

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO**



**“EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UNA PLANTA DE  
ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS DERIVADOS  
DE LOS HIDROCARBUROS ”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE PETRÓLEO**

**PRESENTADO POR:**

**FREDDY MORALES CIUDAD**

**PROMOCION 97 – 0**

**LIMA – PERU – 2003**

## INDICE

<b>1.0</b>	<b>INTRODUCCION</b>	<b>03</b>
1.1	Objetivos Del Estudio	03
1.2	Método de Trabajo e Información Recibida	03
1.3	Guías Ambientales Aplicadas	04
<b>2.0</b>	<b>MARCO LEGAL</b>	<b>05</b>
<b>3.0</b>	<b>DESCRIPCION DE LA ZONA DE UBICACIÓN</b>	<b>06</b>
3.1	Características Ambientales	06
3.1.1	Características Geográficas y Climáticas	06
3.1.2	Características Geomorfológicas	06
3.1.3	Características Hidrogeológicas	07
3.1.4	Aspectos Biológicos y de Interés Humano	07
3.2	Receptores: Entorno Socioeconómico	08
<b>4.0</b>	<b>REGISTROS HISTORICOS</b>	<b>09</b>
4.1	Historial Cronológico del Terminal	09
4.2	Historial de Derrames, Pérdidas y Fuentes Activas de Contaminación	09
4.3	Historial de Mantenimientos de Tanques	10
<b>5.0</b>	<b>INGENIERIA</b>	<b>11</b>
5.1	Aspectos Sobre Contaminación por Hidrocarburos (HCs)	11
5.2	Caracterización de Suelos Contaminados por Hidrocarburos (HCs)	11
5.2.1	Metodología	11
5.3	Caracterización Física del Subsuelo	12
5.3.1	Análisis Granulométrico	12
5.3.2	Porosidad	12
5.3.3	Humedad, Densidad, Capacidad de Retención de Agua	12
5.4	Caracterización Hidrogeológica	12
5.4.1	Distribución de Vapores Orgánicos (VOs) en el Subsuelo	13
5.4.2	Excavación de Calicatas	13
5.4.3	Perforación de Sondeos e Instalación de Piezómetros	14
5.4.3.1	Medición y Análisis de O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y Vapor Combustibles	16
5.4.3.2	Mediciones del Nivel Freático (NF) y Producto Libre (PL)	16
5.4.3.3	Corrección de la Medida del Nivel Freático (NF)	16
5.4.3.4	Medición del Espesor Real del Producto Libre (PL)	17
5.4.4	Nivelación Topográfica	18
5.4.4.1	Cálculo de la Gradiente Topográfica	18
5.4.4.2	Cálculo de la Gradiente Hidráulica	18
5.4.4.3	Cálculo de Dirección del Flujo Hídrico (aguas subterráneas)	18
5.4.5	Cálculo de la Permeabilidad (K) del Acuífero	18
5.4.5.1	Método de Hvorslev	19
5.4.5.2	Método de Darcy	19
5.4.5.3	Método de Hazen	19
5.4.6	Cálculo de la Velocidad de las Aguas Subterráneas	19
<b>6.0</b>	<b>ANALISIS DE LABORATORIO</b>	<b>20</b>
6.1	Criterios y Procedimientos de Muestreo	20
6.1.1	Muestras de Suelos Superficiales	21
6.1.2	Muestras de Suelos Subsuperficiales	22
6.1.3	Muestras de Aguas Subterráneas	22



6.2	Programa Analítico	23
6.3	Métodos Analíticos, Técnicas y Límites de Detección	24
6.4	Control de Calidad	24
<b>7.0</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>25</b>
7.1	Caracterización Física del Subsuelo	25
7.1.1	Análisis Granulométrico	25
7.1.2	Porosidad	25
7.1.3	Peso, Humedad, Densidad, Capacidad de Retención de Agua	25
7.2	Caracterización Hidrogeológica	25
7.2.1	Distribución de Vapores Orgánicos (VOs) en el Subsuelo	25
7.2.2	Excavación de Calicatas	25
7.2.3	Perforación de Sondeos e Instalación de Piezómetros	25
	7.2.3.1 Medición y Análisis; O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y Gases Combustibles	25
	7.2.3.2 Mediciones del Nivel Freático (NF) y Producto Libre (PL)	26
	7.2.3.3 Corrección de la Medida del Nivel Freático (NF)	26
	7.2.3.4 Medición del Espesor Real del Producto Libre (PL)	26
7.2.4	Nivelación Topográfica	26
	7.2.4.1 Cálculo de la Gradiente Topográfica	26
	7.2.4.2 Cálculo de la Gradiente Hidráulica	27
	7.2.4.3 Cálculo de Dirección del Flujo Hídrico (aguas subterráneas)	27
7.2.5	Cálculo de la Permeabilidad (K) del Acuífero	27
	7.2.5.1 Método de Hvorslev	27
	7.2.5.2 Método de Darcy	27
	7.2.5.3 Método de Hazen	27
7.2.6	Cálculo de la Velocidad de las Aguas Subterráneas	27
7.3	Litología	27
7.4	Hidrogeológica	28
7.4.1	Características del Acuífero	28
7.4.2	Calidad de las Aguas Subterráneas	29
7.5	Análisis de Laboratorio	29
7.5.1	Muestras de Suelo	29
	7.5.1.1 Muestras Superficiales; TPH, BTEX, EPH	30
	7.5.1.2 Muestras Subsuperficiales; TPH, BTEX, EPH	30
7.5.2	Muestras de Aguas Subterráneas	31
	7.5.2.1 Mediciones de Hidrocarburos; TPH y BTEX, EPH	31
<b>8.0</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>32</b>
9.1	Conclusiones de la Evaluación de Suelo	32
9.2	Conclusiones de la Evaluación de Aguas Subterráneas	32
9.3	División de Responsabilidades por Contaminación	33
<b>9.0</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>35</b>
<b>10.0</b>	<b>ANEXOS</b>	
	Fotos, Cuadros, Figuras y Registro Litológico de los Pozos de Monitoreo.	
	<b>PLANO N° 01</b> Plano de Ubicación del Terminal, Áreas Colindantes.	
	<b>PLANO N° 02</b> Ubicación de Piezómetros, Calicatas, Sondeos, y Resumen de Áreas Contaminadas con Hidrocarburos. (Superficial, Subsuelo y Aguas Subterráneas)	
	<b>PLANO N° 03</b> Curvas de Nivel, Isoyectas y Gradientes; Topográfica e Hidráulica.	

## 1.0 INTRODUCCION

En el marco del proceso de privatización llevado a cabo por el Estado Peruano, en Febrero de 1998, se otorgó al "Consortio Terminales" la concesión de los Terminales del Sur: Pisco, Mollendo, Ilo, Juliaca y Cuzco. Así mismo, las normas ambientales vigentes para el sector hidrocarburos (HCs) exigieron la presentación de los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), lo cual se cumplió en el año 1994. A pesar de ello y por el tiempo transcurrido entre la ejecución de dicho Programa y la Concesión, se consideró necesario llevar a cabo un Estudio Ambiental para determinar una línea base ambiental a la fecha de adjudicación de la Concesión de los Terminales y detectar eventuales daños o contaminación no contemplados en los PAMAs.

El Estudio se realizó en dos Fases. La Fase 1 tuvo como objetivo la identificación y descripción de los impactos ambientales causados por actividades previas y posteriores al 24 de Febrero de 1998, así como la caracterización de los tipos de contaminación y sus efectos sobre los distintos medios, indicando su origen e identificando las fuentes activas. La Fase 1 se inicia en Mayo de 1998, aprobándose el Informe en Mayo de 1999.

Conocidos los resultados de la Fase 1, Consortio Terminales y PETROPERU S.A. concordaron en llevar a cabo la Fase 2, para precisar y delimitar los hallazgos de la Fase 1 y establecer responsabilidades por los pasivos ambientales hallados, iniciándose los trabajos en Octubre de 1999.

El presente trabajo resume los resultados de las Fases 1 y 2 del Estudio Ambiental del Terminal Juliaca.

Los Terminales, también conocidos como Plantas de Abastecimiento o Plantas de Venta, tienen por finalidad la recepción, almacenamiento y distribución al por mayor de varios tipos de combustibles (turbo A-1, gasolina 95, gasolina 90, gasolina 84, kerosene y diesel 2). La relación de tanques y productos almacenados se indican en el **Cuadro N° 01**. Cada Terminal abastece una determinada área del territorio nacional, según su ubicación. En el caso del Terminal Juliaca, abastece a Puno.

### 1.1 Objetivos del Estudio

- a) Precisar y delimitar el alcance de los espacios contaminados identificados por la Fase 1 del Estudio.
- b) Confirmar y/o descartar la presencia de producto libre flotante sobre la napa freática en los sitios identificados por la Fase 1 del Estudio y, en cada caso, determinar la extensión y volumen del penacho de producto libre.
- c) Cuantificar el volumen de suelos contaminados con hidrocarburos por encima de los valores de intervención en el Terminal.
- d) Establecer riesgos actuales a causa de la contaminación existente, la vulnerabilidad del medio y su entorno a este respecto. De ser posible, dividir el riesgo causado por la contaminación preexistente y posterior al 24 de Febrero de 1998.

### 1.2 Métodos de Trabajo e Información Recibida

Los trabajos realizados comprendieron actividades de gabinete y evaluaciones de campo.

La información levantada en la Fase 1, fue actualizada en la Fase 2. Esta información incluyó datos históricos del Terminal, tales como propietarios y usos anteriores del suelo, las adiciones y cambios en la estructura del Terminal, las autorizaciones y permisos existentes y sucesos relacionados con derrames de productos y contaminación de suelos y aguas.

La información secundaria utilizada en las Fases 1 y 2, fue proporcionada por PETROPERU y Consorcio Terminales, se completó con información recabada de entrevistas al personal del Terminal en las visitas de reconocimientos al inicio de las evaluaciones. La evaluación de campo de la Fase 1 se realizó, en Julio-1998 y de la Fase 2 en Marzo-2000.

Los documentos proporcionados fueron:

- PAMA del Terminal Juliaca.
- Diagrama de proceso y planos de ubicación.
- Disposición, planos de los sistemas de desagües y planos topográficos del Terminal.
- Contrato de Concesión de los Terminales: Cláusula Novena y Anexo 6.
- Estudios Ambientales y Remediación contratados anteriormente por Consorcio Terminales o por PETROPERU S.A, realizado por la Empresa "Gulf Interstate Engineering" – 1994.
- Historial de mantenimiento de los tanques de almacenamiento
- Registro de derrames de productos actualizados a Julio de 1998

### **1.3 Guías Ambientales Aplicadas en la Tesis**

- Ministerio de Energía y Minas. Guía Ambiental para la Restauración de suelos en Instalaciones de Refinación y Producción Petrolera. Subsector Hidrocarburos Vol XV. DGAA, Proyectos ENTAL. Lima-Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. Guía Ambiental para el Manejode Desechos de las Refinerías de Petróleo. Subsector Hidrocarburos Vol VII. DGAA
- American Society for Testing Materials - ASTM. 1995. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites (E 1739-95). Reprinted from ASTM Annual Book of ASTM Standards. Filadelfia, U.S.A.
- Stephen Mailath, M.Sc, P.Geol. Octubre 1998. Guía ARPEL. Revisión de los Métodos para la Limpieza de Aguas Freáticas Contaminadas por Productos de Petróleo.
- Amy Shallcross and Tracy Bouvette. Apparent vs. True Petroleum Product Thickness: A Literature Review and analysis of data from the Northville Site. Cam Dresser & McKee Inc./Norhville Industries. October 11, 1989

## **2.0 MARCO LEGAL**

- Constitución Política del Perú (1,993).
- Ley Orgánica de Hidrocarburos, N° 26221
- Ley Orgánica Para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales, N° 26821.
- Ley de Áreas Naturales Protegidas, N° 26834.
- Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Decreto Legislativo N° 613.
- Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades, N° 26786.
- Ley de la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica, N° 26839.
- Ley General de Aguas – Decreto Legislativo N° 1117752.

### **3.0 DESCRIPCION DE LA ZONA DE UBICACION**

El Terminal de Juliaca esta ubicado al sur de la ciudad de Juliaca, en la Sierra Sur del Perú, en el kilómetro 2.5 de la carretera Juliaca - Puno. Urbanización Tuparachi, Departamento de Puno. La propiedad tiene aproximadamente 4.5 Ha. Como se aprecia en la **FOTO N° 01**.

La ciudad de Juliaca esta conectada con el resto del país por vía aérea, terrestre y férrea. Las vías terrestres más importantes son las de Juliaca-Puno-Desaguadero, Juliaca-Cuzco y Juliaca-Arequipa. Políticamente pertenece al Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Departamento de Puno. Las coordenadas geográficas referidas al punto central del Terminal son 15°29'40" Latitud Sur y 70°07'58" Longitud Oeste y coordenadas UTM promedio de 8283891N 380226E.

