

---

# INFORME FINAL DISEÑO MONITOREO FRENTE DERRAMES DE HIDROCARBUROS

---



**Elaborado por el Consultor  
Sr. Gustavo Castro Varela - Ing. Ambiental**

**Quillota, Junio del 2007.**



## **INDICE DE CONTENIDOS**

<b><u>1</u></b>	<b><u>MARCO TEÓRICO DEL ESTUDIO</u></b>	<b><u>7</u></b>
1.1	¿QUÉ ES UN HIDROCARBURO?	7
1.2	HIDROCARBURO SEGÚN SU ORIGEN	7
1.3	TIPOS DE HIDROCARBUROS	8
1.3.1	HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS	8
1.3.2	HIDROCARBUROS AROMÁTICOS	8
1.4	EL PETRÓLEO	10
1.5	HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETRÓLEO	11
1.6	FRACCIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETRÓLEO	12
1.7	CONTAMINANTES INDUSTRIALES	14
1.8	CARACTERÍSTICA DE LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS	14
1.8.1	CAPACIDAD DE BIODEGRADACIÓN	14
1.8.2	POLARIDAD	15
1.8.3	SOLUBILIDAD	15
1.8.4	VOLATILIDAD	15
1.8.5	TOXICIDAD	15
1.9	CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS	16
1.9.1	DERRAME DE HIDROCARBUROS	17
1.9.2	FUGAS DE HIDROCARBUROS	18
1.10	ACCIDENTES POR TRANSPORTE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS	19
1.11	FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS	20
1.12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
<b><u>2</u></b>	<b><u>CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS</u></b>	<b><u>24</u></b>
2.1	MATRICES AMBIENTALES	24
2.2	MECANISMOS DE TRANSPORTE	24
2.3	TRANSFORMACIÓN DE CONTAMINANTES	26
2.3.1	DEGRADACIÓN BIOLÓGICA	26
2.3.2	DEGRADACIÓN NATURAL	27
2.3.3	DEGRADACIÓN QUÍMICA	27
2.4	FACTORES QUÍMICOS QUE AFECTAN EL DESTINO Y TRANSPORTE DE LOS CONTAMINANTES	28
2.4.1	SOLUBILIDAD EN AGUA	28
2.4.2	CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY (H)	29
2.4.3	COEFICIENTE DE PARTICIÓN DE CARBONO ORGÁNICO (KOC)	29
2.4.4	COEFICIENTE DE PARTICIÓN OCTANOL/AGUA (KOW)	30
2.4.5	FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN (FBC)	30
2.4.6	VELOCIDAD DE TRANSFORMACIÓN Y DEGRADACIÓN	31



<b>2.5 FACTORES DEL SITIO DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL DESTINO Y TRANSPORTE DE LOS CONTAMINANTES.....</b>	<b>31</b>
2.5.1 ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ANUAL.....	31
2.5.2 CONDICIONES DE TEMPERATURA.....	31
2.5.3 VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS.....	31
2.5.4 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.....	32
2.5.5 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS.....	32
2.5.6 CANALES DE AGUAS SUPERFICIALES.....	32
2.5.7 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	32
2.5.8 FLORA Y FAUNA.....	32
2.5.9 OBRAS PÚBLICAS.....	32
<b>2.6 CONTAMINACIÓN EN SUELOS Y ACUÍFEROS.....</b>	<b>32</b>
2.6.1 INFILTRACIÓN DE UN DERRAME EN EL SUELO.....	34
2.6.2 ETAPAS DE UN DERRAME.....	35
2.6.3 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE UN DERRAME.....	36
2.6.4 DENSIDAD DE UNA SUSTANCIA DERRAMADA.....	38
2.6.5 MODELO CONCEPTUAL DE UN DERRAME DE HIDROCARBUROS.....	38
2.6.6 ATENUACIÓN NATURAL DE UNA PLUMA DE HIDROCARBUROS.....	40
<b>2.7 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....</b>	<b>41</b>
<b>2.8 CONTAMINACIÓN EN SEDIMENTOS.....</b>	<b>44</b>
<b>2.9 CONTAMINACIÓN DE LA FAUNA.....</b>	<b>44</b>
<b>2.10 CONTAMINACIÓN DE LA FLORA Y VEGETACIÓN.....</b>	<b>45</b>
<b>2.11 RIESGO DE SITIOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS.....</b>	<b>45</b>
<b>2.12 RUTAS DE EXPOSICIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>2.13 EVALUACIÓN DE RIESGO.....</b>	<b>49</b>
2.13.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA O DESCRIPTIVA.....	50
2.13.2 EVALUACIÓN CUANTITATIVA O ANALÍTICA.....	52
<b>2.14 RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA.....</b>	<b>52</b>
<b>2.15 RIESGOS PARA LOS ECOSISTEMAS.....</b>	<b>54</b>
2.15.1 AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DEL AIRE.....	54
2.15.2 AFECTACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES.....	54
2.15.3 PÉRDIDA DE LA FLORA Y FAUNA.....	54
<b>2.16 CALIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....</b>	<b>55</b>
<b>2.17 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>
<b>3 PROGRAMA DE MUESTREO EN MATRICES AMBIENTALES.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1 OBJETIVO DEL MUESTREO.....</b>	<b>60</b>
<b>3.2 ROL DEL EVALUADOR.....</b>	<b>61</b>
<b>3.3 ELEMENTOS DE UN DISEÑO DE MUESTREO.....</b>	<b>63</b>
3.3.1 LOCALIZACIÓN PUNTOS DE MUESTREO.....	63
3.3.2 NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO.....	64
3.3.3 NÚMERO DE MUESTRAS POR PUNTO DE MUESTREO.....	64

<b>3.4</b>	<b>CONTENIDOS DE UN PROGRAMA DE MUESTREO.....</b>	<b>65</b>
<b>3.5</b>	<b>PLANIFICACIÓN ACTIVIDADES PROGRAMA DE MUESTRO .....</b>	<b>66</b>
3.5.1	TERRENO DE RECONOCIMIENTO .....	67
3.5.2	TERRENO DE MUESTREO .....	67
<b>3.6</b>	<b>MUESTREO EN SUELOS .....</b>	<b>68</b>
3.6.1	SISTEMAS INTRUSIVOS .....	68
3.6.2	CONSIDERACIONES EN EL MUESTREO DE SUELOS. ....	70
3.6.3	MUESTRAS COMPUESTAS .....	71
3.6.4	PROFUNDIDAD DE MUESTREO .....	72
<b>3.7</b>	<b>MUESTREO EN SEDIMENTOS.....</b>	<b>73</b>
3.7.1	POSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS .....	73
3.7.2	CONSIDERACIONES EN EL MUESTREO DE SEDIMENTOS .....	74
<b>3.8</b>	<b>MUESTREO EN AGUAS SUPERFICIALES .....</b>	<b>74</b>
3.8.1	CONSIDERACIONES EN EL MUESTRO DE AGUAS SUPERFICIALES .....	75
<b>3.9</b>	<b>MUESTREO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>76</b>
<b>3.10</b>	<b>RECIPIENTES DE MUESTREO .....</b>	<b>77</b>
<b>3.11</b>	<b>ETIQUETADO .....</b>	<b>78</b>
<b>3.12</b>	<b>FRECUENCIA DE MUESTREO.....</b>	<b>78</b>
<b>3.13</b>	<b>REGISTRO DE CAMPO .....</b>	<b>79</b>
<b>3.14</b>	<b>PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS .....</b>	<b>80</b>
3.14.1	MÉTODOS FÍSICOS. ....	80
3.14.2	MÉTODOS QUÍMICOS. ....	80
<b>3.15</b>	<b>MANEJO Y TRANSPORTE DE MUESTRAS .....</b>	<b>81</b>
<b>3.16</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA.....</b>	<b>81</b>
<b>3.17</b>	<b>REPRESENTATIVIDAD DE LAS MUESTRAS Y CONTAMINACIÓN CRUZADA. ....</b>	<b>82</b>
<b>3.18</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE SUELOS .....</b>	<b>83</b>
3.18.1	TEXTURA.....	83
3.18.2	ESTRUCTURA.....	86
3.18.3	TAMAÑO.....	87
<b>3.19</b>	<b>PARÁMETROS DE CAMPO.....</b>	<b>88</b>
3.19.1	pH.....	88
3.19.2	CONDUCTIVIDAD .....	89
3.19.3	OXÍGENO DISUELTO .....	89
<b>3.20</b>	<b>MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN EQUIPOS PORTÁTILES .....</b>	<b>89</b>
3.20.1	pHMETRO .....	90
3.20.2	CONDUCTIVÍMETRO.....	91
3.20.3	OXÍMETRO.....	92
<b>3.21</b>	<b>CONTROL DE CALIDAD PROGRAMA DE MUESTREO.....</b>	<b>92</b>
3.21.1	ERRORES DEL PROGRAMA DE MUESTREO EN CAMPO .....	93
3.21.2	CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE TOMA DE MUESTRAS.....	94
3.21.3	CONTROL DE CALIDAD DEL TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS.....	95
3.21.4	CONTROL DE CALIDAD DE LA DOCUMENTACIÓN.....	95
<b>3.22</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>97</b>



<b>4</b>	<b><u>NORMATIVAS DE REFERENCIA</u></b>	<b>100</b>
<b>4.1</b>	<b>NORMATIVA NACIONAL</b>	<b>100</b>
4.1.1	NORMAS DE EMISIÓN	100
4.1.2	NORMA CALIDAD DEL AGUA PARA DIFERENTES USOS	102
4.1.3	NORMA DE CALIDAD SECUNDARIA	102
<b>4.2</b>	<b>NORMATIVA INTERNACIONAL</b>	<b>107</b>
4.2.1	ESPAÑA	107
4.2.2	HOLANDA	108
4.2.3	PANAMÁ	108
4.2.4	MÉXICO	109
<b>4.3</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>110</b>
	<b>ANEXO I: Glosario</b>	<b>112</b>
	<b>ANEXO II: Estudio Caso Piloto “Vertedero de Quilpué”</b>	<b>116</b>



## **Resumen Ejecutivo**

La contaminación por hidrocarburos está ampliamente distribuida en el mundo y nuestro país no es la excepción. La industria petrolera y petroquímica son el eje principal en la cadena de producción de hidrocarburos y derivados destinados a satisfacer nuestros requerimientos energéticos de combustibles y productos lubricantes para la industria y el transporte.

El presente estudio está compuesto por cuatro capítulos que cubren el tema de la contaminación por hidrocarburos en forma gradual.

El capítulo uno ofrece un primer acercamiento a los hidrocarburos, los tipos de hidrocarburos y sus características principales. De esta manera se podrá comprender la forma como son transportados y retenidos en las matrices ambientales.

El capítulo dos trata sobre la contaminación por hidrocarburos, los mecanismos de transporte y las transformaciones que sufren en el medio ambiente, así como los efectos causados por la contaminación en el suelo, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas, flora y fauna.

