es tratarlos y limpiarlos de forma inmediata, para reducir el contenido de hidrocarburos al mínimo permisible, lo cual evita largos, tediosos y costosos procesos de biodegradación que contaminan en mayor grado los suelos.

La nueva tecnología aquí presentada es una alternativa, ya demostrada, para efectuar un tratamiento y limpieza a estos sólidos petrolizados, para reducir su contaminación por debajo de los límites estipulados por las normativas gubemamentales vigentes.

II.- EQUIPOS

En el proceso intervienen tres componentes principales: 1) El producto limpiador 2) El mezclador dinámico y 3) El Biorreactor. Estos tres componentes los hemos denominado: Equipo de Limpieza Biomecánica, y los veremos con detalle a continuación:

1) PRODUCTO LIMPIADOR, "GREENSOL"

Es un producto enzimático, procedente de un fluido base, denominado "Electric Blue", certificado por el INTEVEP con el número 421354, el cual es soluble en agua, trabaja muy bien en frió, a bajas concentraciones y es reusable, lo cual hace económico el proceso de limpieza de los sólidos contaminados con hidrocarburos, además, es totalmente biodegradable y de agradable olor a cítricos.

Las enzimas son catalizadores orgánicos que facilitan y aceleran la mayoría de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en los organismos animales, vegetales y microorganismos, sin intervenir en ellos reactivos, por lo cual no se consumen durante el proceso. Su nombre proviene del griego antiguo "en zime" (Kune, 1867) que significa "en fermento". En la actualidad se han identificado más de 700 enzimas.

El Greensol realiza mejor su trabajo a altas temperaturas y cuando el agua tiene cierto grado de salinidad; él, conjuntamente con el resto de los componentes del proceso efectúa una mezcla biodinámica, donde se produce una reacción que es capaz de romper la cadena de hidrocarburos que impregnan los sólidos, cambiando su humectabilidad, de oleofílicos a oleofóbicos, mejorando la separación agua-crudo y minimizando las emulsiones que se forman.

2) MEZCLADOR DINAMIICO

El mezclador dinámico o "hooper" está conformado por un embudo gigante que recibe los sólidos contaminados con hidrocarburos, y también recibe el producto limpiador Greensol procedente del Biorreactor©, en el cono del embudo. Allí la mezcla es succionada, al vacío, por una motobomba, con alabes de diseño y construcción muy especial, que realizan una mezcla a alta velocidad, y envía esta lechada al Biorreactor©, después de efectuar una limpieza instantánea de los sólidos. El traslado de los fluidos se realiza a través de manguera de 4 pulgadas de diámetro.

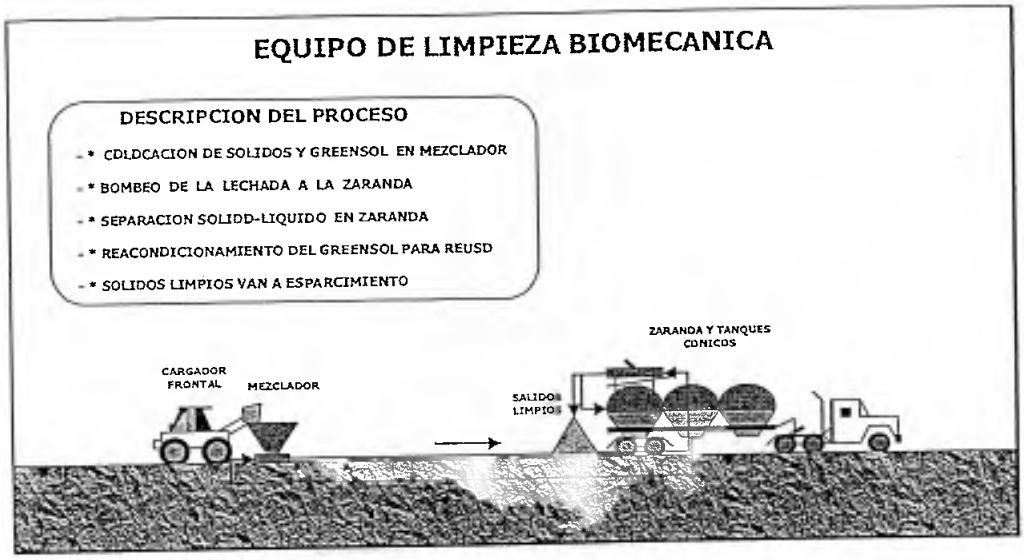
3) BIORREACTOR©

Es el componente mayor del proceso, sus equipos están montados en una plataforma rodante, de remolque, de 11.70 x 2.55 mts., y recibe la lechada enviada por el mezclador dinámico en la zaranda situada en su parte superior, donde se separan los sólidos limpios del producto limpiador usado . Este producto limpiador "sucio" es recibido en el tercero de los tanques cónicos, se le saca la nata de hidrocarburos en la parte superior y los sedimentos más finos que decantan del mismo en la parte cónica inferior. De allí, él, pasa al tanque cónico intermedio, donde es acondicionado con producto limpiador no utilizado ("limpio") procedente del primer tanque cónico de la plataforma que los contiene.

El producto limpiador acondicionado es enviado desde el tanque cónico intermedio hasta el mezclador dinámico para continuar otro ciclo del proceso. Los sólidos limpios son almacenados para su secado y toma de muestras compuestas, para enviar a los laboratorios aprobados por el MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Renovables), para que una vez cumplidas los limites de las normativas, obtener la certificación de ese organismo y así poder efectuar la disposición final de los mismos.