El Terminal se ubica a una altitud de 3,830 m.s.n.m Se tiene acceso al Terminal tanto por vía carretera como por ferrocarril. (**Plano N° 01**).

#### **3.1 Características Ambientales**

##### **3.1.1 Características Geográficas y Climáticas**

Como se indicó antes, el Terminal Juliaca está ubicada al Sur del Perú, al Oeste de la parte Norte del lago Titicaca, en la ciudad de Juliaca a 35 Km. Al NNO de la ciudad de Puno.

Por sus características bioclimáticas (según Holdridge), esta ubicación corresponde a la zona de vida PARAMO MUY HUMEDO, SUBALPINO SUBTROPICAL, con una temperatura máxima de 6.9° C y una mínima de 4.9° C. Las precipitaciones anuales son del orden de los 1,000 mm al año. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial por año varia entre 0.25 y 0.5 veces el valor de la precipitación anual y por lo tanto se ubica en la provincia de humedad: perhumedo. Su clima según la distribución de Koppen, es frío o boreal, con precipitaciones en verano.

##### **3.1.2 Características Geomorfológicas**

El Terminal de Juliaca se ubica sobre suelos planos característicos de la altiplanicie del Collao que son relativamente profundos y ricos en arcillas y limos. El área de estudio se halla en una gran meseta alta andina, por lo que el relieve topográfico es mayormente plano, especialmente en la zona que corresponde a la península donde persisten afloraciones de roca terciaria. Esporádicamente presentan sectores colinados de rocas volcánicas.

El escenario edáfico está constituido por suelos conformados por roca cuaternaria reciente de depósitos aluviales generado por las diferentes cuencas hídricas existentes en la zona, como son las formadas por los ríos Ramis, Lampa, Cabanillas, Juliaca, y Torocacha.

La textura de suelos va desde finos (limos arcillosos) a medios. Los suelos son ácidos y existe influencia de material volcánico. Completan el cuadro edáfico los suelos de mal drenaje y los suelos orgánicos.

La geología predominante, son depósitos de material cuaternario reciente que conforman suelos profundos de origen aluvial y lacustre, La disposición de finos se realizó en un ambiente poco turbulento, lo cual fijó la conformación de suelos ricos en limos y arcillas.

Dentro de la estratigrafía existen rocas antiguas como las de la formación Lampa del período Devónico, conformadas por limonitas laminadas y areniscas con ondulaciones de

corriente. En el sector noreste de Juliaca existe afloramientos de rocas pertenecientes al Grupo Iscay del período Pérmico y formada por tobas líticas y lavas andasíticas con volcanoclásticos. También existen afloramientos de areniscas arcósicas del período Misisipiano. Por erosión del viento, agua y cambio de temperatura, todas estas formaciones han conformado los aluviales finos existentes en suelos de la altiplanice de la región.

San Román es parte de la meseta del Titicaca y ésta del Gran Altiplano Andino, que ocupa una porción del sur del Perú y gran parte de Bolivia, alcanzando hasta Argentina. El altiplano también abarca las partes altas al este de Tacna, Arica, Tarapacá y Atacama. Por lo tanto, la meseta del Titicaca es apenas una esquina situada en el N.O. del Gran Altiplano Andino.

### **3.1.3 Características Hidrogeológicas**

En épocas de lluvia se forman charcos y el crecimiento es rápido de las lagunas, debido al difícil drenaje de las aguas superficiales y por la topografía bastante plana. La hidrología del lugar está definida por el sistema de ríos y lagunas existentes en la altiplanice del Titicaca; la napa freática es alimentada por las fuentes hidrológicas superficiales (ríos y lagunillas) y éstas a su vez por las precipitaciones que son abundantes en el período de verano. Un resumen de las características físicas del área se presenta en el **Cuadro N° 02**

### **3.1.4 Aspectos Biológicos y de Interés Humano**

Acerca de la vegetación, en esta zona de vida es común ver una diversidad de gramíneas o pastos (principalmente el lchu) las que son aprovechadas por ovinos y camélidos.

Entre las especies forestales encontramos árboles de pequeña talla como los culli y los quinales. Completan el cuadro vegetativo un conjunto de cactáceas.

En la zona de las lagunas y desembocaduras de ríos son muy conocidos los totorales (*Scyrpus totora*). Entre otras plantas acuáticas tenemos la rupia marítima, *Elodea potamogeton*, y varias especies del género *Lemma*. El fitoplancton está representado por unas 42 especies, predominando en general el alga *Spirogyra*.

Dentro de la fauna ornitológica destacan el pato puna, el pato rana, el *Chloephaga melanopectera* (hermoso ganso de alas blancas y cola negra) y varias especies de zambullidores. Otras aves frecuentes del lago son la polla del agua, la gallineta y numerosas gallaretas. Destacan por su belleza y número los flamencos o pariguanas.

Dentro de los mamíferos, que son escasos en la zona, destacan los cuyes o cobayos silvestres, ratas y ratones, zorro y zorrinos. La fauna ictiológica nativa está representada por el suche y el omanto. Las especies introducidas son la trucha arco iris y el pejerrey.

Cerca al área donde se encuentra ubicado el Terminal existe la Reserva Nacional del Titicaca, la que se encuentra ubicada al Noroeste del Lago Titicaca. Comprende dos sectores; el sector Puno con 29,150 Has y el sector Ramis con 7,030 Ha, comprendiendo los totorales de la margen izquierda de la desembocadura del río Ramis; así como las lagunas Sunuco y Yaricoa.

Los objetivos de esta unidad de conservación son:

- Conservar ecosistemas de crilla lacustre

- Otorgar protección a las especies en peligro de extinción
- Desarrollar técnicas de utilización racional de algunas especies hidrobiológicas
- Implementar las facilidades para el uso creativo, educativo o cultural
- Contribuir al desarrollo económico de la región
- Un centro arqueológico bastante cerca de Juliaca son las Chullpas de Silustani famosas por sus altas torres funerarias.

### **3.2 Receptores: Entorno Socioeconómico**

Los principales receptores que tienen influencia con las actividades del Terminal, son los pobladores de Juliaca que normalmente realizan actividades alrededor del Terminal. Juliaca es la segunda ciudad de importancia del departamento de Puno y es un centro próspero de actividad económica y comercial.

La provincia de San Román es una zona altamente urbana. La población está centralizada en la ciudad en un 90% solo un 10% de la población es considerada rural.

La artesanía es una de las actividades más extendidas entre los habitantes de San Román, fabrican toda clase de instrumentos de madera, guitarras, charangos, violines. Son excelentes ceramistas así como buenos tejedores.

La infraestructura en la ciudad de Juliaca es propia de una población urbana en crecimiento, con comunicación terrestre y aérea. Los sistemas de comunicación de servicio público están acordes con las de una ciudad moderna e incluyen telefonía con discado directo, fax, teles, estaciones de retransmisoras de televisión, cable, etc.

La educación es relativamente buena en la provincia. Sin embargo a pesar de que existe suficiente infraestructura de escuelas y colegios, es común la deserción escolar hasta en un 8%, debido fundamentalmente a efectos climáticos (en invierno la estación es muy fría, afectando a los niños con enfermedades bronco pulmonares).

A cerca de las actividades económicas, casi el 65% la PEA de la provincia de San Román tiene actividades en el rubro de la extracción (en especial agricultura y pastoreo);18% en actividades de servicio,15% en artesanía y 8% en actividades industriales.

El Terminal está ubicado en zona industrial. La propiedad vecina al norte del Terminal pertenece a Alicorp, donde opera un almacén. Inmediatamente al sur del Terminal hay una calle sin nombre. Al este del Terminal hay un pastizal no desarrollado. El lado oeste del Terminal se usa como un área de estacionamiento de camiones. Finalmente, al oeste de esta área está la línea de ferrocarril de la Empresa Nacional de Ferrocarriles (ENAFER) y luego la carretera Juliaca- Puno.

En la zona cercana al Terminal es importante un control del manejo del acuífero dado que éste reúne características apropiadas para consumo humano, por la excelente calidad del agua del acuífero, además de que se encuentra a poca profundidad. Los pozos de control perimetrales deben garantizar que la contaminación no alcance a dañar dicho acuífero por infiltraciones en la napa freática.



## 4.0 REGISTROS HISTORICOS

### 4.1 Historial Cronológico del Terminal

El Terminal de Juliaca se construye e inicia operaciones, para almacenamiento de petróleo en 1949 por la International Petroleum Company. PETROPERU asumió sus operaciones en 1969. En 1974 se realizan expansiones, construyéndose tres nuevos tanques. La última expansión se llevó a cabo en 1982.

#### a) Propietarios y uso anterior del suelo

Antes de construirse, el área donde está ubicado el Terminal era para uso de pastoreo. No se tiene información acerca de los propietarios anteriores.

#### b) Autorización, Licencias y Permiso de Instalación y Operación.

- Autorización de Uso, Funcionamiento: Opera antes de promulgarse el DS 053-93-EM
- Constancia de Registro de la DGH: N° 0960927 del 10.07.98
- Tipo de Zona del Establecimiento: Industrial.
- Autorización Municipal de Funcionamiento: Municipalidad Provincial de San Román - Juliaca; Expediente N° 003857-99, Autorización N° 187-99.

#### c) Adiciones y Modificaciones en la Estructura de Almacenaje del Terminal.

Comparando los planos de distribución general realizados en Abril de 1994 y Junio de 1997, así como información de tanques de diversas fechas, se nota que mayormente no se han producido cambios en la distribución de los productos almacenados (**Cuadro N° 03**), salvo en el tanque 5 que, hasta antes de 1986, almacenaba gasolina. Actualmente almacena kerosene.

### 4.2 Historia de Derrames, Pérdidas y Aspectos de Contaminación

#### a) Historia de Derrames

De acuerdo con las entrevistas realizadas al personal del Terminal, dentro de las instalaciones las ocurrencias, mayormente han consistido en derrames menores asociados a las tareas operativas y la mayor parte de ellas sin registro. En el **Cuadro N° 04** se presenta una relación de eventos de derrames documentados ocurridos en el Terminal.

#### b) Perdidas y Fuentes Activas de Contaminación por Hidrocarburos

El Terminal opera desde hace varias décadas; durante ese periodo por varios motivos ha ocurrido contaminación y/o pérdidas de los diferentes productos que comercializan. Por ejemplo el deterioro de las instalaciones o materiales que conforman los fondos de los tanques o las tuberías de conducción, constituyen una fuente activa de contaminación. Para estas situaciones de averías no controladas a tiempo se desconoce los volúmenes de HCs que se perdieron.

Otra fuente activa de pérdida y/o contaminación; lo constituyen operaciones de carga y descarga de HCs, mal realizadas, en este grupo se incluye fundamentalmente los derrames por rebalse. En este caso, por lo general los volúmenes que se pierde son conocidos, así como las áreas contaminadas.

Un tercer grupo de pérdidas y/o contaminación; es la falta de técnicas, controles adecuados y, programas de mantenimiento preventivo que posibiliten operaciones limpias, incluyendo las operaciones de transporte y despacho de los HCs, así como técnicas e instalaciones eficientes de separación de las aguas saladas de los HCs. Actualmente las pérdidas de HCs se han minimizado en el Terminal, gracias al uso de tecnologías limpias, controles y programas preventivos de perdidas y/o contaminación por HCs.

#### **c) Contaminación Superficial Dentro y Alrededor de las Instalaciones**

Se observó manchas a lo largo de las vías del ferrocarril en especial en el área de descarga de los vagones.

#### **d) Otro Tipo de Fuentes Activas de Contaminación**

La formación con el tiempo, de mezclas heterogéneas de hidrocarburos (parafinas y asfaltenos) con sedimentos y agua atrapada es un residuo común en la industria del petróleo. A esta mezcla se le denomina comúnmente "Borra", se acumulan en los fondos de los tanques donde se almacena petróleo crudo y/o refinado y en áreas donde se encuentren estancados. Dependiendo de la concentración de cada componente, puede tener apariencia de crudo emulsionado hasta depósitos sólidos en aspecto fangosos y grumoso.

Antes la "Borra" se enterraba cerca de los tanques. Según personal que labora en el terminal, la limpieza de los tanques se efectuaba cada tres años, obteniéndose en promedio 10 barriles de borra por tanque, enterrándose ésta a una profundidad entre 1 y 2 m, sin una adecuada disposición ambiental, debido a la falta de reglamentación al respecto y al desconocimiento de la profundidad de la napa freática.

Hoy existe una poza ubicada en la esquina este del Terminal donde se almacena transitoriamente la borra. Esta poza cuenta con paredes y fondo de concreto. Consorcio Terminales está evaluando la disposición final de la borra una vez que se llene la poza.

Los residuos sólidos industriales (chatarra) se depositan al lado este del patio de tanques, los cuales son posteriormente comercializados.