El capítulo tres aborda el desarrollo de un programa de muestreo en las diferentes matrices ambientales, desde su etapa de diseño hasta la entrega de las muestras en el laboratorio para su análisis, que permitan asegurar la representatividad de las muestras, evitar la contaminación y establecer los controles de calidad pertinentes para el programa de muestreo.

El capítulo cuatro resume las principales normativas asociadas a los hidrocarburos, tanto a nivel nacional como internacional para evaluar los niveles máximos permitidos, protocolos de muestreo, manejo, preservación y análisis de muestras.

La aplicación del diseño y monitoreo de hidrocarburos fue aplicado a un caso piloto de seguimiento por contaminación de hidrocarburos correspondiente al vertedero de Quilpué, actualmente en proceso de cierre, en el lugar fueron tomadas muestras en aguas crudas superficiales y subterráneas, aguas residuales superficiales y sedimentos.



***CAPITULO 1***  
***MARCO TEÓRICO DEL ESTUDIO***

---



## **1 Marco Teórico del Estudio**

### **1.1 ¿Qué es un Hidrocarburo?**

Un primer acercamiento al tema de los hidrocarburos es precisar qué se entiende por hidrocarburos, así como los tipos de hidrocarburos que existen y sus características principales, para que de esta manera se pueda comprender la forma en las cuales son transportados y retenidos en los suelos, las aguas superficiales y subterráneas.

Los Hidrocarburos son compuestos químicos constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno (SERMANAT, 2003). Los hidrocarburos pueden contener otros elementos en menor proporción como son oxígeno, nitrógeno, azufre, halógenos (cloro, bromo, iodo y flúor), fósforo, entre otros. Su estado físico, en condiciones ambientales, puede ser en forma de gas, líquido o sólido de acuerdo al número de átomos de carbono y otros elementos que posean. Se funden a temperaturas relativamente más bajas que los compuestos minerales o inorgánicos (PEMEX, 1999). Los hidrocarburos pueden clasificarse de acuerdo con la división de los compuestos orgánicos, en la siguiente forma: alifáticos y aromáticos (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004).

### **1.2 Hidrocarburo según su origen**

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que, según su naturaleza de origen, son clasificados en hidrocarburos biogénicos e hidrocarburos antropogénicos. Los hidrocarburos biogénicos son sintetizados por casi todas las plantas, animales terrestres y marinos, incluyendo la microbiota, bacterias, plancton marino, diatomeas, algas y plantas superiores (BEDAIR & Al-Saad, 1992). La síntesis de este tipo de hidrocarburos está controlada por rutas metabólicas, lo cual trae como resultado mezclas de compuestos de limitada complejidad estructural relacionada directamente con la función biológica específica.

Las características de los hidrocarburos biogénicos son:

- Los formados recientemente exhiben un alto nivel de n-alcanos de número impar.
- Los aportes por detritus de plantas terrígenas se caracterizan por n-alcanos de número impar en la región de C23-C33.
- Los aportes de origen marino se ven marcados por la presencia de los alcanos C15, C17 y C19.
- Los compuestos de tipo aromático no se presentan frecuentemente o al menos en proporciones significativas (BEDAIR & Al-Saad, 1992).

La formación de compuestos alifáticos y aromáticos de bajo peso molecular es dado conforme al tiempo de la descomposición de la materia orgánica, estos compuestos pueden ser condensados para dar lugar a sustancias de mayor peso molecular como lo explica SCHNITZER & Khan (1978).

Por otra parte, los hidrocarburos antropogénicos son aquellos que son introducidos como resultado de cualquier tipo de actividad humana. El principal aporte esta dado por los procesos de combustión industrial de carbón, combustibles fósiles y petróleo refinado, las descargas de aguas municipales, las actividades de transporte y los derrames son algunas de las principales fuentes de estos contaminantes (BIDLEMAN et al., 1990).

### **1.3 Tipos de Hidrocarburos**

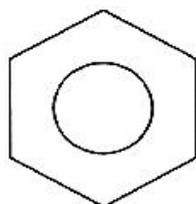
Aún cuando existen una gran cantidad de hidrocarburos de estructura conocida, hay dos grandes grupos cuyas propiedades, reacciones y métodos de preparación son comunes, por lo que su estudio toma el aspecto de una sistematización rigurosamente ordenada. Estos dos grandes grupos son los hidrocarburos alifáticos y los aromáticos.

#### **1.3.1 Hidrocarburos Alifáticos**

Los hidrocarburos alifáticos son de cadena abierta y se subdividen a su vez en saturados o alcanos, etilénicos o alquenos, y acetilénicos o alquinos. En los alcanos, las valencias de carbón están saturadas con hidrógeno y en ocasiones con otros elementos. En los etilénicos o alquenos, las dos valencias (o electrones) de átomos vecinales de carbono dan lugar a la formación de un doble enlace o doble ligadura, y como tienen dos átomos menos de hidrógeno de los necesarios para saturar las valencias de los átomos de carbón, son hidrocarburos no saturados. El miembro más sencillo es el etileno, cuya fórmula es  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ . Los acetilénicos o alquinos se caracterizan por tener cuatro átomos de hidrógeno menos que los alcanos, y dos menos que los alquenos, satisfaciendo sus requerimientos de valencias mediante una fórmula con triple enlace, la cual en el caso del primer miembro de la serie, el acetileno es  $\text{CH} \equiv \text{CH}$ .

#### **1.3.2 Hidrocarburos Aromáticos**

Los hidrocarburos aromáticos son aquellos que poseen una estructura cerrada en forma de anillo hexagonal en la cual un carbón satisface sus valencias mediante un doble enlace por un lado y un enlace sencillo por el otro. El primer elemento de este grupo es el benceno, su estructura es mostrada en la Figura N°1.



**Benceno**  
**C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>**

**Figura N°1. Estructura del Benceno**

Los hidrocarburos aromáticos contienen en su molécula uno o varios núcleos de seis carbonos dispuestos hexagonalmente en forma de cadena cerrada. Éstos poseen en su estructura tres dobles ligaduras (anillos bencénicos). De este importante grupo, un amplio número de compuestos derivan, principalmente, del petróleo y del alquitrán de hulla. Son, generalmente, muy reactivos y químicamente versátiles. Son la materia prima básica para la elaboración de una extensa variedad de productos químicos. Su nombre procede del fuerte y agradable olor de algunos de estos compuestos, destacando por su importancia el benceno, tolueno y los xilenos a los que se denominan el grupo BTX, así como el antraceno y el naftaleno. Se consideran tóxicos, esencialmente por su nula solubilidad en el agua, lo que prolonga su presencia en el ambiente y su difícil biodegradación (HAWLEY, 1984).

El benceno, cuya fórmula condensada es C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, es el más simple de los hidrocarburos aromáticos. Su molécula consta de seis átomos de carbono con enlace alternativamente simple y doble que forman una estructura cíclica hexagonal (de anillo). El benceno es un líquido de color amarillo claro a incoloro, no polar, altamente refractivo, olor aromático y ligeramente soluble en agua, cuyos vapores arden con una llama humeante. Es muy tóxico, inflamable y peligroso, con riesgo de incendio y cuyos límites explosivos en el aire son de 1.5 a 8 por ciento en volumen. En la industria es usado como solvente en la fabricación de pinturas, barnices, caucho, tintas, impermeabilizantes, insecticidas, detergentes sintéticos, medicinas y productos químicos. Por su alto número de octano se ha utilizado como componente de las gasolinas comerciales, uso que se ha reducido en sus reformulaciones debido a sus propiedades tóxicas y su actividad como precursor en la formación de ozono.

El Tolueno, denominado también como metilbenceno o fenilmetano, es un líquido incoloro y tóxico, de olor semejante al del benceno. Es insoluble en agua y soluble en alcohol, benceno y éter. Al igual que el benceno es altamente inflamable, con límites de explosión en el aire de 1.27 a 7.0 por ciento. Sus usos industriales son la fabricación de explosivos, colorantes, preservativos para alimentos, desinfectantes y también como disolvente de múltiples compuestos y diversas aplicaciones en los procesos químicos.



El xileno es un compuesto aromático derivado del benceno en el cual dos de los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por grupos metilo. Su fórmula condensada es C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>. Se caracterizan por ser líquidos claros, insolubles en agua y solubles en alcohol y éter. Se usan como disolventes, en síntesis orgánicas como vitaminas y colorantes, en insecticidas y en algunos combustibles.

Los hidrocarburos aromáticos están compuestos por uno o varios anillos bencénicos en su estructura. Así encontramos hidrocarburos monoaromáticos (un anillo bencénico), diaromáticos (2 anillos bencénicos) y poliaromáticos (HAPs, con más de dos anillos bencénicos).

En los hidrocarburos monoaromáticos, se encuentran el benceno y sus alquilados (monoalquilados como el tolueno y dialquilados como los xilenos), formando la familia de los BTX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) de gran importancia ambiental debido a su volatilidad y toxicidad. Entre los hidrocarburos poliaromáticos de dos anillos o diaromáticos, encontramos el naftaleno y sus alquilados (mono, di, tri y tetrametilnaftalenos). Son constituyentes mayoritarios de la familia de hidrocarburos aromáticos presentes en el petróleo crudo.

Entre los hidrocarburos poliaromáticos de tres anillos, encontramos el fenantreno, antraceno, fluoreno, y sus derivados alquilados. Tanto el fenantreno como los metilfenantrenos representan los componentes mayoritarios de los triaromáticos. Entre los hidrocarburos poliaromáticos de más de tres anillos, encontramos el fluoranteno (3 anillos bencénicos y uno no bencénico), pireno y criseno (4 anillos aromáticos), pireno y benzo(a)pireno (5 anillos aromáticos) y coroneno (un HAP pericondensado con 6 anillos) (SAMANTA, 2002).

#### **1.4 El Petróleo**

En general existe una tendencia a una asimilación de los términos hidrocarburos y petróleo, aún cuando guardan una estrecha relación en su naturaleza difieren en su significado. El petróleo es una mezcla compleja de muchos hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos, con un número de carbonos en sus moléculas que varían aproximadamente entre 1 y 50 (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004). El término petróleo proviene del latín *petra*, piedra y *oleum*, aceite. Es un líquido viscoso, de color pardo oscuro, de olor desagradable, tóxico, irritante e inflamable. Se encuentra en yacimientos a diferentes profundidades en el interior de la tierra. Su origen es la descomposición de animales de origen marino principalmente, pero también de plantas que habitaron en los periodos Triásico, Jurásico y Cretácico de la era Mesozoica, hace 225 o 136 millones de años. De acuerdo con la estructura predominante en la mezcla de hidrocarburos, el petróleo se puede clasificar en base parafínica, nafténica o aromática (PEMEX, 1999).