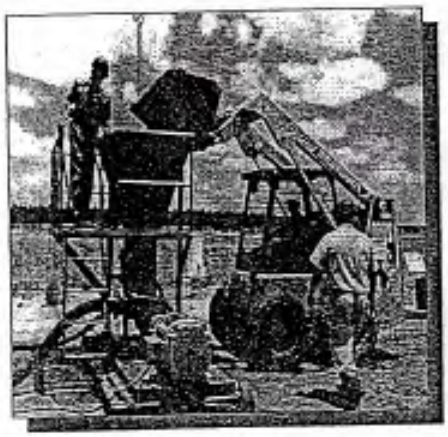
El porcentaje de hidrocarburos en los sedimentos es analizado y monitoreado frecuentemente por personal de nuestro propio laboratorio, a objeto de mantener un control de la dosificación y de la eficiencia del producto limpiador. Así mismo se toman y analizan muestras antes y después de la limpieza de los sedimentos., los cuales deberán se confirmados por laboratorios aprobados por el MARN, a objeto de certificar y obtener la aprobación para la disposición final de los mismos.

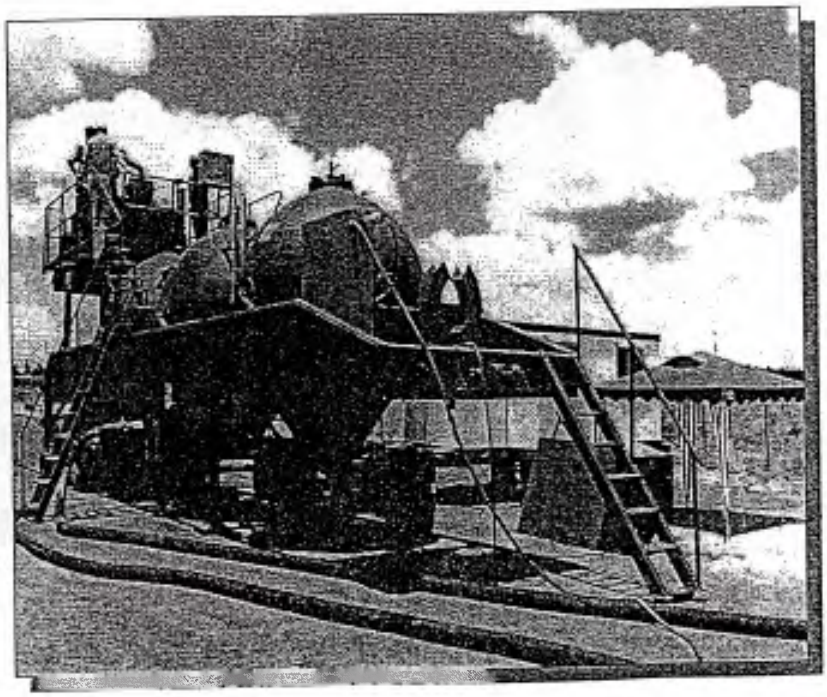
DIAGRAMA DEL PROCESO

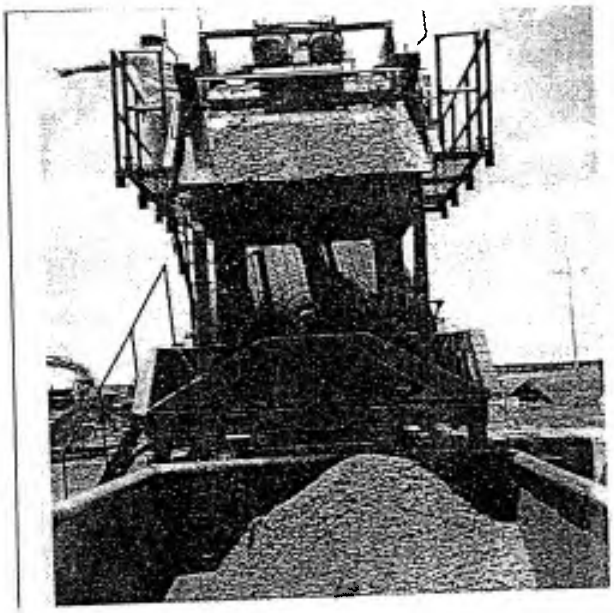


BIORREACTOR TRABAJANDO EN SITIO

MEZCLADOR DINAMICO







SÓLIDOS
LIMPIOS
SALIENOO DEL
BIORREACTOR



PERSONAL DE LABORATORIO APROBADO POR EL MARN TOMANDO MUESTRAS COMPUESTAS DE LOS SÓLIDOS LIMPIOS PARA SU ANÁLISIS

III. - Diseño Preliminar del Bioreactor

1. Data Preliminar

De acuerdo a la información obtenida, se determinaron los siguientes parámetros para el diseño del BIORREACTOR® bajo el concepto "**Taylor Made**":

	Descripción	Cantidad	Unidad
a.	Producción estimada de arenas de producción:	75.00	mts^3/mes
b.	Porcentaje de hidrocarburos totales:		%
c.	Conductividad eléctrica:		
d.	pH:		
e.	Salinidad:		
f.	Temperatura:	27	°C
g.	Granulometría (promedio del mayor rango):	0.083	mm
h.	Dimensiones máximas de la unidad:	6.00 x 2.40 x 2.40	mts
i.	Peso máximo permisible de la unidad:	6.00	tm

2. Análisis del Diseño

En función a los cálculos realizados se logro determinar un diseño optimo para la construcción de la unidad de limpieza bio-mecánica, la cual presenta las siguientes características:

a. Las dimensiones: cumplen las normas internacionales de contenedores de carga, en este caso el de una unidad de 20 pies de longitud.

b. La alimentación: se realiza a través de una tolva de carga de 500 mm de abertura.

c. La mezcla: se utiliza un mezclador dinámico de dos paletas, con moto-reductor de 20 hp, el cual garantiza una mezcla homogénea entre los sólidos y los bio-químicos.

d. La recuperación de crudo: se realiza a través de un desnatador estático en el mismo tanque de mezcla.

e. La separación de sólidos: se hace a través de un shale shaker de movimiento lineal y masas regulables con 4 hp en total, con inyectores y de alto impacto (>3.5 g), incluye un ecualizador de flujo para reducir el impacto sobre las mallas, incluye además dos juegos de mallas.

f. Almacenamiento de líquidos: posee tres tanques principales los cuales permiten la recuperación del hidrocarburo, el acondicionamiento del fluido con el bio-químico para su re-uso y un tanque de preparación de nuevas mezclas y dosificación al sistema principal con fluido nuevo.