### **4.3 Historial de Mantenimiento de Tanques**

#### **TANQUE N° 1; Diesel 2**

1987 Reparación de dos planchas centrales del fondo para 1998  
1988 Se tapó con soldadura huecos del fondo  
1992 Cambio parcial del fondo: 28 m<sup>2</sup>

#### **TANQUE N° 4 Kerosene**

1992 Limpieza del fondo, oxidación generalizada  
1997 Cambio parcial 14 m<sup>2</sup> de plancha

#### **TANQUE N° 5: Kerosene 1979**

Calafateo tres huecos (costura techo con cuerpo).

## 5.0 INGENIERIA

### 5.1 Aspectos Sobre Contaminación por Hidrocarburos (HCs)

El manejo de HCs involucra una serie de operaciones y equipos especializados para realizar operaciones limpias, tal que los productos de petróleo no salgan de sus círculos y contenedores. Sin embargo, fallas en el sistema, derrames, salpicaduras, filtraciones, fugas por instalaciones malogradas, etc. pueden contaminar el suelo, el agua y el aire. Cada uno de los medios estarán en mayor o menor medida contaminados de acuerdo al tipo de producto de petróleo que lo haya impactado, ya que cada tipo de producto es diferente en su composición y en sus propiedades. Dependiendo de las características del suelo y/o subsuelo, la contaminación puede ser más rápida y profunda si se trata de HCs livianos o de cadena corta, o más lenta y menos profunda si se trata de HCs pesados o de cadena larga. En las fugas o derrames de gasolina, los medios afectados contendrán mayores concentraciones de VOC, pues estos compuestos se hallan en mayor proporción en los productos livianos de petróleo. La gasolina puede tener en su composición de 10 a 30 % de benceno; otras muestras contaminadas pueden contener mayores concentraciones de HCs poliaromáticos o de moléculas oxigenadas de HCs, que son bastante solubles en agua.

En el marco general de control de contaminaciones por hidrocarburos es necesario desarrollar con mayor precisión los siguientes puntos.

- Un conocimiento detallado de los productos del petróleo, su composición y propiedades, para poderlos reconocer cuando son detectados en el suelo y/o agua.
- Los diferentes métodos analíticos para identificar los posibles contaminantes. Definir correlaciones simples, de tal manera, que con la menor cantidad de análisis se pueda detectar los compuestos de HCs que sean potencialmente más peligrosos o que muestren mayor concentración. Identificar el tipo de contaminación, así como definir la magnitud del contaminante pero sin detectar aún su grado de peligrosidad.
- Conocidos los niveles de contaminación y su ubicación, evaluar las posibles vías de transporte hacia los receptores potenciales de contaminación y su migración (drenaje) desde el suelo superficial hacia las aguas subterráneas. Para ello es necesario conocer como están conformadas las capas superficiales del suelo, las características del subsuelo y del acuífero, detallando sus principales parámetros tales como permeabilidad, porosidad, gradiente hidráulico, profundidad de la napa freática, dirección, velocidad, etc. Este punto deberá completarse definiendo las concentraciones a que se espera llegar en los puntos de exposición.
- Definir a través de un análisis de riesgo de nivel, cual es el límite permisible de remediación, de manera que un contaminante no cause impacto ambiental negativo.

### 5.2 Caracterización del Suelo Contaminado por Hidrocarburos (HCs)

#### 5.2.1 Metodología

La evaluación de contaminación de suelos, se basó en las informaciones recogidas durante las Fases 1 y 2, procesadas con el fin de precisar las áreas, profundidades y volúmenes de suelos contaminados con HCs, las fuentes activas de contaminación y las posibilidades de migración y transporte de la contaminación a los receptores de interés.

La información recolectada y procesada está referida a los siguientes puntos:

- Historial sobre derrames de HC o contaminación directa al suelo y subsuelo.
- Entierros de borras provenientes de los tanques de almacenamiento de HCs.
- Observaciones del perfil litológico reconstruido durante la excavación de sondeos o instalación de los pozos de monitoreo tanto en la Fase 1 y 2.
- Resultados de análisis preliminares de campo: TPH, VO y gases combustibles.
- Resultados de análisis de laboratorio de muestras sólidas: TPH, BTEX, EPH.

### **5.3 Caracterización Física del Subsuelo**

#### **5.3.1 Análisis Granulométrico**

Durante la evaluación de campo se tuvo cuidado en hacer una adecuada interpretación de la granulometría del material que se iba extrayendo con la finalidad de caracterizar al suelo y complementar con información que ayude a determinar su migración (drenaje) al subsuelo. Para determinar la caracterización física tal como granulometría, se seleccionó una muestra identificando previamente el lugar: P-4 SO2 y la profundidad.

#### **5.3.2 Porosidad**

La porosidad condiciona la movilidad de los compuestos solubles y volátiles, e influye en la velocidad del agua, según la ecuación de Darcy. El objetivo es determinar la migración (drenaje) al subsuelo, transporte de los contaminantes hacia receptores y hallar los posibles volúmenes de aguas subterráneas contaminadas con HCs solubles. Se seleccionó una muestra identificando el lugar: P-4 SO2 y la profundidad, para hallar la porosidad.

#### **5.3.3 Humedad, Densidad, Capacidad de Retención de Agua**

Similarmente, con la finalidad de seguir caracterizando al suelo y complementar con información que ayude a determinar su migración (drenaje) al subsuelo y transporte, se seleccionó una muestra identificando previamente el lugar: P-4 SO2 y la profundidad, para poder determinar la humedad, máxima humedad, densidad específica, máxima capacidad de retención del agua, peso unitario original, peso seco, etc.

### **5.4 Caracterización Hidrogeológica**

Los aspectos hidrogeológicos que interesa caracterizar son los que tienen que ver con la migración y transporte de contaminantes. En este caso se considera la migración vertical desde el suelo superficial al subsuelo a través de los diferentes estratos, y el transporte de los contaminantes de HCs, producido por las corrientes de agua subterránea hacia los receptores potenciales y por las propias características del acuífero.

En la evaluación del acuífero, aparte de las características hídricas, se considera los estratos por donde discurre el agua. Los parámetros más importantes son la permeabilidad, la porosidad, el gradiente hidráulico y la anisotropía de acuerdo a la dirección.

Dichos parámetros son importantes porque; la permeabilidad es una característica del arreglo de las partículas y tamaño de ellas, mientras que la anisotropía está relacionada a la

formación de sedimentos en capas con diferentes composiciones granulométricas. La porosidad se halla relacionada con la forma, la dimensión y la disposición de los granos, variando con la cimentación y compactación de las rocas. Además, el gradiente hidráulico es el que origina el movimiento del agua subterránea.

#### 5.4.1 Distribución de Vapores Orgánicos (VO) en el Subsuelo

El objetivo es evaluar cual es la distribución de los vapores orgánicos (VO) en el subsuelo del terminal, de tal forma que se obtenga una red de distribución, que sirva como instrumento para definir la localización de los sondeos y/o pozos de monitoreo (piezómetros) de aguas subterráneas a perforar en el emplazamiento.

El principio de este objetivo se basa, en que las fracciones ligeras de los hidrocarburos (HCs) tienen tendencia a liberar compuestos volátiles, que alcanzan una dispersión mayor que las de las fases líquidas o sólidas de los HCs, de manera que la detección de estos compuestos volátiles sirve como indicio para la localización de las otras fases de HCs que pueda existir en el subsuelo. Los valores importantes de VO indican la presencia de Producto libre (hidrocarburo en flotación sobre el agua. PL) relativamente fresco o de HC con notable presencia de volátiles

Para detectar la presencia de VO en el subsuelo del terminal se hicieron perforaciones y en cada una de ellas se aplicó un aparato detector llamado “**FID**” (**Detector de Ionización de Flama**), con el que se obtiene una lectura total de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y de gases combustibles, (que son indicios de la presencia de HCs de petróleo relativamente nuevo) en cada perforación.

Las perforaciones se hicieron de forma manual, inicialmente mediante el golpeo de una barrera maciza con la ayuda de una comba. Una vez hecha la perforación se introdujo dentro de esta una barrena hueca, provista de una punta de acero que a su vez está conectada a una tubería de teflón.

La conexión entre la punta y la tubería dispone de unos orificios a través de los cuales se puede aspirar los gases presentes en el subsuelo. El otro extremo de la tubería se conecta al FID que está provisto de una bomba de aspiración.

#### 5.4.2 Excavación de Calicatas

Para obtener información en zonas en que las perforaciones manuales realizadas como parte de la distribución de VO no alcanzaron los 2 m de profundidad, se hicieron calicatas con retroexcavadora. En total se realizaron 36 calicatas (excavaciones), efectuadas en la Fase 1 (denominadas con la letra J de Juliaca): J-1, J-2, ... hasta J-36, para la medición de VO y gases combustibles para la observación directa de los suelos cercanos a superficie.

En estos casos no se midió esta concentración “in situ” ya que el efecto de apertura de la calicata favorece, la migración hacia la atmósfera de los VOCs y por lo tanto la lectura que se obtendría de aplicar el FID sobre las paredes de la excavación serían no fiables. Por este motivo las medidas se realizaron siguiendo un protocolo de análisis y toma de muestras denominado con el nombre de “**head space test**”, que consiste en coger muestras del suelo (a 1, 1.5 y 2 m de profundidad en el presente caso) ya sea de la propia cuchara de la retroexcavadora o bien tras excavar un poco las paredes o en el fondo de la excavación abierta con una pequeña pala, e introducirla en el interior de una bolsa de plástico con cierre hermético que es cerrada inmediatamente para impedir la salida de los VOCs al exterior,

tras agitar la bolsa y dejarla reposar minutos, se introduce la sonda del FID a través del cierre y se registra la concentración de vapores y gases.

### 5.4.3 Perforación de Sondeos e Instalación de Piezómetros

Basándose en la red de distribución de VO, lo observado en la excavación de calicatas, al conocimiento verbal y registros documentados de derrames y/o fugas de HCs, se procedió a la ubicación de los sondeos e instalación de piezómetros (pozo de monitoreo de agua subterránea o también llamados pozos de control). Algunos pozos de monitoreo se ubicaron en los perímetros del Terminal para monitorear los puntos de control.

En cuanto a los términos “sondeo”, “piezómetro” y “pozo” que se utilizan en esta tesis se debe tener presente que el término **sondeo** se utiliza cuando se refiere a la perforación como tal al o al registro geológico (perfil litológico) hecho de la misma, es un tipo de perforación que permite descubrir cómo está constituido el subsuelo, qué tipo de material lo conforma y si existen estratos contaminados.

Los términos **piezómetros** y **pozo** se refieren a las perforaciones completadas con **tubo piezométrico**, grava, bentonita etc. El **piezómetro** (pozo de control) es aquel pozo cuyo objetivo es exclusivamente el control del Nivel Freático (NF), mientras el pozo se entiende cuando se usa para extraer agua o Producto Libre (PL, hidrocarburo flotando sobre el agua).

En total se realizaron 3 sondeos, realizados en la Fase 2: SJ-1, SJ-2 y SJ-3 en el interior del Terminal, en todos ellos se logró pasar el Nivel Freático (NF). La perforación se efectuó por partes girando el perforador y penetrando cada 20 a 30 centímetros y retirando el material cogido por el equipo. El material extraído se acomodó sobre una superficie libre, de tal manera de poder examinar la calidad del material. Se efectuaron operaciones similares hasta alcanzar la profundidad previamente determinada o por decisión in situ.

En perforaciones sobre suelos duros (rocas) y relativamente profundas normalmente se emplea perforación con maquinaria, la perforación se puede realizar ya sea en húmedo con broca que actúa por rotación y percusión (suelos rocosos) o en seco, con barreno tipo gusano sin fin (suelos blandos y homogéneos). Dadas las características del suelo de Juliaca, no fue necesario utilizar máquina perforadora.

Para instalar los piezómetros, ( pozos de monitoreo) se siguió las siguientes fases:

- **Etapas de perforación:** Se usó un barreno manual de 3” de diámetro apoyado por un cuerpo de 1’ aproximadamente. Una vez que el sondeo hubo alcanzado el nivel freático se apoyó la perforación con un revestimiento de PVC para impedir que la pared del pozo se desmorone.
- **Colocación del tubo filtrante:** Alcanzada la profundidad recomendada se colocó una tubería de PVC ranurada con un diámetro aproximado de 2”. Este tubo filtrante o tramo ranurado, contaba con ranuras de 0.5 mm en toda su longitud. Los tubos se instalaron sin usar solventes, goma u otro tipo de sustancias químicas.
- **Colocación de grava:** Se relleno el espacio existente entre el tubo de revestimiento de 4” y el tubo filtrante con grava silicosa seleccionada, homogénea y limpia, de tamaños menores de 4 mm y mayores de 2 mm, con el objetivo de tener una capa drenante que permitiera el paso del agua y que impidiera, al mismo tiempo, la obturación de las ranuras del tubo de PVC por materiales finos.