En el petróleo del tipo parafínicos las moléculas de carbono forman cadenas rectas, que pueden tener o no ramificaciones, y tienen poca afinidad química; los nafténicos o cicloparafínicos forman una molécula circular en la cual todos los enlaces de carbono están saturados con hidrógeno. Mientras que en los aromáticos las moléculas contienen, básicamente, un anillo con seis átomos de carbono en el cual cada átomo intercambia dos enlaces químicos con otro carbono (anillos bencénicos); su forma más simple recibe el nombre de benceno, el que a su vez puede formar ramificaciones con hidrocarburos parafínicos o uniones de dos a más anillos que pueden también tener radicales insertados. Según sea el origen del petróleo crudo, es diferente su composición y sus propiedades; algunas de sus propiedades más importantes son su densidad, que generalmente se expresa en gravedad específica a grados API, y su contenido de azufre. Al crudo de mayor densidad se le denomina crudo pesado, que contiene moléculas de alto peso molecular como naftenos y compuestos aromáticos. Al crudo con alto contenido relativo de azufre se le conoce como crudo amargo y al de menor contenido, crudo dulce.

### **1.5 Hidrocarburos Totales del Petróleo**

Como se mencionó anteriormente, los hidrocarburos son una familia de compuestos orgánicos con una gran gama de representantes, el parámetro de medición analítico utilizado hidrocarburos totales de petróleo, TPH<sup>1</sup> abreviado en inglés, es representativo del conjunto de hidrocarburos y no específico a una sustancia en particular. El término TPH es usado para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo crudo. El petróleo crudo es usado para manufacturar productos de petróleo, los que pueden contaminar el ambiente. Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de TPH en un sitio (ASTDR, 1998).

Los TPH son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales. Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH incluyen a hexano, combustibles de aviones de reacción, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina, y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina. Sin embargo, es probable que muestras de TPH contengan solamente algunas, o una mezcla de estas sustancias químicas.

---

<sup>1</sup> Total Petroleum Hydrocarbons.



Los TPH pueden entrar al ambiente a raíz de accidentes, fugas y derrames industriales, o como subproductos de uso comercial o privado. Una vez en el ambiente una fracción de los TPH flotará en el agua y formará una capa superficial. En tanto, la otra fracción de los TPH se depositará en los sedimentos del fondo.

La presencia de TPH en el ambiente puede ser de origen natural o antrópica, la problemática de contaminación por TPH surge cuando las cantidades de hidrocarburos en los suelos, aguas superficiales y/o subterráneas es mayor a la capacidad de degradación de los microorganismos presentes en el medio, responsables de oxidar y mineralizar los TPH a sustancias inocuas. Las fracciones de TPH que no sean degradadas se adherirán a las partículas en el suelo o sedimentos donde pueden permanecer por largo tiempo dando origen a un suelo contaminado por hidrocarburos, en el cual se encuentran presentes hidrocarburos que por sus cantidades y características afecten la naturaleza del suelo (SEMARNAT, 2003)

#### **1.6 Fracciones de Hidrocarburos Totales del Petróleo**

Los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) están conformados por dos grandes fracciones, los Hidrocarburos Alifáticos (HAL) y los Hidrocarburos Aromáticos (HAR). De acuerdo a McBride (1994), los hidrocarburos alifáticos son compuestos no polares y son, por lo tanto, pobres competidores con el agua. Los hidrocarburos aromáticos son compuestos no polares o muy débilmente polares como los alifáticos. Se ha determinado que compuestos no polares o débilmente polares tienen afinidad por las fases orgánicas hidrofóbicas en ácido húmico, siendo las fuerzas de Van der Waals o la atracción hidrofóbica como unión de enlace. Esto se traduce en una baja afinidad de los compuestos orgánicos al agua, como es el caso de los hidrocarburos del petróleo. El comportamiento resultante es una baja solubilidad de las moléculas no polares y aquellas débilmente polares que tienen una mayor afinidad de reaccionar con la materia orgánica a través de las interacciones de Van der Waals.

Existen dos clases de hidrocarburos aromáticos (HAR): los de bajo peso molecular que tienen de 2 a 3 anillos aromáticos como el naftaleno, fluoreno, fenantreno y antraceno y derivados; y los de alto peso molecular que tienen de 4 a 7 anillos aromáticos como el criseno. Sus características físicas y químicas varían de acuerdo a su peso molecular y, en consecuencia, en su distribución y conducta del ambiente, lo mismo sucede con sus efectos sobre los sistemas biológicos. Estos compuestos se encuentran distribuidos en el suelo, mar, sistemas fluviales y sedimentos. Su presencia se ha atribuido principalmente a los derrames de petróleo y descargas de plantas petroquímicas, aún cuando también se puede deber al transporte atmosférico por aportes de la combustión (Padilla, 1989).



Dentro de los hidrocarburos aromáticos se encuentran los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), considerados como compuestos de mayor peligrosidad. Muchos de los HAPs son compuestos estables y altamente tóxicos, algunos son potentes cancerígenos y otros mutagénicos (LESSER, 1995).

Los HAPs son un grupo de sustancias químicas que están presentes en el medioambiente como contaminantes ubicuistas, a menudo en cantidades muy pequeñas del orden de mg/Kg ó ng/m<sup>3</sup>. Tienen altos puntos de fusión y son virtualmente insolubles en agua, siendo su presión de vapor baja. Generalmente son solubles en grasas, aceites y disolventes orgánicos. La mayor fuente de emisión de estos contaminantes químicos son las incineradoras, las calefacciones domésticas y los vehículos de gasolina o gasoil. Las emisiones de estos productos procedentes de las calefacciones alimentadas con carbón o con madera, son varios órdenes de magnitud mayores que aquellas alimentadas con gas. (ÁLVAREZ-CAMPANA, 2001).

Los HAPs pasan al aire principalmente por emisiones volcánicas, incendios forestales, combustión de carbón y del escape de automóviles. Se pueden encontrar en el aire, adheridos a partículas de polvo, además de ciertas partículas de HAPs que pueden evaporarse al aire fácilmente del suelo o de aguas superficiales. Los HAPs pueden degradarse en un período de días a semanas al reaccionar con luz solar o con otras sustancias químicas en el aire. Los HAPs pasan al agua a través de desechos de plantas industriales y de plantas de tratamiento de aguas residuales. La mayoría de los HAPs no se disuelven fácilmente en agua. Los microorganismos pueden degradar HAPs en el suelo o en el agua después de un periodo que puede ir de semanas a meses. En el suelo, es probable que los HAPs se adhieran firmemente a partículas; y otros, se movilizan a través del suelo, pudiendo contaminar el agua subterránea. La cantidad de HAPs en plantas y en animales puede ser mucho mayor que la cantidad en el suelo o en el agua donde viven estos organismos (ASTDR, 1998).

Es de interés en el presente estudio abordar los hidrocarburos y sus efectos sobre las matrices ambientales desde una visión global. Considerando los hidrocarburos totales de petróleo para ahondar en su proceso de transporte en suelos y aguas, detallar los efectos sobre la salud humana y los ecosistemas, así como conocer el proceso de atenuación natural en el ambiente.

### **1.7 Contaminantes Industriales**

Los contaminantes de origen industrial, ya sea en materias primas, productos, subproductos o residuos, suelen estudiarse separando, fundamentalmente por razones de estado, movilidad y estabilidad, en el grupo de los compuestos inorgánicos y orgánicos, exponiéndose a continuación las formas más frecuentes de ambos. Los contaminantes químicos inorgánicos de mayor importancia en el ámbito de los estudios de suelos contaminados son : Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb). La multiplicidad de los contaminantes orgánicos hace imposible un repaso profundo de los mismos, por lo que se exponen algunos de los compuestos de mayor importancia en el ámbito de los suelos contaminados, agrupados bajo las denominaciones genéricas más empleadas, sin carácter exhaustivo: (1) Fenoles; (2) Plaguicidas; (3) BTX's (Benceno, Tolueno y Xileno); (4) PCB's (Bifenilos Policlorados); (5) HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) y (6) TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) (ÁLVAREZ-CAMPANA, 2001).

Los contaminantes pueden estar presentes de diversas formas: en fase libre desplazando al agua de los poros; sorbidos al subsuelo o a la matriz del acuífero; disueltos en agua; o en fase vapor. La distribución de los contaminantes en cada una de estas fases dependerá de las propiedades físicas y químicas. El movimiento de las plumas dependerá de las propiedades de los contaminantes y de la hidrogeología del lugar (AZADPOUR-KEELY,1999).

### **1.8 Característica de los Contaminantes Orgánicos**

Los hidrocarburos totales de petróleo están clasificados como contaminantes orgánicos, los que pueden ser de origen natural o antropogénico. Los compuestos orgánicos de origen natural resultan de la descomposición de tejidos de plantas y animales, y se denominan materias húmicas, ya que constituyen los componentes habituales de los suelos y aguas subterráneas. Las materias húmicas tienen una estructura compleja y son resistentes a transformaciones biológicas adicionales. Los suelos generalmente contienen menos del 3% de materias húmicas en peso y las aguas subterráneas normalmente contienen 5mg/l de materias húmicas totales. Los compuestos orgánicos de origen antropogénico varían ampliamente según sus características. De especial importancia son su capacidad para ser biodegradados, polaridad, solubilidad, volatibilidad y toxicidad (EWEIS, 1999).

#### **1.8.1 Capacidad de Biodegradación**

Normalmente los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables y que no son tóxicos (para los microorganismos), son oxidados muy rápidamente por los microorganismos de suelo.



### **1.8.2 Polaridad**

Los compuestos apolares suelen ser hidrófugos y tienden a concentrarse en la materia orgánica que se encuentra en el terreno. Como consecuencia, los compuestos apolares tienen menos movilidad en el terreno y en aguas subterráneas, y la difusión de compuestos apolares en acuíferos es normalmente más lenta que la de los compuestos polares. En la práctica, el tiempo necesario para que unos compuestos apolares se desplacen del foco de contaminación hasta los pozos que pudieran existir en las proximidades, será mayor que en el caso de los compuestos polares.

### **1.8.3 Solubilidad**

La solubilidad tiene un significado similar al de la polaridad, aunque está más directamente relacionado con la disponibilidad potencial de compuestos en la fase líquida. Los microorganismos, principalmente bacterias y hongos, llevan a cabo la biorrecuperación, por lo que los contaminantes deben estar disueltos para que se produzca el proceso de transformación.

### **1.8.4 Volatilidad**

Los compuestos volátiles suelen difundirse hacia la fase vapor y pueden ser eliminados en terreno y las aguas subterráneas por arrastre de aire. El vapor contaminado puede entonces ser tratado en la superficie. Los compuestos volátiles tienen normalmente bastante movilidad en terrenos no saturados, y las emisiones de los mismos desde el terreno pueden constituir un peligro en el emplazamiento del foco contaminante o durante la excavación.

### **1.8.5 Toxicidad**

El factor clave que lleva a la necesidad de recuperar terrenos y aguas subterráneas contaminadas es la toxicidad en humanos. La eliminación o vertidos de productos químicos tóxicos en terreno constituye un difícil problema debido a que: (1) Las materias tóxicas a menudo son resistentes a la biodegradación; (2) una vez que los compuestos se encuentran en el terreno, existe un menor control sobre el transporte de los mismos y los procesos que sufren y, (3) el peligro que corren los abastecimientos de agua es muy alto, ya que los límites de concentración máxima de productos tóxicos en aguas destinadas al abastecimiento son normalmente extremadamente bajos (EWEIS, 1999).