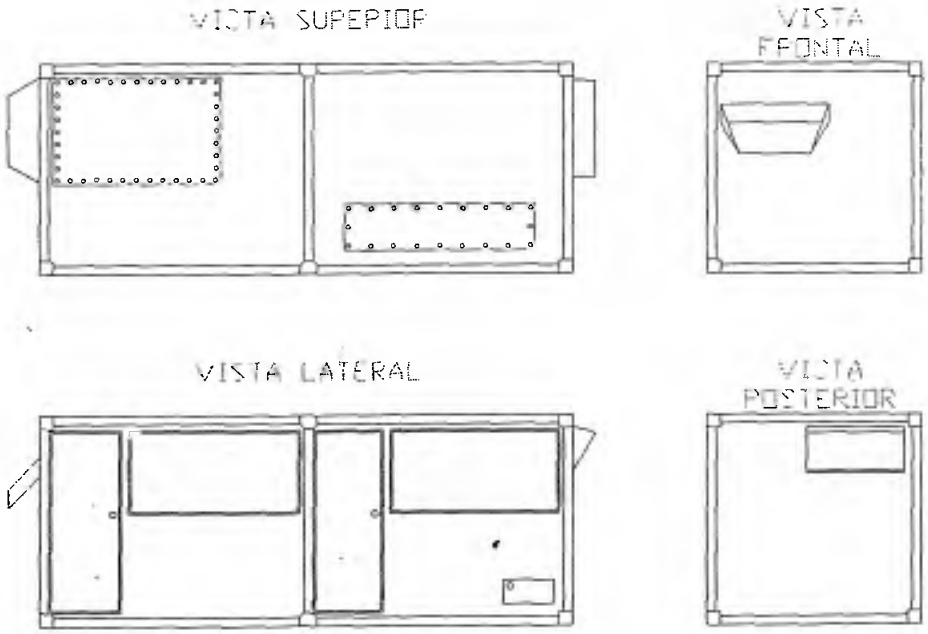
g. La unidad viene protegida con un tratamiento anti-corrosivo y un acabado en color verde mate.

h. Sobre el sistema de controles, cuenta con una consola única de control desde donde se operan todos las partes; además, posee sistemas para control automático de llenado de tanques de fluidos, sistemas de seguridad para parada de emergencia, indicadores de consumo de energía y otros que le otorgan a esta unidad la calificación de "Segura y Confiable".

i. De acuerdo a ensayos la dosificación del bio-químico "GreenSol" es de 5% v/v en agua, con lo que se obtienen una disminución del porcentaje de hidrocarburo a niveles de 0.04%.

j. Del consumo de este bio-químico "GreenSol" se estimó en tres barriles por mes (se anexa cotización del mismo).

k. A continuación presentamos un esquema de distribución de la unidad de tratamiento de sólidos petrolizados:



Antonio Camacho

IV .- Términos de Pago

El pago estará establecido de la siguiente manera:

1. Precio total de Dólares Americanos de cincuenta mil **(US $ 50.000,00)** denominado precio de Venta.
2. Este precio de venta deberá ser pagado en tres cuotas de la siguiente manera:
    - **Primer Pago** de Dólares Americanos de quince mil **(US $ 15.000,00),** Pagados antes del inicio de la construcción del **Biorreactor©**
    - **Segundo Pago** de Dólares Americanos de quince mil **(US $ 15.000,00).** Pagados sesenta (60) días después del día de entrega.
    - **Tercer y último pago** de Dólares Americano de veinte mil **(US $ 20.000,00).** Pagados sesenta (60) días después del segundo pago.
3. Las cuotas de pagos no devengará un interés anual.
4. Consolef,C.A presentara factura treinta (30) días antes de la culminación de los días de pago establecidos anteriormente.
5. El precio de Venta no incluye IVA.

V .- Servicio de Mantenimiento

Consolef, C.A proveerá servicio de mantenimiento mediante la reparación del Biorreactor© en el local del Cliente o retirándolo para su reparación. Este servicio comprende mantenimiento correctivo para restaurar o mantener el Biorreactor© en buenas condiciones de funcionamiento, y mantenimiento preventivo según sea considerado por Consolef, C.A .El transporte del Biorreactor© de y hasta los Centros de Reparación será por cuenta y orden del Cliente, a su riesgo y bajo su responsabilidad.

Consolef, C.A instalará los cambios de ingeniería que considere aplicables al Biorreactor© siendo de instalación obligatoria los que afecten la seguridad de la misma. Si Consolef, C.A sustituyera partes, las retiradas pasarán a ser propiedad de Consolef, C.A.

VI .- Garantías

Consolef, C.A es titular de derechos de autor o de otros derechos sobre la fabricación del Biorreactor©

Consolef,C.A garantiza que, a la Fecha de Instalación el Biorreactor©, se encontrarán en buenas condiciones de funcionamiento y cumplirán con las especificaciones de Consolef,C.A.

Durante el período de garantía, Consolef,C.A reparará el Biorreactor© e instalará los cambios de ingeniería que considere aplicables, sin cargo alguno, a excepción de los gastos de viaje, cuando correspondan. Si Consolef,C.A. sustituyera partes, las retiradas pasarán a ser propiedad de Consolef,C.A..

1. **Período de Garantía:**

   a) El período de garantía será el establecido en la Orden y comenzará en la Fecha de Instalación.
   b) El Cliente informará a Consolef,C.A. de cualquier cambio en la ubicación de el Biorreactor© durante el período de garantía
   c) Consolef,C.A brindar asesoría técnica a Perenco, durante el periodo de garantía, para la realización de cualquier conexión o acoplamiento al equipo con equipos de otros proveedores con que ésta cuenta.

2. **Exclusiones de la Garantía:**

   a) La garantía Consolef,C.A no se extiende a: la provisión de suministros, la pintura o terminación exterior, trabajos eléctricos externos, instalación o retiro de alteraciones o adiciones, mantenimiento de accesorios; reparación de daños causados por:
   b) Accidente, desastre natural, transporte, vandalismo, reubicación de máquinas, uso indebido o abuso.
   c) Reparaciones o modificaciones ejecutadas por terceros no autorizados.
   d) Reparación o reemplazo de partes por el mal uso de suministros o uso de suministros inapropiados.