- **Colocación de bentonita:** Por encima de la capa de grava se colocó aproximadamente 0.9 m de bentonita para que sirviera de sellante (dadas las características de este material de aumentar su volumen con la humedad), de manera que se asegure que no hay infiltraciones líquidas provenientes de la superficie que puedan llegar hasta el interior del piezómetro a través de la vía preferencial que supone la perforación realizada. De este modo se asegura que el agua subterránea que se pueda extraer para muestra, del interior del piezómetro, sea representativa de la calidad del acuífero existente en ese punto.
- **Acabado del pozo:** Estuvieron dirigidos a proteger la parte externa del tubo filtrante y la parte superior del suelo que rodeaba a la cabeza del pozo. Los pozos de monitoreo fueron provistos de protectores contruidos con tubo de fierro de 4" de diámetro y 0.60 m de longitud con tapa de metal en la parte superior.

El tubo se pintó con pintura epóxica para protegerlo del ambiente corrosivo de la zona. Cada protector se fijó al suelo con un dado de concreto de 0.30 m x 0.30m x 0.30 m en la base.

La longitud del tramo exterior de la tubería ranurada de PVC fue ajustada a la longitud de los protectores de fierro. Para esto, previo a la instalación de los protectores, se cortó el tubo de PVC ranurado y se unió a un tubo de PVC ciego a la longitud necesaria; finalmente se colocó grava hasta cubrir la unión de PVC.

En los pozos perforados sobre lozas de cemento o asfalto se colocaron cajas de registro metálicas, porque el tránsito vehicular por esas zonas impedía colocar protectores tubulares. Todo los tubos protectores fueron numerados y provistos con candados.

En la **Figura N° 01** se muestra un esquema general del pozo de monitoreo.

- **Purga de las aguas filtrantes:** Finalizada la construcción del pozo se purgó, cerca de unos 20 volúmenes del total de agua que almacena el pozo; equivalente aproximadamente a 40 a 50 litros de agua

La purga de agua consiste en estimar el volumen de agua contenido en el interior de cada piezómetro y extraer, al menos, 4 veces este volumen. Esta labor se realiza para eliminar los finos que pueden haberse adherido a las ranuras del filtro de los piezómetros durante su instalación y evitar que la permeabilidad (K) descienda por la presencia de estos finos.

Además, permitió restablecer la línea de conductividad hidráulica y estabilizar el acuífero en el lugar que se hizo la perforación. Luego el pozo estuvo en condiciones de ser monitoreado y obtener de ellas las muestras e información de la calidad de aguas subterráneas.

Los pozos de monitoreo se extendieron entre 1.0 y 1.5 m por debajo del N.F. Este rango se estimó como adecuado para los procedimientos de muestreo y la determinación del gradiente hidráulico, debido a que no se esperaba que fluctuó el N.F en más de 20 cm.

Esto último fue corroborado por el hecho de que ningún pozo instalado en la Fase 1 se encontró seco, a pesar de haber sido instalados a menor profundidad.

De esta forma se han instalado 16 piezómetros o pozos de monitoreo. Fase 1: J-2, J-3, J-6, J-7, J-11, J-14, J-20, J-21, J-22, J-29, J-31. Fase 2: P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5, de los cuales 12 de ellos, el J-2, J-3, J-11, J-14, J-20, J-21, J-22, J-29, J-31, P-1, P-4 y P-5, han sido



ubicados estratégicamente alrededor del perímetro del terminal, que servirán como red de control de las aguas subterráneas.

#### **5.4.3.1 Medición y Análisis de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y Vapor Combustible**

Las concentraciones importantes de CO<sub>2</sub> indican donde está ocurriendo la oxidación de HCs, es decir, reacciones aeróbicas producidas por microorganismos que llevan a cabo la biodegradación de los HCs.

Para determinar la biodegradabilidad de la posible contaminación existente en el subsuelo, se realizaron análisis in situ de las concentraciones de los gases O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el subsuelo.

Para cumplir dicho objetivo se tomaron 3 muestras del registro de cada sondeo y/o pozo de monitoreo. Para las mediciones se utilizaron instrumentos como el "Eagle" y "MiniRea"; de esta manera se determinaron las concentraciones de gases combustibles, concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Este aparato determina la concentración de los gases antes especificados en porcentajes. El equipo viene calibrado de fábrica. Respecto a esta calibración y su aplicabilidad, entendemos que el uso de este aparato para este propósito tiene sentido desde un punto de vista cualitativo, no cuantitativo. Es decir, el aparato mostrará un cambio en las proporciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en condiciones de extrema contaminación por parte de HCs y dependiendo de la porosidad y permeabilidad del suelo en estudio. Estos dos parámetros determinarán la facilidad para extraer los gases existentes en el subsuelo.

#### **5.4.3.2 Medición del Nivel Freático (NF) y Producto Libre (PL)**

En todos los pozos de monitoreo instalados se midió la posible presencia de Producto Libre (PL, hidrocarburo en flotación sobre el agua) y midió el Nivel Freático (N.F), usando un buscador de nivel de agua o una sonda de interfase electrónica marca Solinst, modelo 122.

Restando la profundidad a la que se detecta el agua con la profundidad a la que se detecta la parte superior de la capa de PL (hidrocarburo en flotación sobre el agua), se obtiene la medida del espesor aparente del Hidrocarburo (HC) en flotación sobre el Nivel Freático (NF).

En aquellos piezómetros en los que no se detectó HCs en fase libre, se midió la profundidad del agua subterránea. Para ello se procedió primeramente a purgar los piezómetros.

Una vez realizada la purga en los piezómetros, y tras esperar un tiempo prudencial para permitir que los niveles se estabilicen en el interior de los piezómetros, se midió la profundidad del nivel de agua subterránea en su interior.

Todas las medidas de niveles hechas en campo se realizaron tomando como referencia la parte superior de la tubería de PVC en cada piezómetro. Con el fin de determinar las fluctuaciones del Nivel Freático (NF) a corto plazo, se llevaron a cabo rondas de control, en las que se midió la profundidad del NF en todos los piezómetros instalados.

#### **5.4.3.3 Corrección de la Medida del Nivel Freático (NF)**

En aquellos piezómetros en los que existe una capa de PL en flotación es necesario hacer una corrección a la medida del NF porque, si no se hiciera, se estaría comparando el NF de aquellos piezómetros en los que no hay PL con el nivel del agua deprimido por el peso del producto en flotación en aquellos donde éste está presente. Esta corrección se basa en la teórica sustitución de la masa del PL por otra masa equivalente de agua, lo cual, teniendo en cuenta la diferencia de densidades conlleva una corrección de la "altura" del líquido.

En términos matemáticos, la corrección tiene la siguiente expresión:  $\Delta h = \rho_p * E / \rho_a$

Donde  $\rho_p$  : densidad del producto

$\rho_a$  : densidad del agua

E : espesor aparente del producto medido

La profundidad corregida del NF medida desde la boca de los piezómetros, se obtiene de sumar a la profundidad al agua subterránea, obtenida con la sonda interfase, la expresión anterior, en aquellos sondeos en los que se detecte un espesor aparente de PL, es decir:

$$H_c = H_{nf} + \Delta h$$

Donde  $H_c$ : Profundidad corregida del nivel freático

$H_{nf}$  : Profundidad al agua subterránea bajo el producto

$\Delta h$  : Incremento de altura calculada anteriormente

#### 5.4.3.4 Medición del Espesor Real del Producto Libre (PL)

La realización de una buena estimación del espesor de PL es esencial, ya que éste será el dato base para estimar el volumen total existente en el subsuelo, en caso de que existiera.

Como se indicó antes, en el campo se realizaron mediciones para hallar el espesor aparente de PL en cada piezómetro. En los pozos de monitoreo J-2 y J-29 en los que se detectó PL, lo que se mide es su "espesor aparente" que no coincide normalmente con el "espesor real", es decir, con el espesor de PL que existe en el subsuelo en condiciones naturales. Esto se debe a la atracción entre partículas que se produce en la denominada "capa capilar", situada justo por encima del NF y que se debe a las denominadas "fuerzas capilares", que son fuerzas de atracción entre partículas. Cuando se perfora un sondeo y se instala un piezómetro se destruyen estas fuerzas, lo que elimina los impedimentos que pudiera tener el PL para fluir hacia esta zona; el resultado es que se produce una mayor acumulación de PL a la que existe en el subsuelo en condiciones de existencia normal de fuerzas capilares.

La diferencia entre el espesor aparente y el espesor real, depende del volumen de HCs existente en el subsuelo, la viscosidad del HC (y, por tanto, su capacidad para fluir), la granulometría (la diferencia entre los espesores real y aparente es mayor cuanto más fino es el grano, por lo que en un suelo arcilloso, la diferencia será muy significativa, en tanto que en suelos compuestos por cantos limpios los espesores real y aparente tendrán a ser coincidentes) y el gradiente hidráulico.

Un método para estimar el espesor real de PL en un piezómetro es el denominado "Baillow test", que es un ensayo de vaciado y recuperación de PL in situ, similar a las pruebas de bombeo y recuperación hidráulica para calcular la permeabilidad (K). Dicho método consiste en extraer PL hasta dejarlo reducido a una fina película; a continuación, se mide la profundidad al agua subterránea y al PL. La profundidad a ambos líquidos irá disminuyendo a medida que asciendan los niveles previamente purgado; sin embargo, a partir de un determinado momento, la curva correspondiente al agua subterránea cambiará su tendencia, pasando entonces a aumentar la profundidad como consecuencia de la continuada entrada de PL y la depresión que la masa de PL ocasiona al NF. Es en este punto de inflexión, representado en un grafico, es cuando se produce el equilibrio entre las presiones hidráulicas del agua y el PL, tanto en el interior como en el exterior del piezómetro

y es, por lo tanto, en este punto, en el que se considera que el espesor de PL medido coincide con el espesor real del HC que existe en el subsuelo.

El estudio analítico del tipo de curva que desarrolla (recuperación versus tiempo) va a permitir hallar el espesor real del producto libre en flotación.

#### **5.4.4 Nivelación Topográfica**

Después de instalar los piezómetros se evaluará las alturas topográficas de las mismas para hallar el nivel exacto de la napa freática. Con esta nivelación se desarrollará un contorno de la napa freática, la dirección del flujo hídrico y la gradiente hidráulica y topográfica.

##### **5.4.4.1 Cálculo de la Gradiente Topográfica**

La nivelación topográfica, tuvo de referencia el nivel medio del mar, según la Tabla de Mareas del Instituto de Hidrografía de la Marina. Se tomó cotas del nivel terreno, nivel tubo protector, nivel tubo PCV, nivel de la napa freática y coordenadas UTM de cada piezómetro.

Sobre la base de esta información se calculó la gradiente topográfica, con el objetivo de completar el estudio de la migración de HCs sobre la superficie luego de un derrame o fuga.

##### **5.4.4.2 Cálculo de la Gradiente Hidráulica**

Uno de los principales parámetros determinantes en el origen de la movilidad del acuífero o desplazamiento de las aguas subterráneas; es la variación de presión o depresión llamada gradiente hidráulica. Dicho parámetro influye directamente en el transporte de los contaminantes hacia los receptores, como tal es uno de los factores que determinan el riesgo a la salud que pueda generar los suelos y/o aguas subterráneas contaminados con HCs. Con las cotas topográficas de los pozos de monitoreo y la distancia de separación entre ellos se procedió a calcular la gradiente hidráulica.

##### **5.4.4.3 Cálculo de la Dirección del Flujo Hídrico (aguas subterráneas)**

El destino y/o transporte de los contaminantes contenidos en el acuífero, se determina entre otros parámetros por la dirección del flujo hídrico (aguas subterráneas), la misma que se determina por las líneas de corriente, que son normales a las líneas isopiezométricas o isopiezas (Aplicando el método del triangulo; se obtienen uniendo las cotas iguales de los piezómetros debidamente nivelados. El resultado del trazado de las líneas isopiezométricas, es la llamada carta isopiezométrica, donde se muestran la profundidad y el tipo de napa freática, la gradiente hidráulica, e interpretar el perfil de depresión de la napa).

#### **5.4.5 Cálculo de la Permeabilidad (K) del Acuífero**

La permeabilidad es un valor constante para un tipo de substrato y para un determinado tipo de fluido. Para el caso de derrames de HCs, el comportamiento del acuífero se vería afectado por el cambio del fluido. El valor de K varía proporcionalmente en función del peso específico del fluido e inversamente proporcional a la viscosidad.

$$K = K_o \times P \times E / \mu$$

Donde:  $K_o$ = Coeficiente de permeabilidad

$PE$ = Peso específico

$\mu$  = Viscosidad cinemática del fluido

#### 5.4.5.1 Método de Hvorslev

A efectos de determinar la permeabilidad (K) del subsuelo o conductividad hidráulica, se determinaron 3 ensayos en 3 piezómetros: P-3, J-14 y J-21, donde no se encontró PL. Estos ensayos consistieron en la introducción de agua en los piezómetros, con objeto de llenarlos, siguiendo el método de Hvorslev.