Las características de peligrosidad de una sustancia o residuo peligroso (Toxicidad, Persistencia, Inflamabilidad y Reactividad), son indicadas en la Tabla N°1 para los principales contaminantes orgánicos. Donde cero representa ausencia de la característica, uno es leve, dos es moderada y tres la valoración más alta.

**Tabla N°1. Características de los Principales Contaminantes Orgánicos**

Compuesto	Toxicidad	Persistencia	Inflamabilidad	Reactividad
Benceno	3	1	3	0
Etilbenceno	2	1	3	0
Petroleo, Kerosene	3	1	2	0
Tolueno	2	1	3	0
Xileno	2	1	3	0

Fuente: SAX, 1976.

La persistencia aumenta en la medida que las partículas del suelo sean más pequeñas, debido a que aportan una gran área superficial para la absorción de los productos químicos.

### **1.9 Contaminación por Hidrocarburos**

El acelerado crecimiento de la población mundial ha dado como resultado una mayor demanda de combustibles fósiles (hidrocarburos). Aunque muchos de estos compuestos se utilizan para generar energía, un alto porcentaje se libera al ambiente en los procesos de extracción, refinado, transporte y almacenamiento, lo que representa un riesgo potencial para los ecosistemas (SEMPLE y col., 2001).

La creciente necesidad de hidrocarburos y sus productos derivados han impulsado un fuerte desarrollo de la industria petrolera y petroquímica, transformándose en una de las más importantes teniendo en cuenta el volumen de producción, generación de empleos y necesidades que satisface (entre ellas la obtención de combustibles y lubricantes para la industria y el transporte). En la Figura N°2 se muestran los productos derivados del petróleo por destilación y sus respectivos usos. Al iniciarse el auge de las actividades petroleras, en el manejo y desecho de los hidrocarburos, no se tomó en cuenta la repercusión que causarían éstos al infiltrarse en el subsuelo. Por esto, en la actualidad, es común encontrar pasivos ambientales debido a las actividades inadecuadas que han permitido su infiltración en el subsuelo, así como a fugas de hidrocarburo por accidentes o manejo inapropiado en las actividades de refinación, petroquímica, transporte, almacenamiento y comercialización (Madrigal, 1998). La industria petroquímica surge de la necesidad de obtener una serie de derivados del petróleo y básicos para otras industrias. Su importancia deriva de la gran variedad de las industrias a las que abastece, entre ellas la de fertilizantes, fibras sintéticas, plásticos, llantas, jabones y detergentes (AYLLON, 1994).

Fracción	Tª ebullición (°C)	Composición aproximada	Usos
Gasolina ligera	20-100	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> -C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	Disolvente
Bencina	70-90	C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>	Limpieza en seco
Ligroína	80-120	C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub>	Disolvente
Gasolina	20-180	C <sub>6</sub> -C <sub>11</sub>	Carburante de motores
Queroseno, Jet fuel	200-300	C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub>	Alumbrado y carburante
Gasoil. Diesel	200-350	C <sub>13</sub> -C <sub>18</sub>	Carburante de motores
Aceite lubricante	200-350	C <sub>16</sub> -C <sub>20</sub>	Lubricantes
Grasas, vaselinas	250-400	C <sub>18</sub> -C <sub>22</sub>	Farmacéutica
Cera de parafina	245-540	C <sub>20</sub> -C <sub>45</sub>	Velas
Betum asfáltico (35% peso)	> 540	C <sub>30</sub> -C <sub>45</sub>	Alquitrán asfáltico coque de petróleo

**Figura N°2. Derivados del Petróleo por Destilación y sus Usos.**

En Chile existen diferentes fuentes generadoras de contaminación de suelos, cuerpos de agua superficiales y acuíferos, dependiendo de las actividades que se desarrollan en cada zona, sin embargo la contaminación por hidrocarburos está ampliamente distribuida en el país.

### **1.9.1 Derrame de Hidrocarburos**

Los derrames de hidrocarburos constituyen una de las principales fuentes de contaminación de los suelos, aguas superficiales y subterráneas, flora y fauna silvestre. Algunas sustancias peligrosas como los hidrocarburos presentan actividad carcinogénica en detrimento del hombre y los animales, de tal manera que la presencia de estas sustancias químicas en agua subterránea es un enorme peligro para el consumo humano (IMT, 2002).

Los derrames de hidrocarburos son causados por accidentes que puede originarse en instalaciones petroleras durante las actividades de explotación, transformación, comercialización o distribución de petróleo y sus derivados. Los derrames de hidrocarburos se pueden presentar en tierra, aguas continentales o en el mar (PEMEX, 1999). Los derrames de hidrocarburos son cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos que se presente en suelo (SEMARNAT, 2003).



### **1.9.2 Fugas de Hidrocarburos**

Las fugas de hidrocarburos corresponden a la salida o escape de un líquido o gas, causadas por algunos efectos de la corrosión a la estructura metálica de ductos y/o estanques. También existen algunos factores internos o externos que provocan las fugas, tales como laminaciones, grietas, fisuras, golpes o defectos de fabricación, entre otros (PEMEX, 1999).

Uno de los problemas más recurrentes, y que acompaña frecuentemente a otros tipos de contaminaciones de suelos, está relacionado con las fugas industriales de hidrocarburos. Este problema se extiende, en medida no despreciable, a depósitos auxiliares y establecimientos de distribución de hidrocarburos. Las fugas de los hidrocarburos pueden aparecer durante la producción, manipulación, almacenamiento y transporte. (ÁLVAREZ-CAMPANA, 2001).

De todas estas fugas las que se consideran más peligrosas son aquellas que permanecen ocultas, no siendo descubiertas hasta que se produce la contaminación de pozos, ríos, etc. Su detección previa es consecuentemente difícil y costosa. Un análisis retrospectivo ha mostrado cómo las causas más frecuentes son las fugas a largo plazo y ocasionales, en los lugares de envase o bombeo de las cisternas o tanques. Además, es preciso destacar las fugas en transportes (accidentes), aeropuertos (fugas de combustible durante el arranque de los aviones), aguas de refrigeración, residuos de industria petroquímica, etc. (ÁLVAREZ-CAMPANA, 2001).

El crecimiento industrial de nuestro país ha traído consigo un mayor impacto ambiental y representa una eventual fuente fija de contaminación. La mayoría de las industrias generan residuos en su ciclo de producción, los cuales sin un adecuado manejo y/o tratamiento pueden generar, en algunos casos, sitios contaminados y/o pasivos ambientales. En el caso de la Quinta Región existe una serie de sitios que han sido estudiados, cualitativa o cuantitativamente en alguna medida, para determinar el grado de contaminación y el respectivo riesgo para la salud humana o de los ecosistemas. Entre los sitios estudiados se encuentran la Planta "La Patagua", sitio minero ubicado en la comuna de Catemú; Depósito de Sentinas, en la ciudad portuaria de San Antonio; Estación de Servicio "ESSO", en la ciudad de Quillota y el Vertedero de Quilpué.

Por otra parte, existen fuentes móviles de contaminación, específicamente causada por el derrame de hidrocarburos asociada al transporte de combustibles y productos refinados por: (1) vía marítima con posibilidad de derrames y fugas desde buques estanques, operaciones de trasvasije en puerto; y (2) vías terrestres a través de ductos (tuberías) de hidrocarburos líquidos y gaseosos, transporte por ferrocarril y carretera mediante la utilización de camiones estanques.

### **1.10 Accidentes por Transporte de Sustancias Peligrosas**

La mayor contaminación de suelos es por hidrocarburos. Un resumen de las emergencias ambientales asociados a sustancias peligrosas en México, entre los periodos 1993 al 2001, muestra que el 70.2% de las emergencias ambientales reportadas suceden durante la etapa del transporte, y un 20.4% en instalaciones industriales. Dentro de la primera mayoría, el transporte por ductos representa el mayor número de emergencias ambientales con el 59.7%, seguido por el carretero con el 29.9%, el marítimo con 7.2% y el ferrocarril con un 3%. (IMT, 2002)

La mayor tasa de accidentes en el transporte de sustancias peligrosas corresponde al transporte de hidrocarburos mediante ductos. Las empresas vinculadas al procesamiento y/o distribución de los hidrocarburos mantienen estrictos programas de revisión de los ductos para verificar el espesor y grado de corrosión de las tuberías. Sin embargo, existe la posibilidad de que ocurran eventos naturales como sismos o deslizamientos de tierra, los que pueden causar la rotura de vías destinadas a la conducción de los hidrocarburos. Aún cuando la frecuencia de estos sean bajas, involucran altos volúmenes de hidrocarburos derramados y, en muchos casos, los sitios afectados son de difícil acceso o intrincado relieve para realizar las labores de control y limpieza.

En la Quinta Región se han registrado una serie de episodios críticos de contaminación por rotura de ductos de conducción de hidrocarburos que han afectado principalmente al ecosistema y, en menor grado, a la salud de la población. En el año 2001 en la comuna de Viña del Mar (sector de Reñaca Alto), un ducto de combustible de la red Concón-Maipú de propiedad de la empresa SONACOL sufrió una rotura con derrame de hidrocarburos afectando aguas subterráneas en un área aproximada de 4.300m<sup>2</sup> (IGSA, 2001).

Similar caso se presentó en la comuna de Con-Cón, donde se ubica una extensa red de ductos que transportan hidrocarburos hacia la refinería de petróleo. En dicho lugar, en el año 2002, se presentaron dos derrames de hidrocarburos como consecuencia de la rotura de las tuberías que transportaban el combustible. El primer evento ocurrió en el sector de Vertientes del Mauco, derramándose un total de 50 m<sup>3</sup> de IFO-380, un petróleo combustible marino (IAL, 2002). El segundo episodio de contaminación se presentó en la caja del Río Aconcagua en un antiguo meandro, el hidrocarburo derramado fue FUEL OIL N°6 afectando un área de 3700 m<sup>2</sup> (IAL, 2002).

Aún cuando la frecuencia de estos accidentes es baja, su ocurrencia involucra un gran volumen de hidrocarburos derramados, una extensa área afectada, contaminación del suelo y aguas superficiales, alteración de los ecosistemas, y una pérdida de la vegetación.



En el caso de los accidentes de transporte de sustancias peligrosas por carretera la principal afectación ambiental es directamente sobre el suelo, ya que en la mayoría de los casos los derrames son de tales proporciones que alcanzan al suelo aledaño a la carretera con peligro de alcanzar aguas superficiales o infiltrar el terreno contaminando un acuífero.

La contaminación del suelo no sólo se presenta durante el transporte de las sustancias, sino también en los accidentes durante la carga y descarga de los materiales, es evidente que la mayor afectación por las cantidades que se manejan es durante el traslado.