VII .- CAPACITACION

Consolef,C.A proporcionar sin costo, la capacitación básica requerida al personal de Perenco, para obtener el adecuado funcionamiento y operación del Biorreactor© Adicionalmente, Perenco puede solicitar a Consolef,C.A otro tipo de capacitación..

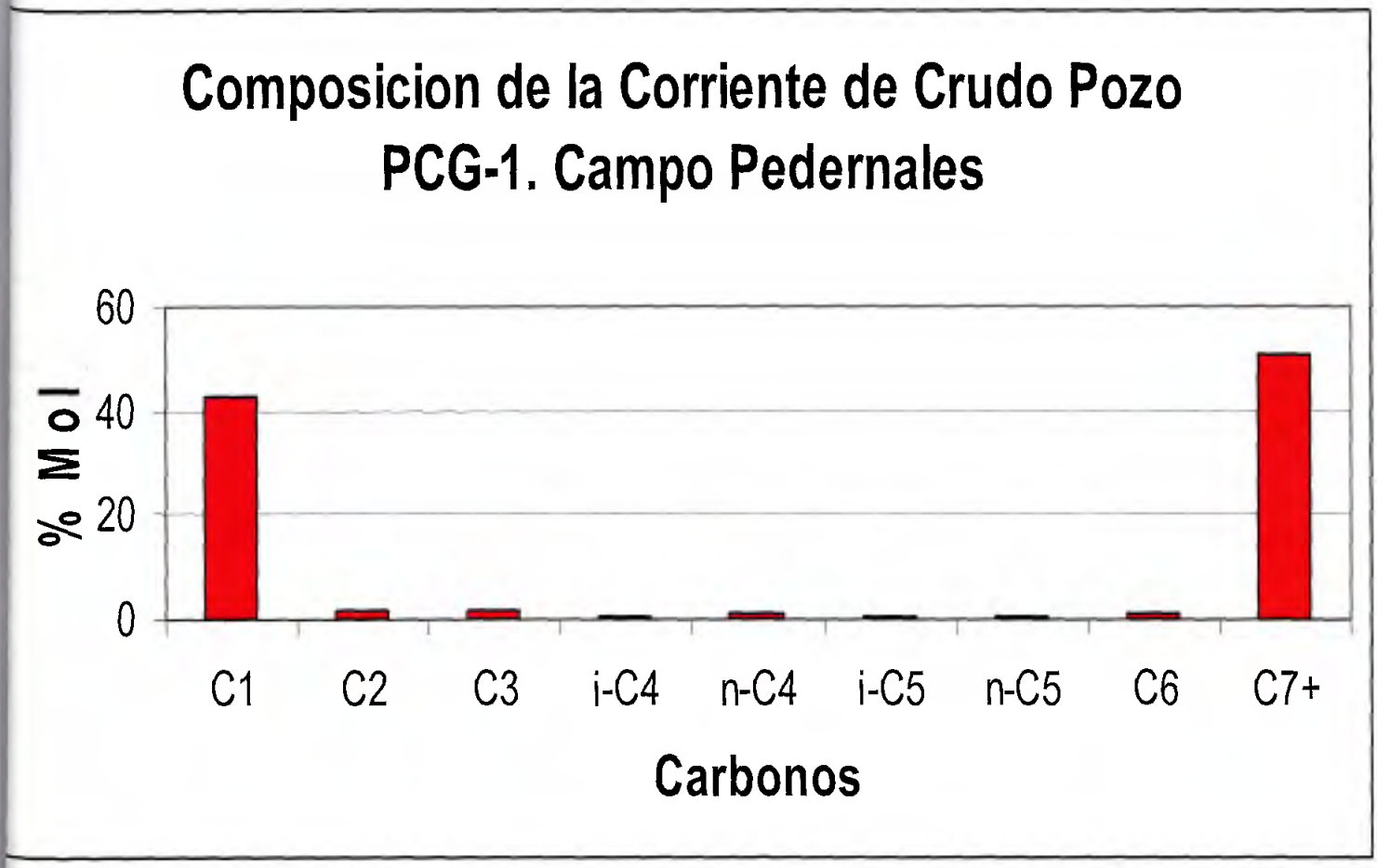
Anexo VIII: Análisis Composicional del Crudo de Pedernales







ANEXO VIII. Análisis Composicional de la Corriente de Crudo del Campo Pedernales.



En el gráfico se aprecia claramente que los compuestos o cadenas de carbono cortas han sido degradas a cadenas de metano, restando solamente las cadenas largas C7+, las cuales, son más difíciles de degradar, dicho de otra forma, los tasas de degradación no serán aceleradas, lo cual beneficia el fondo marino al no exigir altas tasas de oxigeno, y generar condiciones de anoxia.

BP EXPLORATION DE VENEZUELA, S.A.

PCG-1X

RFL 570230

COMPOSITION OF RECOMBINED WELLSTREAM

(from calculated recombination of separator products)