Estas pruebas miden de una manera indirecta algunos parámetros que caracterizan al acuífero, el más importante es el cálculo de la constante de permeabilidad (K) o también llamada conductividad hidráulica. Una vez conocida la curva de recuperación hidráulica y aplicando la ecuación de HVORSLEV, se calcula la constante de permeabilidad (K). La constante de permeabilidad (K) es una función inversa al tiempo de recuperación de tal manera que, mientras más lenta sea la recuperación, menor será el valor de K. Los valores de t pueden variar desde algunas fracciones de minuto (con valores de k del orden de 0.001 cm/seg) a varios días de recuperación, correspondiendo a valores del orden de  $10^{-7}$  cm/seg.

Otro parámetro que no debe desatenderse es el Radio  $R$  de la perforación, que está en relación inversa a la constante K; si la perforación no se realiza con un barreno o una broca estándar, entonces el valor de K puede ser influenciado por los nuevos valores de R, sin embargo, las variaciones de este parámetro no son de amplio rango por lo que, en el peor de los casos, podría modificar el valor de K solo dentro del rango del decimal en que este se ubica. Las curvas de recuperación hidráulica y el cálculo de valores de la permeabilidad (K) se muestran en las correspondientes **FIGURAS N° 09 al N° 11**.

#### 5.4.5.2 Método de Darcy

Se realizó el método de Darcy en el laboratorio a través de un permeómetro a volumen constante, con el objetivo de calcular la permeabilidad (k) del subsuelo. Para dicho fin se tomo una muestra del pozo de monitoreo P-5 SO1.

#### 5.4.5.3 Método de Hazen

Basándose en el resultado de análisis granulométrico (distribución de tamaño del grano en el suelo), realizado a la muestra tomada al pozo de monitoreo P-4 SO2, se utilizó el método de Hazen (de distribución granulométrica); el cual a través de un grafico logarítmico de granulometría vs permeabilidad (K), permite hallar la permeabilidad (K) del subsuelo.

#### 5.4.6 Cálculo de la Velocidad de las Aguas subterráneas

De la velocidad o desplazamiento de las aguas subterráneas, depende directamente el transporte de contaminantes solubles hacia los receptores de interés. La velocidad del agua es importante en la determinación de impactos ambientales y del riesgo a la salud y el medio ambiente que puedan causar los suelos y/o aguas subterráneas contaminadas con HCs.

Con el valor de la gradiente hidráulica y la permeabilidad (K), se puede hallar la velocidad de las aguas subterráneas (acuífero), aplicando la ecuación de Darcy, que es la siguiente:

$$V = K \cdot i$$

Donde: K = permeabilidad  
i = gradiente hidráulico  
v = velocidad del flujo

## 6.0 ANALISIS DE LABORATORIO

### 6.1 Criterios y Procedimientos de Muestreo

La calidad del agua, identifica si ésta puede ser aceptada para su uso, o descartada por su alta salinidad. Si el agua es aceptada, entonces se tendrá que doblar los controles para evitar posibles contaminaciones del acuífero fuera del Terminal.

Las mediciones de oxígeno disuelto en los acuíferos, permiten examinar la calidad del agua y los posibles hechos que permiten justificar un cambio en las concentraciones del oxígeno en el agua. Valores no esperadas pueden deberse a las siguientes causas:

- Ausencia de aire que evita saturar constantemente de  $O_2$  al agua. Las aguas estancadas y alejadas del aire mantienen menores valores de  $O_2$  que aquellas que están en contacto con el aire y están en movimiento.
- Si el acuífero tiene una capa de P.L que separa literalmente el agua del aire.
- Reacciones de consumo de  $O_2$  por acción microbiana. Esto es síntoma de descomposición de los HCs con gasto de  $O_2$ . La ausencia de  $O_2$  puede provocar reacciones microbiológicas de tipo anaeróbico, con presencia de  $CH_4$ ,  $C$ ,  $H_2S$  y en general olor a aguas pantanosas, que se tornan oscuras.

La **FIGURA N° 04**, muestra variaciones de la solubilidad del  $O_2$  en el agua, versus temperaturas.

La conductividad eléctrica del agua se midió con un Medidor de Conductividad LF 330 de la WTW; las lecturas se realizaron en mS/cm y el contenido de Sal en mg/L.

La importancia de las mediciones de conductividad eléctricas en las aguas de los acuíferos se debe a los siguientes puntos:

- Determinar calidades de aguas fuera de los estándares establecidos para consumo humano o para riego nos determinarían que esos acuíferos no son explotables y como tal el riesgo a la salud y el medio ambiente, por contaminación con HCs disminuirá por la ausencia de consumo de esas aguas.

En el **cuadro N° 05** se muestra los diferentes tipos de calidades de agua en función de la salinidad o conductividad, esta última expresada en diferentes unidades.

Conductividades por debajo de 6 mS/cm, se dicen que son de salinidad media y no existen problemas para su uso en la agricultura. Salinidad baja con conductividad menor de 1 mS/cm puede ser utilizada como aguas para consumo humano.

- Conductividades anormales y localizadas en determinados sitios del Terminal pueden significar posibles fugas. Es más probable para el caso de los Terminales de la Costa, que utilizan el agua de mar, como tal un derrame de agua de mar, significa un cambio importante en la conductividad eléctrica de un sector del acuífero.
- La conductividad puede relacionarse con las concentraciones de una determinada sal, tal como se muestra en la **FIGURA N° 05** para el NaCl, también puede ser expresada en miliequivalentes/L, como se muestra en la **FIGURA N° 06**, de tal

manera de poder calcular la misma relación pero ahora puede contarse con otros tipos de sales.

- Otro parámetro relacionado es los Sólidos Totales Disueltos /STD, como se muestra en la **FIGURA N° 07** o concentraciones de sal que contiene el agua.

Las determinaciones analíticas para detectar productos de petróleo, nos permiten conocer componentes que pueden hallarse en mayor proporción en determinado producto de petróleo, Si las determinaciones más importantes indican vapores de HC, significa la presencia de moléculas con  $C_4$  y  $C_5$  (excluyendo gases naturales), confirmando que es un producto liviano de petróleo que tiene en mayor proporción moléculas de HC de cadena larga, como combustibles grado 4, 5 y 6. Un alto valor de TPH indica el total de HCs existente en la muestra, mientras las diferentes fracciones de hidrocarburos (EPH), permiten inferir si se trata de productos livianos como la gasolina, productos medios como el kerosene y/o el diesel, o productos pesados como el petróleo industrial y otros aceites.

Las determinaciones de VOC (compuestos orgánicos volátiles), miden productos de petróleo con bajo número de carbonos en sus moléculas y alta presión de vapor a condiciones normales de Temperatura y Presión. Los más importantes son los Organoclorados y los Aromáticos (BTEX).

Las determinaciones de BTEX, si se hallan en concentraciones importantes, indican que el medio contaminado está relacionado a HCs livianos como la gasolina. El EPH (hidrocarburos extractables de Petróleo) nos indica la presencia de HCs alifáticos de cadena corta o larga e HCs aromáticos de cadena corta o larga; de acuerdo a los contenidos también nos indicará el tipo de producto existente en la muestra.

En el **cuadro N° 06**, se indican la distribución aproximada del número de carbonos en las diferentes moléculas de los principales derivados del petróleo. Si las concentraciones son altas para HCs de cadena corta y a la vez bajas para HCs de cadena larga, entonces es un contaminante tipo Gasolina; pero si las concentraciones de HC de cadena larga son importantes a pesar de contar con buenas concentraciones de cadena corta, entonces el producto contaminante es Kerosene. Si las concentraciones de aromáticos son bajas, entonces es un producto contaminante de alto peso molecular o un aceite residual. En general un incremento de HCs alifáticos significa ir de productos livianos a productos pesados, a su vez una disminución de los HC aromáticos significa ir de producto liviano a producto pesado y un crecimiento de HC de cadena corta a HC de cadena larga sea para alifáticos o aromáticos significa ir de un producto ligero a un producto mas pesado.

Otras propiedades que ayudan a definir el tipo de producto contaminante, son el punto de evaporación, si es bajo, son productos livianos y si la evaporación ocurre a temperatura mayores, son productos mas pesados. La viscosidad y la densidad también definen a los diferentes compuestos de HC, los menos densos y menos viscosos corresponden a gasolinas y los más densos y más viscosos a aceites residuales o a petróleos industriales.

### **6.1.1 Muestras de Suelos Superficiales**

El Terminal se recorrió para ubicar en un plano a escala las manchas superficiales de HCs.

Las manchas de suelos con mayor presencia de contaminantes fueron seleccionadas para un análisis de vapores orgánicos (VO) de campo. Dependiendo de los resultados, los suelos fueron seleccionados para posteriores determinaciones analíticas, especialmente para hidrocarburos extractables de petróleo (EPH).

La presencia de contaminación por HC se anotó simbólicamente en el **Plano N° 02**.

En el recorrido de inspección se ubicaron y describieron las áreas con desechos sólidos (chatarra, desmonte, barriles, etc) y se realizaron indagaciones sobre la disposición final de residuos de especial interés (suelo contaminado con HC y borra).

### **6.1.2 Muestras de Suelos Subsuperficiales**

Durante la perforación el material extraído se acomodó de forma tal que representara la columna estratigráfica existente en el subsuelo. A partir de esta supuesta columna se seleccionó el material para el muestreo. La selección fue dirigida a obtener diferentes tipos de muestras cuando el suelo cambiaba en sus aspectos físicos y organolépticos.

Los materiales extraídos fueron examinados por varios aspectos. Así tenemos:

- Textura y distribución granulométrica, además de algunas características físicas del material como humedad, densidad, compactación, etc.
- Presencia de HCs y aspectos organolépticos, especialmente color y olor

De la columna estratigráfica formada por el material extraído, se escogieron tres muestras realizando ensayos "head space", seleccionando la muestra con mayor valor en concentración de vapores (caso más contaminado) para los análisis de TPH, BTEX y EPH.

Las muestras elegidas eran de 1.5 Kg. c/u, las cuales se ponían en frascos de vidrio con tapa. Cada muestra partió de un testigo del doble de peso; es decir, el material existente en el suelo que representaba la columna estratigráfica, era de un peso de por lo menos 3 Kg.

De las tres o más muestras obtenidas por perforación, se seleccionaron de una a dos de ellas, siendo en general las más sospechosas de estar contaminadas, basado en la detección organoléptica, VO y gases combustibles, el resto de muestras fueron conservadas, para referencia futura.

De cada frasco de 1.5 Kilos seleccionado, se preparó una muestra para ser enviada al laboratorio. La muestra para análisis de TPH/EPH se colocó en un frasco pequeño de 100 ml de boca ancha y de color ámbar. Para la muestra a ser analizada por BTEX se preparó un tubo vial de 60 ml de color caramelo, llenándolo con 15 mL de metanol como preservante. Luego, con una jeringa descartable se tomó una muestra de suelo en un volumen de 10mL, el cual se transfirió al vial con metanol. Durante la preparación de la muestra se tomaron dos medidas de verificación: el peso del vial con metanol y el peso del vial con metanol y muestra. Estos datos se incluyeron en la hoja de cadena custodia.

### **6.1.3 Muestras de Aguas Subterráneas**

En los pozos de monitoreo, el muestreo de agua se realizó por lo menos dos días después de su instalación. Previo a la toma de las muestras líquidas, cada pozo fue purgado en por lo menos 10 volúmenes de su capacidad, con el fin de contar con muestras representativas.

Se realizó un control a cada uno de los dieciséis pozos de monitoreo existentes en el Terminal; once construidos en la Fase 1 y cinco en la Fase 2.



El control de cada pozo de monitoreo siguió la siguiente secuencia:

- Mediciones de (“**headspace**”) utilizando el equipo MiniRAE, PID (detector de ionización de flama, calibrado con gas de isobutileno) y un Eagle (instrumento de gas combustible, calibrado con gas hexano) en el extremo exterior del pozo para parámetros de gases combustibles, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y VOCs.
- Preparación del pozo para la toma de muestra para análisis químico, para lo cual se purgó el contenido del pozo siguiendo el procedimiento antes indicado.
- Mediciones de los parámetros físico – químicos, organolépticos y otros de las aguas, in situ los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto.

Las muestras de agua subterránea de los pozos de monitoreo se obtuvieron utilizando tomamuestras de teflón (bailers), los cuales fueron limpiados con agua y jabón industrial después de finalizado cada punto de muestreo. Las muestras para análisis de TPH/EPH se colocaron en frascos de color ámbar para totalizar 2 L., por muestra. En los casos en los que no se contó con frascos oscuros se utilizaron frascos de vidrio blanco cubiertos con platina. La muestra para análisis de BTEX se colocó en dos frascos viales de 60 ml.