Las causas atribuibles de un accidente en carretera giran en torno a los siguientes aspectos:

- El camino
- El conductor
- El vehículo
- Los factores climáticos

#### **1.11 Fuentes de Contaminación por Hidrocarburos**

Las posibles fuentes de contaminación por derrames de hidrocarburos en la región están vinculadas a instalaciones industriales y transporte, tales como:

- Puertos, operaciones de trasvasije
- Refinería, procesos productivos y almacenamiento
- Estaciones de servicios, estanques de almacenamiento
- Establecimientos industriales con almacenamiento propio de combustibles
- Botaderos Clandestinos
- Transporte por ductos
- Transporte por carretera en camión estanque

El transporte por ductos y camión estanque son las fuentes de mayor cuidado respecto a la protección de los recurso naturales en zonas terrestres. En el caso del transporte por ductos el trazado busca el paso por lugares con baja o sin presencia de población, atravesando por zonas con características agrícolas, ganaderas o praderas con presencia de vegetación nativa. Respecto del transporte en carretera por camión estanque, las múltiples rutas así como la variedad de hidrocarburos que son transportados hacen difícil establecer medidas de contingencia que aseguren un correcto control y limpieza de las cargas derramadas.



### 1.12 Referencias Bibliográficas

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004. *Protocolo Distrital de Primera Respuesta a Incidentes por Derrame y/o Fuga de Hidrocarburos*. Colombia, Comité Operativo Distrital De Prevención Y Atención De Emergencias, Bogotá D.C., 28P.

ÁLVAREZ-CAMPANA Gallo, J.Manuel, 2001. *Curso Sobre Contaminación de Suelos y Aguas Subterráneas: Contaminación del Suelo Debida a Procesos Industriales*. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia, 12P.

ASTDR, 1998. *Reseña Toxicológica de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)*. Atlanta, EE.UU., Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.

AYLLON T. T. & Chávez J. F., 1994. *México: Sus Recursos Naturales y su Población*. Segunda Edición. Limusa, México.

AZADPOUR-KEELY, A., 1999. *Microbial Processes Affecting Monitored Natural Attenuation of Contaminants in the Subsurface, EPA/540/S-99/001*. Cincinnati, OH, EE.UU.. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, 3P.

BEDAIR, H. M. & H. T. Al-Saad. 1992. *Dissolved and Particulate Adsorbed Hydrocarbons in Water of Shatt Al-Arab River, Iraq*. Water, Air, Soil Pollution. 61:397-408P.

BIDLEMAN, T. F.; A. A. Castleberry; W. T. Foreman; M. T. Zaransk & D. W. Wall. 1990. *Petroleum Hydrocarbons in the Surface Water of Two Studies in the Southeastern United States*. Est. Coast Shelf Science. 30:91-109P.

EWEIS, J.B.; Ergas, S.J.; Chang, D.P. & Schroeder, E.D., 1999. *Principios de Biorremediación (Bioremediation)*. 1ra Ed., Editorial WCB/McGraw-Hill, España, 2-4P.

FUNDACIÓN CHILE, 2004. *Identificación y Confirmación de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes*, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile.

HAWLEY, op. cit.; Wingrove, Alan S. & Caret, Robert., 1984. *Química Orgánica*, Editorial Harla S.A. de C.V., México.

IAL, 2002. *Evaluación Ambiental Derrame de Combustible IFO-380 en el sector vertientes del Mauco*, Chile.



IAL, 2002. Evaluación Ambiental Derrame de Combustible en la Caja de Río Aconcagua, Chile.

IGSA Consultores, 2001. Plan Integral de Remediación Contingencia en el oleoducto ConCón-Maipú, Chile.

IMT, 2002. *La Permeabilidad de los Suelos en los Problemas de Transporte de Contaminantes: Aplicación en la Infraestructura del Transporte*. Sanfandila, México, Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 195, 23P.

LESSER, I. J. M. 1995. *Prospección de Contaminación de Acuíferos por Hidrocarburos*. Geólogos. 1(6):5-8P.

PADILLA, R. M. Y. 1989. *Determinación de los Niveles de Hidrocarburos en Sedimentos Recientes del Río Calzadas en la Región del Bajo Río Coatzacoalcos*, Veracruz. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

PEMEX. 1999. *Diccionario de Términos de Pemex Refinación*. 1ra Ed., México, Petróleos Mexicanos, 36,70,110,138,172, 184P.

SAMANTA, S. K., Singh, O. V. & Jain, R. K., 2002. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Environmental Pollution and Bioremediation*. Trends Biotechnol, 243-247P.

SAX, N. L., 1976. *Dangerous Properties of Industrial Materials*, 4th ed. Van Nostrand Rheinhold, Co., Nueva Cork, E.E.U.U..

SCHNITZER, M. & S. U. Khan. 1978. *Soil Organic Matter Developments in Soil Science* 8. Elsevier.

SEMPLE, K.T. y col., 2001. *Impact of Composting Strategies on the Treatment of Soils Contaminated with Organic Pollutants*. EE.UU., 112, 269-283P.

SERMANAT, 2003. NOM-138-SERMANAT/SS-2003. *Limites Permisibles de Hidrocarburos en Suelos as Especificaciones para su Caracterización y Remediación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 4-5P.



***CAPÍTULO 2***  
***CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS***

---



## **2 Contaminación por Hidrocarburos**

### **2.1 Matrices Ambientales**

Después que ocurre un derrame o fuga de hidrocarburos, el comportamiento en el ambiente está dado por las características del tipo de sustancia vertida y las propiedades de las matrices ambientales involucradas. Así, por ejemplo, una vez que ha ocurrido la descarga o derrame de petróleo u otro hidrocarburo se comienzan a producir diversos procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el grado de daño que el hidrocarburo causa al ambiente. El conocimiento de estos procesos y la interacción que se da entre ellos es esencial para tomar apropiadas decisiones de respuesta a derrames. Por lo tanto, siempre que se produzca un derrame o fuga, se deberá accionar en orden a identificar el tipo de hidrocarburo derramado y las características del medio sobre el cual se derramó, con el objetivo de tomar las medidas más acertadas para minimizar las consecuencias sobre las matrices ambientales.

Las matrices ambientales cubiertas en este estudio son:

- Suelo
- Aguas (superficial y subterránea)
- Sedimentos
- Flora y vegetación
- Fauna

### **2.2 Mecanismos de transporte**

Las emisiones contaminantes al medio ambiente como resultado de los procesos industriales, el empleo de productos elaborados y la eliminación de residuos, raramente permanecen en el lugar de vertido sin sufrir transformación alguna. Por lo general, se produce un transporte a través de mecanismos de advección, dispersión y transferencia entre fases. En muchos casos, las transformaciones químicas y bioquímicas dan lugar a cambios significativos en la naturaleza de los contaminantes. En la mayoría de los casos, se trata con combinaciones de contaminantes y cada especie en particular puede ser transportada a velocidades notablemente diferentes. Además, algunos compuestos son conservativos, esto es, altamente resistente a transformaciones, mientras que otros reaccionan con bastante facilidad según medios químicos o bioquímicos.

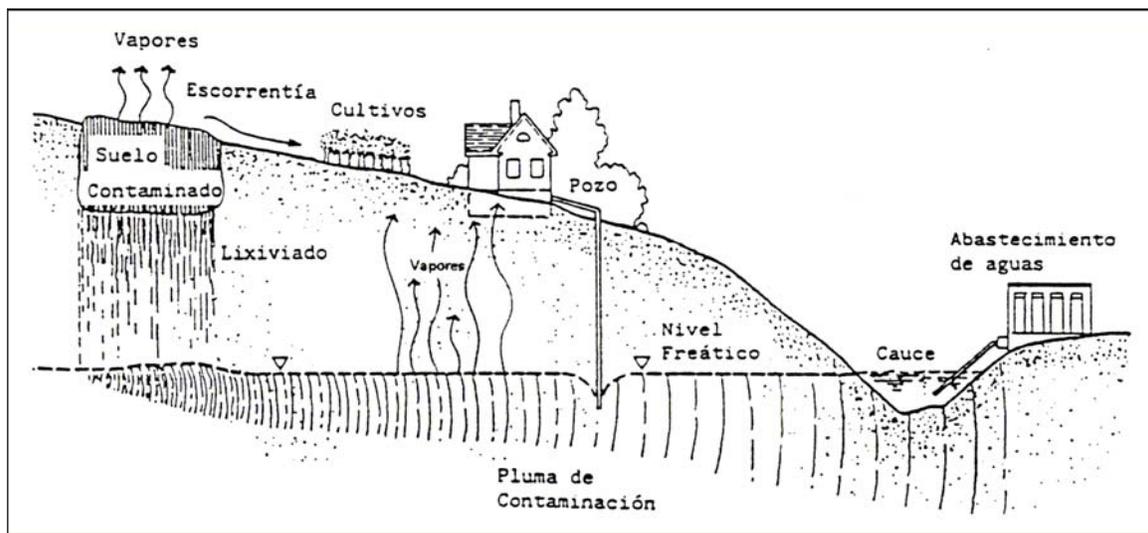
Los contaminantes que han sufrido transformaciones o han sido vertidos en un tiempo anterior pueden poseer una composición muy diferente a la de vertidos resultantes de las fugas producidas en depósitos subterráneos de almacenamiento de gasolina que sirven como excelente ejemplo de transporte, transferencia entre fases y proceso de transformación. A menudo, los derrames contaminantes de gasolina se extienden a lo largo de distancias

considerables y se desplazan verticalmente en sentido descendente contaminando aguas subterráneas. La difusión de la gasolina hacia la materia orgánica del suelo es función de cada especie química presente en la mezcla, como sucede con su difusión hacia la fase vapor. La mayor parte de los componentes de la gasolina son fácilmente biodegradables y si hay oxígeno y nutrientes, se producirá la biodegradación. El término disgregación se emplea para describir la pérdida o desaparición selectiva de los componentes de una mezcla contaminante en un terreno. Por lo general, la disgregación de la gasolina resulta en la disminución relativa de las cantidades de los compuestos más volátiles presentes. Con una menor presencia de compuestos volátiles, como los HAPs, la disgregación puede suponer la adsorción permanente por parte de la materia orgánica del suelo, de los componentes menos solubles.

En general, el transporte de contaminantes en el ambiente involucra los movimientos de gases, líquidos y partículas sólidas, dentro de un medio determinado y a través de interfases entre aire, agua, sedimento, suelo, plantas y animales. Cuando una sustancia es emitida al ambiente puede ocurrir uno o más de los siguientes eventos:

- Movimiento en agua, sedimento suspendido, etc.
- Transformación física Volatilidad, lluvia, etc.
- Transformación química Fotólisis, hidrólisis y oxidación/reducción.
- Transformación biológica Biodegradación y atenuación natural.
- Acumulación en uno o más medios, incluyendo el medio originalmente contaminado.

En la Figura N°3, se muestran un modelo conceptual simplificado de las principales rutas de transporte de los contaminantes en el ambiente.



**Figura N°3. Modelo Conceptual Rutas de Transporte de Contaminantes**



Usualmente los mecanismos de transporte y el destino de los contaminantes pueden simplificarse en cuatro categorías básicas:

**Emisión:** Escape o descarga de material contaminado desde la fuente.

**Advección:** Migración del contaminante en sentido del movimiento del medio (por ejemplo, migración en la dirección de la corriente de un arroyo, en la dirección de los vientos predominantes, por el lavado de los suelos por corrientes superficiales, etc.).