Component	Mol %	Wt%	Liquid Density (gm/cc)	MW
Hydrogen Sulfide	0.00	0.00		
Carbon Dioxide	0.04	0.01	0.8172	44.010
Nitrogen	0.04	0.01	0.8086	28.013
Methane	41.52	3.35	0.2997	16.043
Ethane	3.55	0.35	0.3562	30.070
Propane	1.79	0.40	0.5070	44.097
iso-Butane	0.53	0.15	0.5629	58.123
n-Butane	0.91	0.27	0.5840	58.123
iso-Pentane	0.74	0.27	0.6244	72.150
n-Pentane	0.60	0.22	0.6311	72.150
Hexanes	1.38	0.55	0.6850	84.0
Heptanes	1.59	0.96	0.7220	96.0
Octanes	2.95	1.50	0.7450	107
Nonanes	3.25	1.88	0.7640	121
Decanes	3.19	2.15	0.7780	134
Undecanes	3.06	2.28	0.7890	147
Dodecanes	2.29	1.85	0.8000	161
Tridecanes	2.25	1.98	0.8110	175
Tetradecanes	2.02	1.93	0.8220	190
Pentadecanes	2.01	2.08	0.8320	206
Hexadecanes	1.56	1.74	0.8390	222
Heptadecanes	1.43	1.70	0.8470	237
Octadecanes	1.44	1.82	0.8520	251
Nonadecanes	1.28	1.70	0.8570	263
Eicosanes	1.16	1.60	0.8600	275
Heneicosanes	1.00	1.46	0.8670	291
Docosanes	1.00	1.53	0.8720	305
Tricosanes	0.90	1.44	0.8770	318
Tetracosanes	0.82	1.38	0.8810	331
Pentacosanes	0.80	1.39	0.8850	345
Hexacosanes	0.74	1.34	0.8890	359
Heptacosanes	0.77	1.45	0.8930	374
Octacosanes	0.74	1.44	0.8960	388
Nonacosanes	0.76	1.54	0.8990	402
Triacontanes	0.81	1.68	0.9020	416
Totals	100.00	100.00		

RECOMBINATION CONDITIONS

489 psig
100 °F

Recombination Parameters

Primary Stage Gas / Oil Ratio, scf/STbl at recombination conditions	231.53
Wellstream Recombination Ratio moles gas / mole liquid	0.57094

Average Wellstream Properties

Average Molecular Weight	199.0
Calculated Density at 0 psig and 60 °F	0.6805

Properties of Plus Fractions

Plus Fraction	Mol%	Wt%	Liquid Density (gm/cc)	Liquid API Gravity	MW
Heptanes plus	50.79	94.50	0.8691	15.9	370
Undecanes plus	39.41	87.82	0.8788	12.9	443
Pentadecanes plus	29.79	79.80	1.0006	9.8	539
Eicosanes plus	22.06	70.76	1.0247	6.8	638
Pentacosanes plus	17.16	62.37	1.0462	3.6	734
Triacontanes plus	13.37	56.21	1.0697	0.7	838

Anexo IX: Detalle Análisis de Costos de las Alternativas Finales de Tratamiento y Disposición de las Arenas de producción del Campo Pedernales







Opciones de Manejo de Arena de Producción. Campo Pedernales.

Se han analizado varias opciones de manejo para las arenas de producción del campo Pedernales. Las varias alternativas requieren de una inversión inicial heterogénea para cada opción. La mayor complicación está dada sobre la base de escasez de servicios disponibles a los cuales el campo puede acceder, lo que implica altas inversiones iniciales para cubrir estas carencias. Es decir, no se dispone de maquinarias pesadas requeridas para el manejo de las arenas (tractores, camiones de carga, grúas, etc.), bien sea de empresas de servicio o por parte de las municipalidades o gobernación de Capure y Pedernales, lo cual limita la posibilidad de efectuar manejo de las arenas en las comunidades aledañas al campo, a menos que se decida hacer una inversión inicial en la adquisición de estas maquinas. En este sentido solo un análisis económico podrá ayudar a la toma de selección.

Para evitar que cualquier alternativa fuera descartada sin haber efectuado el análisis económico, todas las opciones fueron estudiadas, aun con el conocimiento previo de la gran dificultad de aplicación que alguna de ellas pueda tener.

Entre las alternativas posibles se tienen:

1. Implantación de sistema de lavado en FSPP y descarga directa al caño
2. Implantación de sistema de lavado en FSPP y descarga costa afuera
3. Implantación de sistema de lavado en FSPP y disposición en tierra cercana (Capure o Pedernales)
4. Implantación de sistema de lavado en FSPP y disposición en tierra lejana (Guiria)
5. Implantación de sistema de lavado en FSPP y disposición en Maturín
6. Implantación de sistema de lavado en base Guiria y disposición en Guiria
7. Implantación de sistema de lavado en base Guiria y disposición en Maturín
8. Transporte a Guiria sin tratamiento y entrega a empresas de servicio en Guiria
9. Sin cambios al tratamiento actual

En el siguiente Cuadro se muestran las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas propuestas, sin mencionar la variable económica (rendimiento o beneficio) puesto que aun no se ha efectuado ningún análisis de este tipo.

Del análisis del Cuadro, se concluye que entre los factores de menor control se tienen:

- Autorizaciones del MARN que acepten la propuesta de descarga directa al mar.
- Autorizaciones de gobernaciones que permitan la disposición en terrenos de su jurisdicción.
- Empresas de servicios disponibles que dispongan de la maquinaria y de los permisos del MARN para manipular y disponer las arenas no tratadas. Cuando las arenas están tratadas, los permisos ambiéntales de las empresas de servicio no deben ser muy restrictivos.

Por otra parte, las opciones de manejo en tierra en forma propia (sin la contratación de servicio) pueden implicar la compra o alquiler de maquinarias para movimiento de tierra (tractores, grúas, camiones volteos, y otras herramientas), lo cual incluye costos importantes a la propuesta, así como las complicaciones de logística, mano de obra, sindicatos, etc. Adicionalmente a ello, se debe considerar la disponibilidad de espacios en tierra (terrenos) en donde se permita la disposición de las arenas tratadas sin tener conflictos con las propiedades aledañas.