Las muestras de agua para análisis de TPH/EPH se preservaron con 1 mL/L de HCl por muestra y para análisis de BTEX, se preservaron con 5 gotas de HCl. Al momento de llenar los frascos viales se tuvo cuidado de que no queden burbujas de aire atrapadas.

En los pozos donde se halló producto libre (PL) en flotación no se obtuvieron muestras de agua. En este caso solamente se toman una de dos muestras de PL en frascos viales de 60 ml. Para referencia futura. Para el caso de los pozos en el Terminal Juliaca, ninguno de ellos arrojó presencia de PL considerable, por lo que a todos se les pudo tomar muestras.

## 6.2 Programa Analítico

El objetivo del programa analítico, es hallar los niveles de contaminación en suelos y aguas subterráneas, seleccionando los parámetros que identifiquen el contaminante y su magnitud.

Los parámetros para hallar el grado de contaminación de suelos y de aguas son:

- Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs): BTEX  
Benceno  
Tolueno  
Etilbenceno  
O-Xileno, p/m-Xileno
- Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) (gasolina, diesel, petróleo pesado o aceites)
- Fracciones Extractables de Hidrocarburos (EPH)  
C<sub>9</sub>-C<sub>18</sub> Alifáticos  
C<sub>19</sub>-C<sub>36</sub> Alifáticos  
C<sub>11</sub>-C<sub>22</sub> Aromáticos

Estos parámetros son considerados los más importantes para caracterizar el grado de contaminación del lugar, debido a que cubren la variedad de compuestos químicos que se esperaría encontrar, de acuerdo al tipo de productos que almacena y distribuye el Terminal.

Los análisis de los VOCs (BTEX), estuvieron dirigidos a la detección de los 4 compuestos químicos de este grupo que cuentan con mayor evidencia de toxicidad, de los cuales el benceno es considerado cancerígeno. Para el caso de los EPH, los análisis estuvieron dirigidos a la detección de 3 fracciones de fracciones de HCs, las fracciones consisten en 2 grupos de compuestos alifáticos de 9 a 18 carbonos y de 19 a 36 carbonos, y un grupo de compuestos aromáticos de 11 a 22 carbonos; los aromáticos C<sub>11</sub>-C<sub>22</sub> constituyen los compuestos de mayor toxicidad, seguido por los alifáticos C<sub>9</sub>-C<sub>18</sub> y los alifáticos C<sub>19</sub>-C<sub>36</sub>.

Las determinaciones analíticas de las muestras obtenidas en la Fase 2 se realizaron para TPH, según el método EPA 418.1, y para VOC (BTEX) según el método EPA 8260. Para las muestras con mayor concentración de TPH se realizaron determinaciones de EPH según el método MA DEP EPH 98-1 la que permite determinar HCs alifáticos de cadena corta (C<sub>9</sub>-C<sub>18</sub>), HCs alifáticos de cadena larga, e HCs livianos y puede interpretarse con bastante aproximación que la diferencia de una lectura de TPH de una de EPH de alguna manera representan algunos de los HCs presentes en la gasolina.

También se puede hallar las cantidades de HCs alifáticos de cadena corta (<C<sub>10</sub>) cuando a la diferencia entre TPH y EPH se descuenta la concentración de BTEX, ajustando el resultado de manera que entre alifáticos y aromáticos, en el orden de gasolina, debe haber por lo menos una relación de 4/1.

El Programa de Análisis para muestras líquidas y de suelos se muestra en el **cuadro N° 07**.

### **6.3 Métodos Analíticos, Técnicas y Límites de Detección**

Los cuadros N° 08 y N° 09 resumen los métodos, técnicas y límites de detección analíticos empleados, distinguiendo entre análisis de sólidos y líquidos.

### **6.4 Control de Calidad**

El control de calidad de los análisis empezó desde la apertura de la cadena custodia, como parte de la exigencia del laboratorio "INNOLAB GMBH", Alemania donde fueron enviados.

Las muestras codificadas se acomodaron en las cajas de envío y a la vez se anotó en la hoja de custodia el tipo de muestra que era enviada (tipo de material, volumen, fecha, lugar análisis solicitado, nombre del que tomó la muestra, etc). Antes de cerrar el recipiente se contó el número de muestras y se verificó con el número que figuraba en la hoja custodia, para asegurar que el material que se enviaba como el registrado coincidiera.

Además de los controles de calidad empleados por el laboratorio en sus determinaciones (duplicados y verificación con controles), el responsable del muestreo introdujo una muestra repetida en cada lote pero con una identificación diferente; así se podrá verificar la confiabilidad de los resultados analíticos una vez obtenidos los informes del laboratorio.

## 7.0 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

### 7.1 Caracterización Física del Subsuelo

#### 7.1.1 Análisis Granulométrico

Se tomó una muestra de suelo entre 160 y 190 cm de profundidad (P-4 S02) para realizar análisis granulométricos. La característica más significativa es que el suelo es altamente arcilloso donde el diámetro  $d_{50}$  se encuentra por debajo de los  $10\mu\text{m}$ . La variación de porcentaje en peso retenido vs  $\mu\text{m}$  es relativamente baja, que permite hablar de un suelo con un amplio rango de granulometría ultra fina. Al respecto véase la **FIGURA N° 08**

#### 7.1.2 Porosidad

Continuando con la muestra, P-4 S02. La granulometría ultra fina, tiende a obstruir los poros de las rocas, disminuyendo la porosidad original. Según la clasificación teórica de Gastany, la porosidad para un tipo de roca arcillosa con 15% de limos varía del 43 a 49%.

#### 7.1.3 Peso Unitario, Humedad, Densidad, Capacidad de Retención de Agua

Si bien el peso unitario seco  $1.09 \text{ Tn/m}^3$ , es relativamente bajo, el peso tomado in situ es  $1.79 \text{ Tn/m}^3$ , bastante alto debido a su gran capacidad de almacenar agua. La alta porosidad del suelo le da una máxima capacidad de retención de agua del orden de 34.6%. Así mismo, la medida de la humedad de saturación es mayor del 42% lo que permite afirmar la gran capacidad de las arcillas de retener agua. Todas estas condiciones hacen que el suelo sea de difícil drenaje. En el **Cuadro N° 10** se presentan un resumen de la caracterización física.

### 7.2 Caracterización Hidrogeológica

#### 7.2.1 Distribución de Vapores Orgánicos (VO) en el Subsuelo

Para obtener información de los VO en diferentes zonas del subsuelo se realizaron una serie de perforaciones manuales, que no lograron alcanzar los 2 m de profundidad.

#### 7.2.2 Excavación de Calicatas

Para obtener información en zonas en que las perforaciones manuales realizadas como parte de la distribución de VO y gases combustibles, no alcanzaron los 2 m de profundidad, se realizaron 36 calicatas. El resultado de las mediciones de VO y gases combustibles se muestra en el **cuadro N° 11**, las coordenadas UTM, se muestran en el **Plano N° 02**.

#### 7.2.3 Perforación de Sondeos e Instalación de Piezómetros

Las coordenadas UTM, de los sondeos y piezómetros instalados se muestran en los **Planos N° 02 y N° 03**. Las características de sus parámetros constructivos y calidades esperadas de suelo y aguas subterráneas, se detallan en el **Anexo: Registros Litológicos**. Así mismo se muestra el esquema de pozo terminado; indicando profundidad del pozo, de la napa freática, etc.

##### 7.2.3.1 Medición y Análisis Cualitativo de $\text{O}_2$ , $\text{CO}_2$ y Vapor Combustible

En los **cuadros N° 12 y 13**, se registran información de las muestras seleccionadas en el control realizado en la Fase 2.

### 7.2.3.2 Mediciones del Nivel Freático (NF) y Producto Libre (PL)

El **cuadro N° 14**, muestra los controles sobre el NF y el PL, realizados en las Fases 1 y 2.

El N.F se halla entre 1.4 y 2.6 m bajo superficie. Variando respecto a las estaciones del año, aumentando el nivel de febrero a abril (época de lluvias) y reduciéndose de Septiembre a Noviembre (temporada seca). Estas variaciones del N.F pueden llegar a 1 m de altura.

Respecto a la variación del N.F, se observó que las lecturas de Febrero, en la Fase 2 son más profundas que las realizadas una semana antes. Significa que los pozos no tienen buena capacidad de recuperación después de haberseles purgado y se confirma por la lentitud del acuífero, debido a la baja gradiente hidráulica y a la baja permeabilidad de sus suelos. Las aguas purgadas, de color marrón (color de la tierra) indican la naturaleza lodosa del acuífero y aún su estado en busca de estabilidad. Los N.Fs medidos en la Fase 1, fueron más profundos que los valores de NFs, medidos en la Fase 2; debido al incremento del N.F en Febrero como consecuencia de las precipitaciones pluviales durante esta estación.

Con relación a la presencia de P.L, la información obtenida en la Fase 1, muestra un espesor importante en el pozo J-7 (3.95 cm) y uno de menor magnitud en el J-2 (1.4 cm); ambos pozos están ubicados en el área de despacho. En las mediciones realizadas en la Fase 2, sin embargo, en el pozo J-7 solo se observaron trazas de P.L y en el J-2 (0.15 cm) una delgada capa, apareciendo en cambio, una ligera capa en el J-29 (0.31 cm).

En las mediciones realizadas en la Fase 2, no se apreció ninguna considerable presencia de P.L, salvo una iridiscencia o trazas en los pozos donde anteriormente se encontró P.L. Se presume que las purgas realizadas a los pozos fueron suficientes para limpiar las pequeñas cantidades de P.L existentes en el área de despacho. La no presencia de P.L en las aguas subterráneas se deben fundamentalmente al buen grado de impermeabilidad de su suelo.

La desaparición momentánea de P.L en la napa freática nos hace suponer que formaba parte de un antiguo pasivo que actualmente está desapareciendo.

### 7.2.3.3 Corrección de la Medida del Nivel Freático (NF)

Según las medidas halladas de PL que se muestran en el **cuadro N° 14**; en solo 2 piezómetros en la Fase 1 y en la Fase 2, (trazas de películas de espesores pequeños, con tendencia a desaparecer), existen PL de espesor despreciable, no afectando el verdadero espesor del NF. Por lo tanto la corrección establecida para el NF en caso de existir PL; es despreciable el pequeño valor que se encuentre.

### 7.2.3.4 Medición del Espesor Real del Producto Libre (PL)

No fue necesario realizar la medida del espesor real; por lo expuesto anteriormente.

## 7.2.4 Nivelación Topográfica

### 7.2.4.1 Cálculo de la Gradiente Topográfica

El Terminal está instalado en un área plana con una gradiente topográfica aproximada de 0.528 %, con inclinación hacia el este sobre un suelo arcilloso limoso bastante profundo. En el **cuadro N° 15**, se registraron las cotas del nivel terreno, nivel tubo protector, nivel tubo PCV, nivel del acuífero y las coordenadas UTM de cada pozo, en las **Figuras N° 02 y 03** se muestran detalles del **cuadro N° 15** y en el **Plano N° 03** se muestra la gradiente topográfica.

#### 7.2.4.2 Cálculo de la Gradiente Hidráulica

El N.F está por encima de los 3,814 m con respecto al nivel del mar con una gradiente hidráulica de 0.349 % en dirección al este. En el **Plano N° 03** se muestra la gradiente hidráulica graficada. La gradiente topográfica es levemente mayor y se espera a corta distancia (unos 800 m) la intercepción de ambos planos originando lagunillas, las que son muy frecuentes en el lugar, especialmente durante la temporada de lluvias.

#### 7.2.4.3 Cálculo de la Dirección del Flujo Hídrico (aguas subterráneas)

Con el método de triangulación se halló las isopiezas y las líneas de corriente que dio una dirección, este, ligeramente al norte formando una gradiente hidráulica de 0.349 % bastante suave, que define un acuífero de baja movilidad. Al respecto véase el **Plano N° 03**

### 7.2.5 Cálculo de la Permeabilidad (K) del Acuífero

#### 7.2.5.1 Método de Hvorslev

En las **Figuras N° 9a, 9b, 9c, 10a, 10b, 10c y 11a, 11b, 11c** se muestran las pruebas de recuperación hidráulica y se calcula la permeabilidad (K), en los pozos J-21, P-3 y J-14.

#### 7.2.5.2 Método de Darcy

En el laboratorio se realizó una prueba para el cálculo de la K de una muestra obtenida del pozo P5 SO1 por el método Darcy, utilizando un permeómetro a volumen constante; el resultado fue un valor de  $K=0.0000169\text{cm/s}$  (**FIGURA N° 13**).