**Dispersión:** Distribución de contaminantes en un líquido, gas o sólido, debido a la colisión del contaminante con material presente en dichas fases.

**Atenuación:** Disminución de la cantidad del contaminante en el medio ambiental por fenómenos de degradación o de adsorción a elementos del propio medio (OPS, 1999).

### **2.3 Transformación de Contaminantes**

Se dice que un componente que sufre transformaciones (degradado o generado) en un volumen de control es no conservativo. La transformación puede producirse como resultado de procesos biológicos, químicos y físicos. Entre los que se encuentran la degradación biológica o biodegradación, la degradación natural y la degradación química (reacciones fotoquímicas, de oxidación-reducción y de hidrólisis) (EWEIS, 1999).

#### **2.3.1 Degradación Biológica**

En la biodegradación, los microorganismos transforman contaminantes mediante reacciones metabólicas. Los microorganismos del terreno transforman tanto compuestos orgánicos como inorgánicos. Los procesos de biorrecuperación incluyen reacciones de oxidación-reducción, procesos de adsorción e intercambio de iones y reacciones de quelación y de formación de complejos, que dan lugar a la fijación de los metales. La degradación biológica implica transformaciones de compuestos orgánicos e inorgánicos.

##### **2.3.1.1 Transformación Biológica de Compuestos e Iones Inorgánicos.**

Los procesos de biorrecuperación más importantes conllevan la oxidación biológica de los contaminantes orgánicos. Los compuestos biodegradables se encuentran inicialmente vinculados a enzimas extracelulares y son transportados a través de la membrana celular, donde se producen una serie de reacciones de transformación en las cuales se separan los electrones del compuesto y se oxida la estructura de carbono.



La energía desprendida en las reacciones se emplea para la síntesis del nuevo material celular, para la reparación del material dañado, el transporte de compuestos al interior de la celular y en algunos casos para el movimiento. Una vez que los compuestos orgánicos han sido transformados en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , se dice que se ha producido la mineralización.

La biodegradación no siempre acaba en la mineralización. El cambio en la estructura molecular de un contaminante durante la biorrecuperación puede llevar a la obtención de productos diferentes al compuesto reactivo, pero aún tóxicos o peligrosos. Los productos no mineralizados están, por lo general, más oxidados y son menos volátiles queda el compuesto original. Sin embargo, los productos suelen difundirse hacia el terreno en mayor medida que el compuesto original, haciendo que su recuperación sea más difícil de llevar a cabo (EWEIS, 1999).

### **2.3.1.2 Transformación Biológica de Compuestos e Iones Inorgánicos.**

Las reacciones que habitualmente conllevan transformación de compuestos inorgánicos son aquellas incluidas en el ciclo del nitrógeno, junto con las reacciones del ciclo del azufre, ambos importantes (TCHOBANOGLUOS, 1985). Las transformaciones del nitrógeno de especial importancia en la biorrecuperación son la nitrificación y desnitrificación. La nitrificación se lleva a cabo mediante organismos que emplean  $\text{NH}_3$  o  $\text{NO}_2$  como fuente de energía y  $\text{CO}_2$  como fuente de carbono.

### **2.3.2 Degradación Natural**

En la naturaleza, los contaminantes a menudo desaparecen debido a cierto número de factores no relacionados entre sí, los cuales, por lo general, resultan demasiado complejos de caracterizar e imposible de cuantificar. Lo habitual es definir la degradación total debido a factores como degradación natural, atenuación natural y/o biorecuperación intrínseca.

### **2.3.3 Degradación Química**

Muchas de las reacciones químicas llevan a la destrucción o degradación de determinados compuestos en el medio ambiente. A partir de las relaciones de equilibrio termodinámico ya conocidas, se establecerá si una determinada reacción se va a producir o no. Sin embargo, no se pueden obtener las tasas de reacción. Los tipos de degradaciones químicas son la fotodegradación, hidrólisis y oxidación-reducción.

#### **2.3.3.1 Fotodegradación**

La radiación solar permite y acelera algunas reacciones químicas. La fotólisis directa constituye el proceso en el que la absorción de luz por parte de un contaminante se traduce en la transformación del mismo.

En el medio acuático, la fotólisis directa puede ser importante, como la luz se atenúa debido a sustancias presentes en el agua., la radiación más intensa únicamente podrá penetrar las capas superiores de la masa de agua. La fotodegradación en las capas bajo la superficie de un medio poroso, normalmente se considera despreciable, ya que la luz, generalmente no penetra estas capas.

### **2.3.3.2 Hidrólisis**

Corresponde a la reacción de un anión con agua para dar lugar a un ácido débil y  $\text{OH}^-$ , o la reacción de un catión con agua para formar una base débil y  $\text{H}^+$  (RUSSELL, 1980). La hidrólisis de compuestos químicos orgánicos posee un interés particular, la tasa de hidrólisis depende de la temperatura, el pH, la presencia de disolventes orgánicos y la fuerza iónica de la solución. En la mayoría de los sistemas de biorecuperación, se considera que la hidrólisis, no es relevante como vía de eliminación para compuestos químicos orgánicos (EPA, 1990).

### **2.3.3.3 Oxidación-Reducción**

Una reacción de oxidación-reducción constituye una reacción de transferencia de electrones en la que la sustancia que pierde electrones se oxida, mientras la que gana electrones se reduce. La oxidación de compuestos químicos orgánicos es típica de ambientes aerobios, mientras que la reducción lo es de los ambientes anaerobios. Al igual que la hidrólisis, la oxidación-reducción que se producen sin intervención biológica no tienen importancia como vías de eliminación en los sistemas de tratamiento biológico (EPA, 1990).

## **2.4 Factores químicos que afectan el destino y transporte de los contaminantes**

Dentro de un estudio de derrame de hidrocarburos al ambiente, el evaluador debe considerar los factores de naturaleza química que podrían influir en el transporte del o los contaminantes. Algunos de ellos se discuten en los siguientes párrafos.

### **2.4.1 Solubilidad en agua**

Los compuestos muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad a los suelos. Por lo tanto, son rápidamente transportados desde el suelo contaminado hasta los cuerpos de agua superficial y/o profunda. La solubilidad también afecta la volatilidad desde el agua. Por ejemplo, los compuestos muy solubles en agua tienden a ser menos volátiles y también muy biodegradables.

### 2.4.2 Constante de la Ley de Henry (H)

Los rangos de la constante de la Ley de Henry y su volatilidad son señalados en la Figura N°4. La volatilización es el proceso por el cual los contaminantes químicos pasan de una líquida o sólida a una fase gas. El valor del coeficiente de Henry constituye un indicativo de la facilidad que tiene un compuesto químico para volatilizarse.

Cuando la presión de vapor es alta con respecto a su solubilidad en agua, la constante de la ley de Henry también es alta y el compuesto preferentemente se evaporará en el aire. Un alto valor para la constante de la ley de Henry de un contaminante, podría sugerir que la inhalación sería la vía de exposición.

<b>RANGOS DE LA CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY</b>	
<b>VOLATILIDAD</b>	<b>RANGOS DEL VALOR (atm m<sup>3</sup>/mol)</b>
No volátil	Menor que $3 \times 10^{-7}$
Baja volatilidad	$3 \times 10^{-7}$ a $1 \times 10^{-5}$
Volatilidad moderada	$1 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-3}$
Alta volatilidad	Mayor que $1 \times 10^{-3}$

**Figura N°4. Rangos de la Constante de la Ley de Henry**

Se considera que un compuesto químico no es volátil si la constante de Henry es menor a  $3 \times 10^{-7}$  atm-m<sup>3</sup>/mol. El coeficiente de Henry depende del tipo de compuesto considerado, la actividad del compuesto en cada fase y la temperatura (EPA,1990).

### 2.4.3 Coeficiente de partición de carbono orgánico (Koc)

Un "Koc" alto indica que el compuesto orgánico se fija con firmeza a la materia orgánica en el suelo, por lo que se va poca cantidad del compuesto a las aguas superficiales o acuíferos. Un bajo "Koc" sugiere la posibilidad de que el compuesto pueda ir a los cuerpos de agua.

Las moléculas de un compuesto en solución resultan adsorbidas en el superficie de un sólido a través de una reacción química (quimiosorción) o por fuerzas físicas (por ejemplo, las de Van der Waals). En la mayoría de los casos la quimiosorción es básicamente permanente limitando el transporte y fijación de los contaminantes, mientras que la absorción física es reversible. Los valores del coeficiente de adsorción en el suelo son indicados en la Figura N°5.

<b>RANGOS DEL Koc (ml/g carbono orgánico)</b>	
<b>Adsorción a SUELO</b>	<b>VALORES DEL COEFICIENTE</b>
Muy débil	< a 10
Débil	10 a 100
Moderada	100 a 1000
De moderada a fuerte	1000 a 10,000
Fuerte	10 mil a 100,000
Muy fuerte	> a 100,000

**Figura N°5. Rangos del coeficiente de adsorción en el suelo**

Un mayor coeficiente de adsorción implica una fijación al suelo más fuerte. En cuanto a la biodegradación, la fuerte adsorción de compuestos orgánicos que se produce por parte de los minerales en la capa bajo la superficie, o su penetración en estructuras minerales demasiado pequeñas para que los microorganismos lleguen hasta ellas, hace que los compuestos orgánicos sean inaccesibles para la población microbiana o para sus enzimas de la biodegradación (Mc CARTY, 1991).

#### **2.4.4 Coeficiente de partición octanol/agua (Kow)**

La adsorción de compuestos orgánicos es función, principalmente, del contenido orgánico del terreno y de las características hidrófobas que posean los compuestos. Se puede obtener una medida aproximada de estas características hidrófobas a partir del coeficiente de reparto octanol-agua "Kow", expresado como el cociente de la concentración másica de un compuesto en octanol, partido por la concentración en agua. Los compuestos químicos con valores altos de "Kow" tienden a acumularse en las porciones lipídicas de los organismos y a concentrarse en suelos y sedimentos. Además, esta clase de compuestos se pueden transferir a los humanos a través de la cadena alimentaria. Por el contrario los compuestos con bajos "Kow" tienden a distribuirse en el agua o aire.

#### **2.4.5 Factor de bioconcentración (FBC)**

Este factor se determina dividiendo la concentración al equilibrio de un compuesto químico en un organismo o tejido (como el de un pez) entre la concentración del mismo compuesto en un medio externo (como el agua donde habitaba dicho pez). En general, los compuestos que tienen un alto valor de "Kow" tienen un alto FBC. Sin embargo, algunos compuestos como los hidrocarburos aromáticos no se acumulan en peces y vertebrados a pesar de su alto "Kow". Esto se debe a que los peces tienen la habilidad de metabolizar rápidamente dichos compuestos.