CUADRO 1. Ventajas y Desventajas de Alternativas

Alternativa	Ventajas	Desventajas
1. Implantación de sistema de lavado en FSPP y descarga directa al caño	▪ Requiere de una sola inversión inicial y bajos costos de operación. ▪ Eliminará los costos de transporte y tratamiento en tierra. ▪ Reducirá las horas hombres requeridas en el campo para la manipulación de las arenas de producción. ▪ Reducirá los costos de mantenimiento de grúas y cajas de arenas. ▪ Reducirá los riesgos de accidente por manejo de arenas. ▪ No se requiere maquinarias en tierra. ▪ Ganancia de espacios de almacenamiento en las instalaciones del campo y mayor facilidades de logística.	▪ Incertidumbre para la obtención de permisos ambientales. ▪ El MANR puede pedir pruebas de laboratorio con mas frecuencia las cuales tienen costos adicionales. ▪ Cualquier problema ambiental en el caño, Perenco va a ser la primera en ser culpada (contaminación de aguas, mortandad de peces, etc.). ▪ Los pescadores pueden exigir indemnización por daños en la pesca. ▪ Problemas de sedimentación que pueden implicar mayor frecuencia de dragado de las instalaciones (crecimiento del mangle). ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza falle por periodos de tiempos largos. ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza.
2. Implantación de sistema de lavado en FSPP y descarga costa afuera.	▪ Requiere de una sola inversión inicial. ▪ Eliminará los costos de transporte y tratamiento terrestres. ▪ Reducirá las horas hombres invertidas en el campo para la manipulación de las arenas de producción. ▪ Reducirá los costos de mantenimiento de grúas y cajas de arenas. ▪ Reducirá los riesgos de accidente por manejo de arenas. ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones. ▪ No requiere maquinarias en tierra. ▪ Ganancia de espacios de almacenamiento en las instalaciones del campo y mayor facilidades de logística. ▪ Es más difícil que Perenco esté sujeta a cargos por indemnización a pescadores y pobladores por supuestos daños ambientales.	▪ Requiere permiso de la CVP. ▪ El MANR puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de descarga las cuales tienen costos adicionales. ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza falle por periodos de tiempos largos. ▪ Se requiere de servicios de transporte a costa afuera (gabarra y remolcador). ▪ Requiere de sistema de bombeo en gabarra. ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
3. Implantación de sistema de lavado en FSPP y disposición en tierra cercana (Capure o Pedernales)	▪ Eliminará los costos de transporte terrestres. ▪ Reducirá los costos de tratamiento en tierra. ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones.	▪ Requiere permiso del MANR y gobernación. ▪ El MANR puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra las cuales tienen costos adicionales. ▪ Se requiere de maquinarias y personal en tierra para transbordo y manejo (maquinaria en tierra). ▪ Requiere de mantenimiento y dragado en muelles de Capure y Pedernales. ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza o las máquinas en tierra falle por periodos de tiempos largos. ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza y maquinarias en tierra. ▪ Incrementará las horas hombres invertidas en el campo para la manipulación de las arenas de producción. ▪ Incrementará los riesgos de accidente. ▪ Cualquier problema ambiental en el pueblo, Perenco va a ser la primera en ser culpada (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, etc.).
4. Implantación de sistema de lavado en FSPP y disposición en tierra lejana (Guiria).	▪ Eliminará los costos de transporte terrestres. ▪ Reducirá los costos de tratamiento en tierra. ▪ Reducirá los riesgos de accidente por manejo de arenas (Hector debe cifras). ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones.	▪ Incrementará las horas hombre, logística y riesgos de accidentes en Guiria. ▪ Requiere permiso del MANR y gobernación. ▪ El MANR puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra las cuales tienen costos adicionales. ▪ Se requiere de maquinarias y personal en tierra para transbordo y manejo (maquinaria en tierra). ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno). ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza o las máquinas en tierra falle por periodos de tiempos largos. ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza y maquinaria en tierra. ▪ Cualquier problema ambiental en suelos y aguas, Perenco va a ser la primera en ser culpada por los vecinos y residentes cercanos a los terrenos utilizados para la disposición (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, contaminación de aguas subterráneas, etc.).

Alternativa	Ventajas	Desventajas
5. Implantación de sistema de lavado en FSPP y disposición en Maturín	▪ Reducirá costos de tratamiento. ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones.	▪ Requiere permiso del MANR y gobernación. ▪ El MANR puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra las cuales tienen costos adicionales. ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno) y servicios de manejo (maquinaria en tierra). ▪ Se necesita tener otra alternativa disponible para el caso de que el equipo de limpieza o las máquinas en tierra falle por periodos de tiempos largos. ▪ Costos de mantenimiento para equipo de limpieza. ▪ Incremento de las horas hombres en campo y riesgo de accidentes. ▪ Cualquier problema ambiental en suelos y aguas, Perenco va a ser la primera en ser culpada por los vecinos y residentes cercanos a los terrenos utilizados para la disposición (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, contaminación de aguas subterráneas, etc.).
6. Implantación de sistema de lavado en base Guiria y disposición en Guiria	▪ Reducirá costos de tratamiento y transporte terrestre. ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones.	▪ Se genera un desecho líquido (aguas de lavado) en Guiria que requiere tratamiento (o devolverlo a la FSPP para su inyección como agua de producción). ▪ Incremento de las horas hombres y riesgo de accidente en Guiria. ▪ Complica la logística en Guiria. ▪ Requiere permiso del MANR y gobernación. ▪ El MANR puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra las cuales tienen costos adicionales. ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno) y servicios de manejo (maquinaria en tierra). ▪ Cualquier problema ambiental en suelos y aguas, Perenco va a ser la primera en ser culpada por los vecinos y residentes cercanos a los terrenos utilizados para la disposición (contaminación de suelos, enfermedades en pobladores, mortandad de vacunos, contaminación de aguas subterráneas, etc.).
7. Implantación de sistema de lavado en base Guiria y disposición en Maturín	▪ Reducirá costos de tratamiento. ▪ No afectará la sedimentación en las instalaciones.	▪ Se genera un desecho líquido (aguas de lavado) en Guiria que requiere tratamiento (o devolverlo a la FSPP para su inyección como agua de producción). ▪ Incremento de las horas hombres y riesgo de accidente en Guiria. ▪ Complica la logística en Guiria. ▪ Requiere permiso del MANR y gobernación. ▪ El MANR puede pedir pruebas de laboratorio en áreas de disposición en tierra las cuales tienen costos adicionales. ▪ Requiere de espacios terrestres para la disposición (terreno) y servicios de manejo (maquinaria en tierra).