#### 7.2.5.3 Método de Hazen

La distribución granulométrica en la muestra P5 SO1 dio un diámetro  $d_{50}$  menor a  $10\ \mu\text{m}$ , que corresponde a una muestra arcillosa. La permeabilidad (K) medida de acuerdo a dicho diámetro, es de  $5 \times 10^{-7}\ \text{cm/seg}$  y se muestra en la **FIGURA N° 12**.

### 7.2.6 Cálculo de la Velocidad de las Aguas Subterráneas

De la ecuación de Darcy se calcula las velocidades aparente (V) y real ( $V_R$ ) de las aguas subterráneas, teniendo valores del acuífero hallados previamente; gradiente hidráulica (i), permeabilidad (K) y la porosidad ( $\phi$ ). Las velocidades aparente y real respectivamente son:

$$\begin{aligned} V &= K \cdot i, & \text{Donde: } & \phi = \text{porosidad promedio; } 46\% \\ & & & i = \text{gradiente hidráulica; } 0.347\% \\ V_R &= K \cdot i / \phi & & K = 1.69 \times 10^{-5}\ \text{cm/s (permeabilidad valor conservador)} \\ & & & V = 1.8\ \text{cm/año} \quad \text{ó} \quad \mathbf{V = 0.018\ m/año} \\ & & & V_R = 0.018/0.46 \quad \text{ó} \quad \mathbf{V_R = 0.0391\ m/año} \end{aligned}$$

### 7.3 Litología del Área del Terminal.

Los suelos existentes en el Terminal son de tipo cuaternario conformadas por sedimentos aluviales depositados en un ambiente tranquilo dada la finura de sus granos. Esta capa comienza cerca de la superficie y por lo general conserva propiedades similares hasta encontrar la zona donde hay presencia de agua subterránea; es decir, su espesor puede variar entre 1 y 3 m. Los materiales que predominan son lamas arcillosas de color pardo café bastante moldeables. Estos materiales pueden cambiar de color o textura en

situaciones específicas, por ejemplo: oscurecimiento del material se debe a la presencia orgánica, sea de la descomposición de vegetales o de la biodegradación de HCs.

Otro tipo de material, es la de arena fina, la que normalmente se ha hallado en capas que conforman el acuífero de la zona, a profundidades de 1.5 a 2.0 m debajo de la superficie.

Las capas superficiales están conformadas por suelos naturales del lugar mezclados con material de préstamo. Normalmente los suelos limo arcilloso están mezclados con grava, raíces y otros residuos. Sin embargo, las capas con estas características tienen espesores menores a 20 cm. El más representativo está en los suelos de la vía férrea.

Por las características del subsuelo, la posible migración de productos hacia la napa freática, a partir de un derrame en superficie, es lenta por la baja permeabilidad de las capas de arcillas. Una vía que podría favorecer la migración es por donde se haya roto la homogeneidad de la capa, creando grietas o introduciendo materiales más permeables.

En el **Anexo: Registros Litológicos**, se presenta información recogida de los diferentes sondeos, calicatas y/o pozos de monitoreo, realizados en varios lugares del Terminal y que están representadas en los perfiles estratigráficos de cada una de estas excavaciones, también se detalla la posible presencia de HCs como contaminantes, la presencia de aguas subterráneas y los niveles en que se tomaron las muestras.

## 7.4 Hidrogeología

### 7.4.1 Características del Acuífero

En el **Cuadro N° 16** se muestran las características más importantes del acuífero ubicado bajo el Terminal. La información está dada para varios tipos de materiales, de tal manera de poder indagar cual sería el comportamiento de posibles contaminaciones por productos de petróleo, estén éstas ubicadas en la superficie o en las capas superiores del acuífero.

El subsuelo es homogéneo conformado por capas donde la variabilidad es escasa, pues pasan de capas altamente arcillosas a capas arcillo limosas. Sólo ocasionalmente se observa presencia de arenas finas. En este tipo de subsuelo los posibles derrames de HCs migran de manera muy lenta, pues por un lado la impermeabilización del subsuelo opone una resistencia a la profundización, haciendo que el drenaje en sentido vertical sea muy difícil y, por otro lado la topografía plana limita la movilización horizontal de los líquidos.

Las aguas subterráneas normalmente están dentro de un acuífero conformado por material fino consistente en arcillas y ocasionalmente con presencia de arenas finas. La permeabilidad (K) hallada es del orden en promedio de  $1.6 \times 10^{-5}$  cm/s, valor bastante pequeño que determina una baja movilidad del acuífero. Esta movilidad queda aún más restringida por la baja gradiente hidráulica. La velocidad del acuífero es del orden de 0.018 m/año ó 1.8 cm/año, (Velocidad = Constante de permeabilidad por Gradiente hidráulica). La topografía y el nivel freático plano hacen que el acuífero tenga poca movilidad.

Con los resultados de las pruebas de conductividad hidráulica realizadas en varios pozos, se empleó el método gráfico para hallar el valor de tiempo (Log T), que se emplea en el cálculo de K por el método Hvorley. Los resultados varían de  $4.17 \times 10^{-3}$  a  $5.95 \times 10^{-6}$  cm/seg. Los valores más pequeños de permeabilidad (K) corresponden a estratos finos ricos en limos y arcillas, con presencia de arena fina, en especial en la zona donde se ubica el acuífero.

La relación de anisotropía de los estratos es relativamente importante por tratarse de estratos sedimentarios. Se tomó una relación  $K_h/K_v$  promedio de 1.5. El valor L (longitud del pozo con presencia del acuífero) para los pozos fue del orden de 150 a 200 cm. Dichos valores se usaron para calcular el valor de la permeabilidad (K), aplicando la ecuación de HVORSLEV. Los valores de permeabilidad (K) hallados ya han sido mencionados líneas arriba. La literatura consultada sobre rangos típicos del valor de la permeabilidad (K) para diferentes tipos de suelo, es similar a los hallados por el método Hvorslev.

De todos estos resultados podemos inferir que la permeabilidad (K) en el Terminal, varía dependiendo del tipo de subsuelo en el que se encuentra el acuífero, variando desde valores relativamente bajos del orden de  $41.7 \times 10^{-4}$  cm/s (zona de limos con presencia de arena fina limpia) a valores pequeños como  $5 \times 10^{-7}$  cm/s en estratos arcillosos.

#### **7.4.2 Calidad de las Aguas Subterráneas**

En el **cuadro N° 17** se indican los resultados de medir parámetros fisicoquímicos en campo, para caracterizar la calidad de agua del acuífero, siendo lo más importante lo siguiente:

Los valores más altos de CO<sub>2</sub> están relacionados con HCs en biodegradación o PL antiguos: P2, P3. Los valores más altos de VOC están relacionados con PL frescos. La concentración de O<sub>2</sub> es relativamente alta para pozos recién instalados que hayan mostrado recuperación rápida y bajos en zonas estables con posible presencia de biodegradación de HCs, J-7.

La temperatura del agua subterránea es ligeramente fría, variando entre 14.0 y 15.0°C. La temperatura es un factor favorable para mejorar la viscosidad de los productos de petróleo, lo cual les da mayor movilidad. La temperatura tiene una influencia decisiva en la solubilidad del O<sub>2</sub> en el agua, limitándola a menores valores para temperaturas más altas. El aumento de temperatura permite mejorar la conductividad eléctrica del agua subterránea.

La conductividad eléctrica es de  $1 \pm 0.5$  mS/cm relativamente baja, evidenciando que son poco mineralizadas y que pueden ser usadas para consumo humano y/o para agricultura.

Los valores de pH son homogéneos,  $7.2 \pm 0.5$ , está dentro de los límites permisibles 5 a 9.

Los valores de oxígeno disuelto para temperaturas de 14.5° C, a máxima saturación, corresponden a  $10.2 \pm 1$  mg/l, esto es, 5 veces menor con relación a la concentración de saturación. Los porcentajes de O<sub>2</sub> leídos en campo con el oxímetro son del orden del 30%, porcentaje que no correspondería a los valores de mg/l leídos en el equipo; sin embargo, estos valores en mg/l se refieren a la máxima solubilidad de O<sub>2</sub> a la presión existente en Juliaca y como tal deben corregirse. La corrección para 3,880 msnm es del orden del 60%, por lo que la máxima solubilidad esperada es del orden de 6.12 mg/l. Con las lecturas de 2.2 mg/l, estas sí corresponden al 33% leído en el equipo. La pérdida de las 2/3 partes de oxígeno en el agua puede ser por varias razones, pero la más importante es el consumo microbiológico como producto de reacciones aeróbicas en la descomposición de sustancias orgánicas, en las que también pueden estar incluidos los HCs.

### **7.5 Análisis de Laboratorio**

#### **7.5.1 Muestras de Suelo**

En el **cuadro N° 18 y N° 19**, se muestran los resultados de laboratorio para las muestras seleccionadas de suelo, según control realizado en las Fases 1 y 2. Uno de los parámetros



analizados fue la concentración de TPH. Este parámetro fue desagregado en hidrocarburos livianos (cadenas menores de C10), según la técnica SW8260; HCs medios (C10 a C25), según la técnica SSW8015; e HCs pesados (cadenas mayores a C25), según la técnica SM5520D. Los HCs livianos indican la presencia de diesel y finalmente, los HCs de cadena larga indican la presencia de combustibles pesados y aceites. También se halló los VOC.

De la información obtenida en el **Cuadro N° 18** se ha seleccionado el grupo conocido como BTEX, donde el benceno juega un rol importante por ser un contaminante cancerígeno.

#### **7.5.1.1 Muestras Superficiales TPH, BTEX y EPH**

La contaminación superficial se refiere a la presencia de contaminantes de HCs que se encuentran impregnados en el suelo en capas que van de 0 a 30 cm de profundidad. En el **Plano N° 02** se muestran las áreas afectadas por la contaminación superficial. Las mediciones de campo y los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros ayudaron en la identificación del producto contaminante y la magnitud de la misma.

En el **Plano N°- 02** se identifican dos zonas de contaminación superficial. La primera está ubicada en el patio de tanques y muestra la presencia de HCs livianos, detectados especialmente en la Fase 1. La otra zona importante es la vía férrea, donde se detectó presencia de HCs livianos en proporciones relativamente altas para el Terminal (dadas las bajas concentraciones que se han encontrado). Como se muestra en los **cuadros N° 18 y N° 19**, una contaminación importante fue detectada en la calicata, J-34, donde la concentración de TPH fue de 14,000 mg/kg, donde la mitad correspondieron a HCs de cadena corta. En este punto también se hallaron concentraciones bajas de BTEX, pero con presencia de benceno (cerca de 40mg/kg). El **Plano N°- 02** ha tomado como base la información registrada en el **Cuadro N° 12**, referida a calidad de suelos (VO, TPH y vapor combustible), obtenida de la excavación de calicatas en la Fase 1. Esta información tuvo carácter de cualitativo a semi cuantitativo, seleccionándose aquellas muestras que fueron enviadas al laboratorio para realizar análisis más precisos.

Los valores de TPH medidos en campo dan máximas de 2,500 mg/Kg. Valores relativamente pequeños si lo comparamos con las lecturas realizadas en laboratorio del orden de 250,000 mg/Kg, es decir, 100 veces más. Por esta razón, los valores de TPH medidos en campo pueden interpretarse mejor como altos, los del orden de los 2500 mg/Kg; como medios, entre 500 y 1500 mg/Kg. y relativamente bajos, los menores de 500 mg/Kg. Esta misma interpretación es válida para las lecturas de VO medidas en campo.

#### **7.5.1.2 Muestras Subsuperficiales; TPH, BTEX y EPH**

Se refiere a las muestras que se toman, para detectar la contaminación de las capas que van de 30 a 200 cm o más de profundidad y, en muchos casos, hasta alcanzar el N.F. Para seleccionar las muestras y verificar el grado de contaminación, se utilizó indistintamente mediciones en campo de VO y gases combustibles, además de información organoléptica.

De las muestras con mayores valores de contaminación se completó la selección con mediciones de TPH obtenidas en campo. Las muestras seleccionadas fueron analizadas en laboratorio para hallar las concentraciones de TPH y BTEX.

En los **cuadros N° 18 y N° 19**, se indica que se detectaron áreas puntuales; las calicatas J-12 y J-36, con alto valor de TPH casi 60,000 mg/Kg, en cada zona donde se enterraron borras; la mayor parte del TPH estuvo constituida por HCs C10-C25. Una área de especial atención es la zona de la línea férrea, por los contenidos de BTEX; J-34 (772 mg/Kg), J-35

(117 mg/Kg) y J-31 (16 mg/Kg). En la muestra J-35, además, se halló un valor importante de TPH (20,770 mg/Kg) con contenidos de HCs medios y livianos.

En la muestra J-34 también se encontraron concentraciones relativamente altas de TPH (13,770 mg/Kg). Otra área con importantes valores de BTEX fue hallada a un costado del tanque 8, donde en la muestra J-6 se encontró 42 mg/kg de BTEX y 15,500 mg/Kg de TPH.