#### **2.4.6 Velocidad de transformación y degradación**

Este factor toma en cuenta los cambios físicos, químicos y biológicos de un contaminante a través del tiempo. La transformación es influenciada por la hidrólisis, la oxidación, la fotólisis y la degradación microbiana. En tanto la biodegradación es la ruptura de compuestos orgánicos por la actividad biológica, la mayoría de las veces por actividad microbiana. Es difícil calcular con precisión las velocidades de transformación química y degradación. Su aplicación también se dificulta, ya que todo ello depende de variables físicas y biológicas específicas del sitio de estudio.

#### **2.5 Factores del sitio de estudio que influyen en el destino y transporte de los contaminantes**

Cuando se están identificando las posibles rutas de transporte, el evaluador debe considerar también los factores específicos del sitio de estudio que pudieran influir en el transporte de los contaminantes. Cada sitio es único y debe ser evaluado a fin de determinar las características que podrían incrementar o disminuir la migración de los contaminantes de importancia. Muchos de los factores que afectan el transporte dependen de las condiciones climáticas y de las características físicas del sitio. Algunos de estos factores son discutidos en los siguientes párrafos.

##### **2.5.1 Índice de precipitación anual**

Este dato puede ser muy útil para determinar la cantidad de arrastre de suelo por corrientes superficiales, los promedios de recarga de acuífero y/o el contenido de humedad en suelos. Un alto índice anual de precipitación en un sitio contaminado con un compuesto muy hidrosoluble ocasionaría una importante migración. Además, la precipitación es un fenómeno de atenuación para el aire, ya que remueve las partículas y vapores presentes en la atmósfera.

##### **2.5.2 Condiciones de temperatura**

Afectan el índice de volatilidad de los contaminantes. Además, la temperatura terrestre también afecta el movimiento de los contaminantes; por ejemplo, una zona congelada retarda el movimiento de los contaminantes en el suelo y entre sus fases.

##### **2.5.3 Velocidad y dirección de los vientos**

Influyen en el índice de generación de polvos fugitivos. Durante los periodos de estabilidad atmosférica, la sedimentación gravitacional actuará para depositar de nuevo las partículas o gotas suspendidas.

#### **2.5.4 Características geomorfológicas**

Estas características pueden jugar un papel muy importante en la velocidad de las corrientes de agua, así como en el volumen y en el índice de arrastre de suelo por corrientes superficiales o por fenómenos de erosión. Los terrenos sobre piedras calizas, mayor porosidad, pueden incrementar las conexiones hidrológicas entre cuerpos de agua superficiales y acuíferos.

#### **2.5.5 Características hidrogeológicas**

Los tipos y la localización de acuíferos son importantes para determinar el peligro que el sitio representa para las fuentes de agua potable.

#### **2.5.6 Canales de aguas superficiales**

Los canales y sus crecidas cerca del sitio también pueden afectar la magnitud de la migración de los contaminantes.

#### **2.5.7 Características del suelo**

Se deben considerar los siguientes parámetros: configuración, composición, porosidad, permeabilidad, capacidad de intercambio catiónico y cubierta vegetal. Estos parámetros influyen en los índices de percolación, recarga de acuíferos, lixiviado de contaminantes y transporte. Para delimitar la zona contaminada, se necesita contar con la información de los niveles basales de metales, compuestos orgánicos y pH en suelos del área.

#### **2.5.8 Flora y fauna**

El hombre puede usar la flora y fauna como fuente alimenticia con lo cual se facilitaría la exposición humana.

#### **2.5.9 Obras públicas**

Las alcantarillas o los canales de drenaje pueden facilitar el movimiento de contaminantes. Un pozo mal construido puede causar contaminación en un acuífero o entre acuíferos (OPS, 1999).

### **2.6 Contaminación en Suelos y Acuíferos**

El suelo es la combinación de materia orgánica y mineral, agua y aire; la parte del regolito que sustenta el crecimiento vegetal y el desarrollo de microorganismos (TARBUCK, 1999). El suelo y subsuelo constituyen un recurso natural difícilmente renovable que desempeña funciones entre las que destaca su papel como medio filtrante durante la recarga del manto acuífero y la protección de los mismos, también están integrados al escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y las redes tróficas, además de ser el espacio donde se realizan las actividades agrícolas, ganaderas y soporte de la vegetación (SAVAL, 1995).



En un suelo contaminado, los contaminantes pueden estar presentes en una (o una combinación) de las siguientes localizaciones y fases:

- En la zona no saturada o vadosa: como vapores en los poros del suelo, como producto libre, disueltos en la humedad de suelo, adsorbidos en la matriz sólida o flotando en el tope del borde capilar (para líquidos en fase no acuosa).
- En la zona saturada y agua subterránea: disueltos en el agua, adsorbidos en el material del acuífero o sedimentados sobre las rocas (líquidos densos en fase no acuosa) (CONTRERAS, 2003).

La contaminación de los suelos por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades microbiológicas, físicas, químicas y características edafológicas de los suelos afectados por este tipo de contingencia se ven seriamente afectadas.

Las propiedades físicas del suelo más afectadas por derrames de hidrocarburos son:

- Estructura del suelo debido a la ruptura de los agregados
- Aumento de la retención del agua en la capa superficial.
- Potencial hídrico.
- Condiciones adversas para el crecimiento de vegetación.
- Degradación del horizonte superficial (erosión), a veces hasta su total pérdida, como resultado de la ausencia de vegetación (SEMARNAP, 1996).

Las propiedades químicas del suelo más afectadas por un derrame de hidrocarburos son:

- Aumento del carbono orgánico ya que el 75 % del carbono del petróleo crudo es oxidable.
- Disminución del pH, debido a la acumulación del carbono orgánico y generación de ácidos orgánicos.
- Aumento del manganeso y hierro intercambiable.
- Aumento del fósforo disponible (SEMARNAP, 1996).

### 2.6.1 Infiltración de un Derrame en el Suelo

Cuando estamos ante la presencia de un derrame de un hidrocarburos en el suelo una fracción se evapora, dependiendo de la volatilidad del compuesto vertido. Además, existe un proceso de infiltración en el suelo, muchas veces no apreciable a simple vista, y que involucra un descenso gravitacional por la matriz del suelo pudiendo llegar hasta aguas subterráneas contenidas en acuíferos someros o profundos. Una vez que ha ocurrido un derrame de contaminantes en el suelo, los fenómenos de capilaridad y gravedad los conducen hacia las aguas subterráneas, por ello, se hace necesario entender la forma del transporte. En términos generales, el comportamiento de los contaminantes está en función de sus características fisicoquímicas en las que se incluyen principalmente densidad, solubilidad, viscosidad, además de las características del medio que los rodea como son: el tipo de suelo, adsorción, permeabilidad, tamaño de las partículas, contenido de humedad y de materia orgánica, succión, profundidad del nivel del agua entre otros. Los factores climatológicos como la temperatura y las precipitaciones pluviales también tienen influencia; todos los fenómenos fisico-químicos definen el tamaño y distribución de la pluma de contaminación en una zona. Todas las variables en su conjunto definen el tamaño y la distribución tridimensional del frente de contaminación en una zona específica.

La infiltración es el proceso de penetración del agua en el suelo. La velocidad a la cual el agua entra en el suelo es la velocidad de infiltración, la que depende del tipo de suelo; de la estructura del suelo, o grado de agregación; y del contenido de agua en el suelo (LOWERY et al., 1996).

El régimen de infiltración es sensible a condiciones cercanas a la superficie, y está sometido a un cambio significativo debido al uso del suelo, el manejo y el tiempo. Está afectada por el desarrollo de las raíces de las plantas, excavaciones de lombrices, agregación del suelo, y por un incremento general de la materia orgánica estable (USDA, 1999). La infiltración es rápida hacia grandes poros continuos en la superficie. En la Tabla N°2 son mostradas las velocidades de infiltración para grupos mayores de texturas considerando un suelo profundo con humedad, es decir una velocidad de infiltración estable.

**Tabla N°2. Velocidades Estables de Infiltración para Grupos Mayores de Textura de Suelo en Suelos Humectados en Profundidad**

Tipo de Suelo	Velocidad de Infiltración Estable [cm/min.]
Arenas	> 0,034
Suelos Arenosos y Limosos	0,017 - 0,034
Suelos Francos	0,0085 - 0,017
Suelos Arcillosos	0,0017 - 0,017
Suelos Arcillosos Sódicos	< 0,0017

Fuente: Tomado de HILLEL, 1982.

La infiltración decrece cuando el tamaño o cantidad de espacios poros son aminorados por condiciones tales como destrucción de la estructura, taponamiento de poros por partículas, o movimientos más lentos de aguas más profundas cuando llegan a subsuelos más densos (DONAHUE,1997), el transporte vertical de contaminantes en la zona no saturada se produce debido a la gravedad y a las fuerzas capilares. La textura, o porcentaje de arena, limo y arcilla, afecta el régimen de infiltración. Usualmente, suelos arenosos presentan regímenes de infiltración veloces, cuando los suelos son arenosos, limosos o una combinación de ellos, los derrames de hidrocarburos llegan directamente al acuífero (IMT, 2002). Algunos valores típicos para regímenes estables de infiltración, luego de un largo lapso de humectación continua, el régimen de infiltración se torna estable para grupos mayores de textura del suelo. Sin embargo, los valores de la Tabla N°2. pueden ser considerablemente mayores en suelos con buena agregación, o agrietados, y durante la etapa inicial de la humectación. Los valores pueden ser más bajos si existe encostramiento superficial (HILLEL,1982).

La Tabla N°3 muestra velocidades de infiltración, y las clases de infiltración pertinentes. Estas clases son las clases de permeabilidad históricamente usadas en el reconocimiento edafológico del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de la USDA<sup>2</sup>. Las clases son estimadas a partir de propiedades del suelo y se refieren a una velocidad de infiltración estable.

**Tabla N°3. Velocidades y Clases de Infiltración**

Clase de Infiltración	Velocidad de Infiltración [cm/min.]
Muy Rápido	> 0,847
Rápido	0,254 - 0,847
Moderado	0,0847 - 0,254
Lento	0,0253 - 0,0847
Muy Lento	0,0085 - 0,0253
Impermeable	< 0,0085

Fuente: USDA, 1999.