Alternativa	Ventajas	Desventajas
8. Transporte a Guiria sin tratamiento y entrega a empresas de servicio en Guiria.	▪ Reduce costos de transporte en tierra. ▪ No afecta la sedimentación en las instalaciones. ▪ Es más difícil que Perenco esté sujeta a cargos por indemnización a pescadores y pobladores por supuestos daños ambientales.	▪ Requiere permiso del MANR y gobernación. ▪ Requiere empresa de servicio autorizada en Guiria.
9. Sin cambios al tratamiento actual.	▪ No requiere de permisos. ▪ Es más difícil que Perenco esté sujeta a cargos por indemnización a pescadores y pobladores por supuestos daños ambientales.	▪ Incremento de los costos por inflación y por incremento de las arenas.

Quizás las complejidades indirectas de las alternativas (mano de obra, conflictos sindicales, horas hombres, etc.) pueden dar la impresión de que estás no son muy atractivas, por lo que únicamente un análisis económico revelará en realidad si la productividad económica compensa la complejidad logística y otras variables indirectas involucradas. En este sentido, el análisis trata de listar las variables indirectas sin la intención de minimizar la alternativa, sino como una forma de conformar el panorama completa de la implementación.

Muchas de las variables indirectas no pueden ser económicamente medidas de manera precisa, por lo que esto puede perturbar la exactitud del análisis económico, por ejemplo, no se puede medir con precisión cuantas horas hombres se reducirán con la aplicación de una alternativa, y como esta reducción de horas hombres beneficiará la economía de la alternativa. Entre las variables indirectas que no pueden ser medidas en el análisis económico se tienen:

- Conflictos sindicales generado por la alternativa.
- Disminución de horas hombres utilizadas en las operaciones convencionales de manejo de las arenas que se llevan actualmente en el campo.
- Riesgos operacionales de accidente (incremento o disminución) de las alternativas. Ya que no puede ser medido el incremento del riesgo de accidente y cómo este representará para la empresa un mayor costo.
- Posibles reacciones adversas de agentes externos asociados a la alternativa (pescadores de Pedernales para la alternativa de descarga en Caño, dueños de propiedades aledañas para la alternativa de tratamiento propio en tierra, etc.).
- Incremento o disminución en los costos de mantenimiento de grúas, cajas de arena, estructuras de plataformas, pintura, consumo de combustibles, etc., asociado a cada alternativa.
- Incremento o disminución en costos de logística desde las oficinas satélites (Caracas), ya que cada alternativa puede implicar una mayor o menor participación del personal de oficina (contratación, compra de insumos y repuestos, etc.) y un mayor uso de artículos consumibles (papeles, llamadas telefónicas, horas hombres, etc.).

Sin embargo, para no dejar de lado estas variables intangibles, en el análisis económico se incluirá un parámetro definido como imprevistos u overhead que representará un porcentaje de la inversión inicial y/o del costo operativo de la alternativa. La fracción aplicada a estas variables se hará tomando en cuenta la lista antes indicada, según la percepción y experiencia del evaluador, por lo que se sugiere prestar extrema atención a este parámetro en la evaluación económica para que pueda ser ajustado de acuerdo a los criterios de la gerencia.

Para el análisis económico se ha planteado un costo de capital de 15%, y un tiempo de vida de 10 años, los indicadores económicos resultantes del análisis se muestran en el Cuadro 2.

De acuerdo a los resultados indicados las alternativas 1, 2 y 4 son las menos costosas presentando costos equivalentes anuales más bajos. Interesante resultado para el caso de costos iniciales duplicados entre las alternativas 2 y 4, sin embargo el costo equivalente anual de la alternativa 2 es menor al de la alternativa 4, aun con una inversión inicial duplicada.

Comparación de las alternativas 1, 2 y 4 con la condición actual es evidente un importante ahorro en los costos operativos por año, con valores equivalente del 50% del costo actual, y para el caso de la alternativa 1 hasta un 25% del costo actual.

CUADRO 2. Indicadores Económicos

	Inversión Inicial	Costos Operativos ($/Año)	Costo Anual
Alternativa 1 descarga en caño	**63800**	**51739**	**64451**
Alternativa 2 descarga costa afuera	**133400**	**102502**	**129083**
Alternativa 3 descarga en Caoure/Pedernales	121800	137240	161509
Alternativa 4 descarga en Guiria	**63800**	**121136**	**133849**
Alternativa 5 descarga en Maturín	63800	179585	192297
Alternativa 6 tratamiento y descarga en Guiria	63800	121385	134097
Alternativa 7 Tratamiento en Guiria descarga en Maturín	63800	197177	209889
Alternativa 8 sin tratamiento entrega empresa de servicio en Guiria	0	159650	159650
Alternativa 9 condición actual	0	229296	229296

Conclusiones:

La alternativa 1 es evidentemente mucho más favorable que cualquier otra alternativa, representando una importante disminución de costos con respecto a la condición actual.

En caso de que la alternativa 1 no sea aprobada por el MARN, la alternativa 2 pudiera ser una opción interesante.

Aun sin aplicar ningún tratamiento a las arenas y entregarlas a la misma condición de hoy a empresas de servicio en Guiria, se pueden obtener ahorros de costos operativos de hasta 70,000 dólares por año (alternativa 8).

En caso de limitaciones de la instalación del sistema en el campo, la alternativa 6, muy parecida en costos a la alternativa 4, puede ser una opción que aporta ahorros en costos operativos de hasta 100,000 dólares año con respecto a la condición actual.