La mayor parte de la contaminación subsuperficial, importante se encontró a profundidades de 220 a 280 cm, en los niveles que coinciden con el N.F Por lo que se deduce que la contaminación de estos suelos ha sido por vía de las aguas subterráneas. Otros sectores de contaminación poco profunda se originan de los derrames superficiales que no llegaron a alcanzar mayor profundidad por el tipo de suelo impermeabilizante.

Las áreas contaminadas halladas son relativamente pequeñas. Los valores promedio de TPH no pasan los 30,000 mg/Kg y los de BTEX los 20 mg/Kg. Caso especial es el J-34, que tiene un alto valor de BTEX y una importante concentración de benceno, casi 40mg/K.

En el **Plano N° 02** sobre contaminación subsuperficial se indican los valores importantes hallados en laboratorio. Se registraron de manera aproximada las áreas contaminadas según los parámetros analizados. El área limitada con línea amarilla representa suelos con lecturas importantes de VO, las líneas naranjas delimitan las áreas con valores importantes de vapor combustible, las líneas marrones delimitan las áreas donde predominan los HCs de cadena media, las de color celeste delimitan las zonas con mayor concentración de BTEX y finalmente, las líneas rojas delimitan las contaminaciones con benceno.

El **Cuadro N° 19** se refieren a las muestras sólidas obtenidas: las superficiales y subsuperficiales. Para establecer diferencia, se indica la profundidad de su procedencia y las características físicas y organolépticas de las muestras. Fase 2

### **7.5.2 Muestras de Aguas Subterráneas**

La Contaminación de aguas subterráneas se refiere, a la presencia de P.L en flotación sobre la napa freática (se discutió en el apartado **7.2.3.2 y 7.2.3.3**) y a la detección, como elementos constituyentes de las aguas, de concentraciones importantes HCs sea en forma disuelta u ocluidas en el agua formando diminutas partículas. La evaluación comprende, además, hallar el tipo de HC predominante y si existen fuentes activas. Al final, se evalúa su migración y su capacidad de dispersión.

#### **7.5.2.1 Mediciones de Hidrocarburos; TPH, BTEX, EPH**

Resultados de los análisis a las muestras líquidas obtenidas del monitoreo en la Fase 1 y 2, se indican en los **cuadros N° 20 y N° 21**, como se ve en el monitoreo de la Fase 1, los valores de TPH fueron relativamente bajos (menos de 10 mg/L). Las muestras que arrojaron valores más significativos relativamente bajos, fueron el J-29 y el J-3. (menor a 1.2 mg/L).

En el monitoreo de la Fase 2, los valores de TPH se incrementaron sustancialmente con relación al primer monitoreo. Los resultados más importantes fueron hallados en la muestra P-1 (casi 2000 mg/L), así como el J-2 (130 mg/L), esta muestra tuvo una concentración de 171 mg/L de EPH, principalmente de alifáticos de cadena corta. Otro valor importante se halló en la muestra J-6 (110 mg/L). Los valores de BTEX, en la mayoría de los casos son bajos, siendo registrado el valor mas alto en J-6 (0.1 mg/L).

## 8.0 CONCLUSIONES

### 8.1 De la Evaluación de Suelos

- El Terminal de Juliaca está ubicado sobre un suelo cuaternario profundo con un relieve topográfico bastante plano. El suelo está constituido por arcillas y limos, lo que le confiere bastante impermeabilidad y a su vez dificulta la migración de fluidos de la superficie a la napa freática.
- Los datos obtenidos en la inspección del suelo en campo, en general fueron corroborados por los resultados de los análisis de laboratorios.
- El tipo de contaminación detectado en cada área generalmente corresponde con el contenido del tanque de almacenamiento más cercano, o con registros históricos sobre derrames ocurridos en esa zona.
- Además de los tanques, otras fuentes activas la constituyen los sistemas de tuberías y sus correspondientes accesorios para el manejo de los fluidos.
- Se detectó contaminación superficial en la zona de descarga de los vagones del tren.
- Las contaminaciones subsuperficiales, fueron detectadas en la zona de despacho y en las áreas donde se enterraron borras.
- En general las contaminaciones subsuperficiales fueron relativamente pequeñas, no sobrepasando los 500 mg/kg de TPH.
- Según información adquirida en las Fases 1 y 2, se estima un área contaminada aproximada a 2,500 m<sup>2</sup>, con espesor promedio de suelo contaminado de 0.4m (1.3 a 1.7 m), el volumen total de suelos contaminados con HCs es del orden de 1,000 m<sup>3</sup>.

### 8.2 De la Evaluación de Aguas Subterráneas

- En el Terminal de Juliaca el N.F está cerca de la superficie, entre los 1.5 y 2.6 m de profundidad. Los valores más profundos pertenecen a periodos de ausencia de lluvias persistentes en la zona, los valores más superficiales pertenecen a temporadas de lluvias (Enero a Abril).
- La zona comprendida entre la superficie del suelo y la napa freática está constituida por un material altamente impermeable; como tal no se espera que las aguas se contaminen fácilmente por esta vía, salvo que se rompa la continuidad de la capa impermeabilizante o existan fugas de instalaciones enterradas y muy cerca de la napa freática.
- En el monitoreo realizado en la Fase 1, se detectó contaminación de las aguas subterráneas en la zona de despacho, encontrándose pequeños espesores de Producto Libre (P.L), en los pozos J-2 (1.4 cm) y J-29 (3.95 cm).
- En la Fase 2, en la limpieza (purga) de los pozos, se hallaron finas capas de Producto Libre P.L en los pozos J-2 (1.5 mm) y J-29 (3.1 mm). Estas películas desaparecieron o desminuyeron en los monitoreos posteriores, por lo que afirmamos

que estos residuos de Hidrocarburos (HCs) son remanentes antiguos que van poco a poco desapareciendo, no existiendo una fuente activa.

- El TPH medido en el pozo J-29 fue de solo 9.3 mg/l, correspondiendo la mayor parte a HCs medios (C10-C25) con niveles de BTEX casi por debajo del límite de detección.
- Es importante señalar que la baja gradiente hidráulica (0.35%) y la baja permeabilidad ( $5 \times 10^{-7} < K < 41.7 \times 10^{-4}$  cm/seg) hacen que el acuífero se desplace lentamente a razón de 0,000548 a 4.53 m/año.
- La baja permeabilidad ( $5 \times 10^{-7} < K < 41.7 \times 10^{-4}$ ), hallada en el subsuelo es una gran dificultad para que los derrames de Hidrocarburos (HCs) puedan contaminar las aguas subterráneas y su difícil traslado por su baja velocidad real en el acuífero, aseguran una baja probabilidad de que esta contaminación tenga algún impacto negativo en los receptores alrededor del Terminal.

### 8.3 Determinación de Responsabilidades por la Contaminación

De acuerdo con el Contrato de Operaciones de los Terminales del sur:

- PETROPERU S.A. es responsable por el pago de la remediación de asuntos cuyo origen sea anterior al 24 de Febrero de 1998.
- Cuando se trate de asuntos originados antes del 24 de Febrero de 1998 que hayan continuado siendo alimentados por agentes contaminantes después de esta fecha, la responsabilidad por el pago de la remediación será compartida entre Consorcio Terminales y PETROPERU S.A.

Con el fin de aplicar los criterios arriba indicados, en el **Plano N° 02**, se han delimitado las principales áreas impactadas de suelos (superficiales y subsuperficiales) y aguas subterráneas, asociadas a fuentes activas o antiguos derrames de productos. Existen registros de algunos derrames que de alguna manera están asociadas a las áreas que actualmente están contaminadas. Para las demás áreas se asumió que las principales causas de impacto consisten en derrames menores asociados a la operación, que en su momento fueron oportunamente controladas. Se asumió que estos derrames menores de operación ocurrieron con una frecuencia similar antes y después del 24 de Febrero de 1998.

Las áreas posiblemente más afectadas son las zonas de los tanques 30, 2, 4, 3 y 6 donde hubo un derrame de 615 galones de kerosene en marzo del 98, otro de 25,800 galones de gasolina 1989 (por rebose del tanque 3), además de otros menores. Un área con menor contaminación es la zona donde se ubican las líneas férreas, donde frecuentemente se producen pequeños derrames de producto por deficiencias en las operaciones de descarga de los combustibles desde el vagón hacia los tanques.

Se identificaron tres sectores con contaminación, denominados como áreas **A, B y C (Plano N° 02)**. El impacto hallado en el área **A**, corresponde a un sector de la línea férrea, incluye contaminación de suelos superficiales, posiblemente originados por derrames locales de los vagones del tren. Frente a las líneas de alimentación a los tanques se ha detectado una contaminación superficial relativamente reciente, a decir por los contenidos importantes de sustancias volátiles y BTEX.

El impacto en el área **B** está constituido por contaminación subsuperficial con HCs ligeros, con presencia de volátiles y BTEX, ubicadas en un sector del área de las vías férreas y en los alrededores de los tanques 3 y 8.

El impacto en el área **C**, se refiere a contaminación de aguas subterráneas, la cual se representa mejor en la zona de despacho donde incluso en Jul-98 se detectó P.L.

Las características del sector **C**, pueden definirse como áreas contaminadas relativamente estables, pues no denotan un incremento en la contaminación respecto al tiempo y sus orígenes bien podrían estar definidas por los derrames ocurridos antes en estas áreas.

Sin embargo, en el sector **A y B**, la contaminación es mucho más evidente, especialmente por la presencia de contaminación superficial visible.

De la información mencionada, se puede inferir que algunos de los sectores pueden haber sido contaminados antes de la fecha de transferencia del Terminal, mientras que otros han sido contaminados durante ambas administraciones; por lo que se presenta los siguientes criterios que pueden tomarse en cuenta para la división de responsabilidades:

- El área A, muestra contaminación superficial originada de derrames de HCs livianos provenientes de los vagones del tren, es atribuible a eventos ocurridos en los últimos 5 años; como tal la responsabilidad puede ser compartida por las dos empresas.
- El área B, corresponde a subsuelos contaminados con HCs livianos ligados a posibles derrames (de los tanques 3 y 8) ocurridos antes de Feb-98 y a derrames menores de los vagones del tren, atribuibles a periodos posibles después de Feb-98 (debido a la profundidad de la contaminación). Por lo tanto, se puede inferir que la mayor responsabilidad correspondería a PETROPERU.
- En el caso de las áreas contaminadas identificadas como C y que corresponden a aguas subterráneas contaminadas, la gran dificultad de migración del contaminante hacia las aguas subterráneas indica que los contaminantes han necesitado mucho tiempo para alcanzar la napa, salvo en aquellos sectores donde se quiebre la homogeneidad impermeabilizante del suelo y por lo tanto, podría tratarse de una contaminación no muy antigua. La responsabilidad de este sector sería atribuible en su mayoría a PETROPERU.
- Para las demás áreas impactadas, incluyendo aquellas asociadas a derrames menores de operaciones, se propone asignar la responsabilidad de su remediación en proporción al tiempo de operación del Terminal por PETROPERU y Consorcio Terminales.

## 9.0 RECOMENDACIONES

- **Realizar una evaluación de acciones correctivas basadas en riesgos de Nivel 2**, de acuerdo a las recomendaciones establecidas en las guías ambientales de la DGAA del Ministerio de Energía y Minas, a fin de establecer los objetivos específicos de remediación para el Terminal Juliaca y delimitar con mayor precisión las áreas que requieren acciones correctivas.
- Referente a las fuentes activas de contaminación, se recomienda mantener en observación el comportamiento del Producto Libre (PL) encontrado en el agua subterránea, en especial en las cercanías de los pozos J-2 y J-29. A modo de verificación, el P.L de los pozos de monitoreo puede purgarse de manera regular y con el tiempo verificar si la fuente continua activa.
- El monitoreo de calidad de aguas subterráneas debe formar parte del programa de monitoreo ambiental permanente del Terminal, para lo cual se podrán seguir utilizando los pozos de monitoreo instalados actualmente.
- Las borras, representan un pasivo ambiental, que hay que remediar constantemente, para lo cual se recomienda decidir en cuanto a su tratamiento y/o disposición final, según se determine después de establecerse la **evaluación de acciones correctivas basadas en riesgos de Nivel 2**.
- Es necesario que dentro de las actividades que realiza el Terminal se incluyan las de gestión ambiental que involucre programa de mitigación ambiental y una continua mejora de los métodos de control ambiental.
- Con respecto a los tanques de almacenamiento de petróleo refinado, se recomienda estudiar la posibilidad de cambiar el techo tipo fijo, por techo de tipo flotante, en aquellos cuya presión de vapor es mayor de  $0.281 \text{ Kg/cm}^2$  o 4 psia (gasolina, petróleo crudo), por representar un peligro contra la seguridad.