COST ANALISYS TABLE

	Rate	20 box/month	Time (years)	10	
	Volume	80 m3	Rate (fraction)	0,15	
			Write off	0	
			DD&A	0	
Variables			Inflation & tax	0	
Alternativa 1 descarga en caño		Initial Cost	Annuity	PV	Annuity
Inversión inicial de instalación sistema de tratamiento	50000	50000			
Costos de operación del sistema de tratamiento ($/año)	12000		12000		
Consumibles ($/año)	24000		24000		
Sistema de bombeo de las arenas al caño	5000	5000			
Incremento costos de dragado			0		
Costos pruebas de laboratorio (arenas y lecho) $/año	8480		8480		
Costos intangibles (iva)		8800	1031,936		
Total		63800	45511,936	292213,9	58224,22
Alternativa 2 descarga costa afuera					
Inversión inicial de instalación sistema de tratamiento	50000	50000			
Costos de operación del sistema de tratamiento ($/año)	12000		12000		
Consumibles $/año	24000		24000		
Sistema de bombeo de las arenas a Gabarra	5000	5000			
Sistema de Gabarra, bombeo y transporte costa afuera ($/año)	60000	60000			
Costos pruebas de laboratorio (arenas y lecho profundo) $/año	52000		52000		
Costos intangibles (iva)		18400	3062,4		
Total		133400	91062,4	590421,1	117642,6
Alternativa 3 descarga en Capure/Pedernales					
Inversión inicial de instalación sistema de tratamiento	50000	50000			
Costos de operación del sistema de tratamiento $/año	12000		12000		
Consumibles $/año	24000		24000		
Sistema de bombeo de las arenas a cajas	5000	5000			
Costos de mantenimiento de grúas y cajas ($/año)	16500		16500		
Inversión maquinarias en tierra (o alquiler) ($/año)	36000		36000		
Inversión acondicionamiento de muelle Capure/Pedernales	50000	50000			
Costos de operación en tierra y muelle Capure ($/año)	25000		25000		
Costos pruebas de laboratorio (arenas) $/año	4000		4000		
Costos intangibles (iva)		16800	6815		
Total		121800	124315	745708,2	148583,9
Alternativa 4 descarga en Guiria					
Inversión inicial de instalación sistema de tratamiento	50000	50000			
Costos de operación del sistema de tratamiento ($/año)	12000		12000		
Consumibles ($/año)	24000		24000		
Sistema de bombeo de las arenas a cajas	5000	5000			
Costos de mantenimiento de grúas y cajas ($/año)	16500		16500		
Inversión maquinarias en tierra (o alquiler) ($/año)	24000		24000		
Costos de operación en tierra y base Guiria ($/año)	15000		15000		
Costos de transporte Muelle-Base Guiria-area de disposición ($/año)	0		0		
Costos pruebas de laboratorio (arenas) $/año	4000		4000		
Costos intangibles (iva)		8800	7200,7		
Total		63800	102700,7	579231,1	115413

Alternativa 5 descarga en Maturin					
Inversión inicial de instalación sistema de tratamiento	50000	50000			
Costos de operación del sistema de tratamiento ($/año)	12000		12000		
Consumibles ($/año)	24000		24000		
Sistema de bombeo de las arenas a cajas	5000	5000			
Costos de mantenimiento de grúas y cajas ($/año)	16500		16500		
Costos de transporte a Maturin (ida-vuelta-escolta) ($/año)	32878,29457		32878,29457		
Costos de disposición en tierra en Maturin (servicio) ($/año)	24000		24000		
Costos de transporte Muelle-Base Guiria-Muelle	0		0		
Costos pruebas de laboratorio (arenas) $/año	4000		4000		
Costos intangibles (iva)		8800	10521,50574		
Total		63800	123899,8003	685624,4	136612,1
Alternativa 6 tratamiento y descarga en Guiria					
Inversión inicial de instalación sistema de tratamiento en Guiria (menos)	50000	50000			
Costos de operación del sistema de tratamiento ($/año)	12000		12000		
Consumibles ($/año)	24000		24000		
Sistema de bombeo de las arenas cajas-tratamiento-cajas	5000	5000			
Costos de mantenimiento de grúas y cajas ($/año)	16500		16500		
Inversión maquinarias en tierra/terreno (o alquiler) $/año	24000		24000		
Costos de operación en tierra y base Guiria ($/año)	15000		15000		
Costos de transporte Muelle-Base Guiria-area de disposición ($/año)	0		0		
Costos pruebas de laboratorio (arenas) $/año	4000		4000		
Costos intangibles		8800	8862,4		
Total		63800	104362,4	587570,7	117074,7
Alternativa 7 Tratamiento en Guiria descarga en Maturin					
Inversión inicial de instalación sistema de tratamiento en Guiria (menos)	50000	50000			
Costos de operación del sistema de tratamiento ($/año)	12000		12000		
Consumibles ($/año)	24000		24000		
Sistema de bombeo de las arenas cajas-tratamiento-cajas	5000	5000			
Costos de mantenimiento de grúas y cajas ($/año)	16500		16500		
Inversión maquinarias en tierra/terreno (o alquiler) $/año	24000		24000		
Costos de operación en tierra y base Guiria ($/año)	15000		15000		
Costos de transporte Muelle-Base Guiria-Maturin (ida-vuelta-escolta) $/año	32878,29457		32878,29457		
Costos pruebas de laboratorio (arenas) $/año	4000		4000		
Costos intangibles		8800	11913,50574		
Total		63800	140291,8003	767892,1	153004,1
Alternativa 8 sin tratamiento entrega empresa de servicio en Guiria					
Costos de mantenimiento de grúas y cajas ($/año)	16500		16500		
Servicio en tierra (empresa de servicio) $/año	43800		43800		
Costos de transporte Muelle-Base Guiria-Terreno (ida-vuelta-escolta) $/año	0		0		
Costos pruebas de laboratorio (arenas) $/año	0		0		
Costos intangibles			4196,88		
Total		0	64496,88	323694,9	64496,88
Alternativa 9 condición actual					
Costos de mantenimiento de grúas y cajas ($/año)	16500		16500		
Servicio en tratamiento (empresa de servicio) $/año	43800		43800		
Costos de transporte Muelle-Base Guiria-Maturin (ida-vuelta-escolta) $/año	32878,29457		32878,29457		
Costos pruebas de laboratorio (arenas) $/año	0		0		
Costos intangibles			2161,736434		
Total		0	95340,03101	478489,6	95340,03
			0,344852988		
AGREGAR IMPREVISTOS			0,459408284		
			0,173064764		

Ing. Giuseppe Cione/01-2005