### 2.6.2 Etapas de un derrame

En un derrame de una sustancia en el suelo se observan tres etapas donde la velocidad de infiltración tiene un comportamiento predecible, estas son:

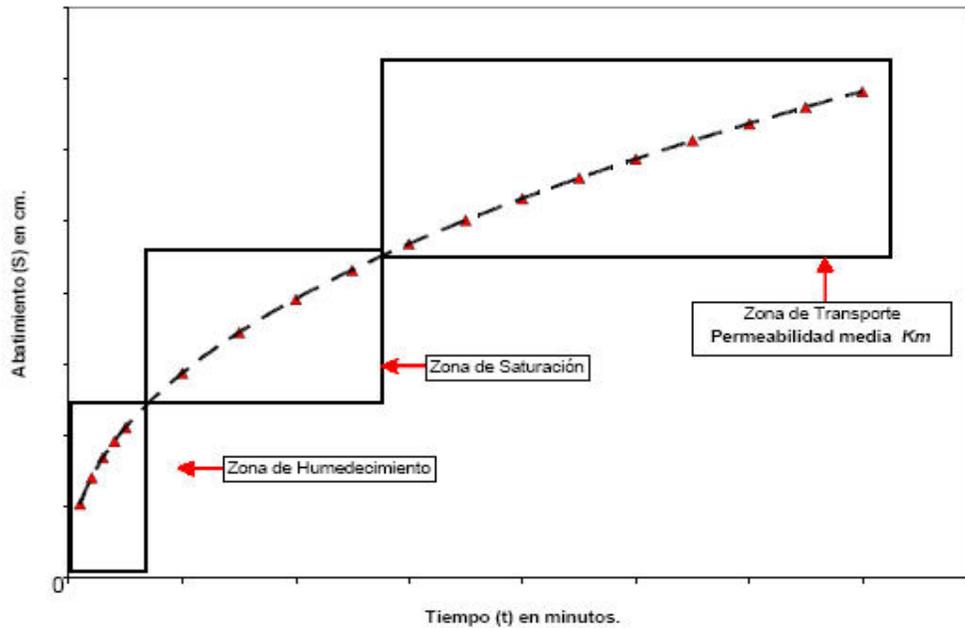
- **Etapa de Humedecimiento:** corresponde a la etapa en la que el suelo absorbe a gran velocidad el líquido, las partículas de suelo son humedecidas a gran velocidad.
- **Etapa de saturación:** el suelo satura sus vacíos con el líquido y se encuentra listo para iniciar el flujo establecido.

---

<sup>2</sup> United States Department of Agriculture.

- **Etapa de Transporte:** el fluido viaja libremente hasta donde está el frente húmedo, la velocidad promedio de esta etapa representa la permeabilidad media de un líquido en el suelo.

En la Figura N°6 se muestra la curva de abatimiento de la velocidad de infiltración por derrame, el eje X representa el tiempo y el eje y corresponde a la profundidad que alcanza la sustancia infiltrada.



**Figura N°6. Curva de Abatimiento Infiltración por Derrame**

### 2.6.3 Velocidad de Infiltración de un Derrame

Un suelo con un contenido inicial de agua en el suelo, al momento de un derrame, disminuye la capacidad del suelo de absorber agua adicional. Por esto la velocidad de infiltración es mayor cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Por otra parte, la velocidad de infiltración de una sustancia derramada sobre el suelo depende de la textura del suelo, considerando condiciones de impermeabilidad con limos de baja (Tabla N°4) y alta plasticidad (Tabla N°5), un estudio del IMT<sup>3</sup> para medir la velocidad de infiltración por derrame de diferentes sustancias en el suelo arrojó los siguientes resultados.

<sup>3</sup> Instituto Mexicano del Transporte.

**Tabla N°4. Velocidad de Infiltración en Suelo Tipo Limo de Baja Plasticidad**

Sustancia Derramada	Velocidad de Humedecimiento (Vh) [cm/min]	Velocidad de Saturación (Vs). [cm/min]	Velocidad de Transporte (Vt). [cm/min]
Gasolina	4.287	1.35	0.532
Agua Potable	2.8	0.874	0.408
Diesel	0.905	0.309	0.127
Ácido Sulfúrico	0.731	0.193	0.084

Fuente: IMT, 2002.

**Tabla N°5. Velocidad de Infiltración en Suelo Tipo Limo de Alta Plasticidad**

Sustancia Derramada	Velocidad de Humedecimiento (Vh) [cm/min]	Velocidad de Saturación (Vs). [cm/min]	Velocidad de Transporte (Vt). [cm/min]
Gasolina	5.356	2.534	1.3
Agua Potable	2.121	0.878	0.524
Diesel	2.165	0.773	0.361
Ácido Sulfúrico	0.772	0.186	0.058

Fuente: IMT, 2002.

La velocidad de transporte corresponde al valor de velocidad medio de infiltración de la sustancia derramada. De los resultados expuestos es posible observar que las velocidades de infiltración varían según las sustancias derramadas y la textura del suelo (grado de permeabilidad). La gasolina, mas volátil, tiene una velocidad de infiltración mayor que el agua, en tanto el diesel, mas denso, su velocidad de infiltración es mayor al agua. Comparando los valores de velocidad de transporte con la clasificación de las clases y velocidades de infiltración de la Tabla N°3, tenemos que la gasolina posee infiltración muy rápida, en tanto el agua potable y el diesel una clase rápida y el ácido sulfúrico muy lenta.

Los análisis de riesgo en estanque de almacenamiento de combustible consideran que en un derrame de gasolina el 30% es evaporado, siendo esta la fracción liviana de la mezcla, este valor corresponde a un promedio estimado, debido a que la tasa de evaporación es proporcional al área del derrame. (PARES Y ÁLVAREZ, 2004). En el caso de la gasolina que infiltra en el suelo hasta el nivel freático, donde están las aguas subterráneas, un litro de gasolina puede llegar a contaminar un metro cúbico de agua. (IMT, 2002). Los compuestos de la gasolina como el benceno, tolueno y xileno, se degradan totalmente por la acción de las colonias de bacterias y microbios (VELÁSQUEZ, 1998). Las poblaciones de bacterias y microbios encabezan la degradación de hidrocarburo presente en el agua subterránea, así como la fase de vapor alojada en la zona vadosa, el cual puede ser degradado a una velocidad mayor a la que se pueda esparcir hacia la superficie.

#### 2.6.4 Densidad de una Sustancia Derramada

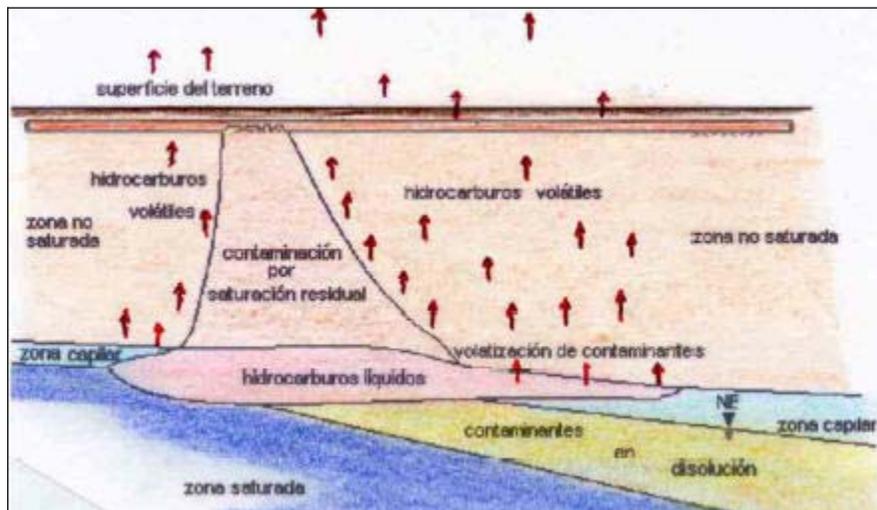
De acuerdo a su densidad, los compuestos orgánicos se clasifican en dos grupos según su densidad respecto del agua:

- *Ligeros*, tienen una densidad menor a la del agua.
- *Densos*, poseen una densidad mayor a la del agua.

La densidad determina los procesos de transporte en el acuífero, los compuestos orgánicos ligeros tienden a formar una capa en forma de nata en el nivel freático y se mueven horizontalmente en la dirección del flujo del agua subterránea, tal y como lo hacen las gasolinas, aceites y el petróleo crudo; en cambio los densos migran hacia la base del acuífero creando una columna a partir de la cual pueden viajar en la dirección del flujo de agua subterránea contaminando el acuífero, sus representantes son los Bifenilos Policlorados (PCBs).

#### 2.6.5 Modelo Conceptual de un Derrame de Hidrocarburos

Para formarse el modelo conceptual de un derrame, su migración y dispersión, en el suelo y la atmósfera; se presenta el análisis del esquema que aparece en la Figura N°7.

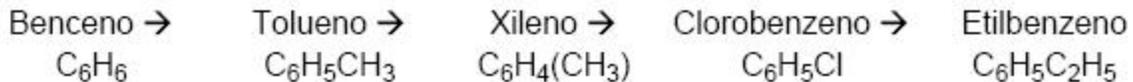


**Figura N°7. Modelo Conceptual de un Derrame en Suelo y Atmósfera**

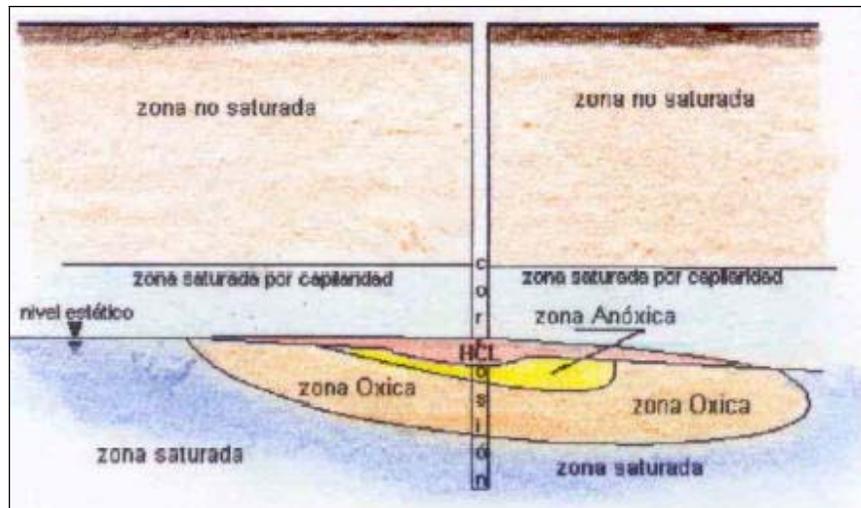
Suponiendo que una tubería de conducción de gasolina sufrió corrosión debido a la presencia de sulfatos en el sitio donde estaba alojada, a través del tiempo se da la fuga y los hidrocarburos migran verticalmente por efecto de la gravedad hasta el nivel estático.

Existe la zona de agua capilar donde el hidrocarburo, por diferencia de densidad y su incapacidad para desalojar el agua intersticial, da origen a los procesos de dispersión y difusión; la mayor parte de los hidrocarburos se acumulan directamente sobre el nivel del agua y bajo la fuga. Un pequeño volumen de contaminantes viaja disuelto en el agua a través de la zona vadosa y por debajo de la fuga queda un volumen con la denominada "contaminación residual", que se define como aquella sustancia que queda adherida a los granos de suelo de manera estable y que no puede ser removida por ningún procedimiento físico o químico.

Los hidrocarburos, cualesquiera que sean, comienzan a experimentar transformaciones químicas en sus cadenas por los procesos de oxidación (oxigenación) y reducción (hidrogenación). El proceso de reducción produce hidrocarburos aromáticos de la forma:



El ambiente REDOX mostrado en Figura N°8 se aprecia dos importantes regiones que son generadas entorno a un pozo profundo: la Zona Óxica y la Zona Anóxica.



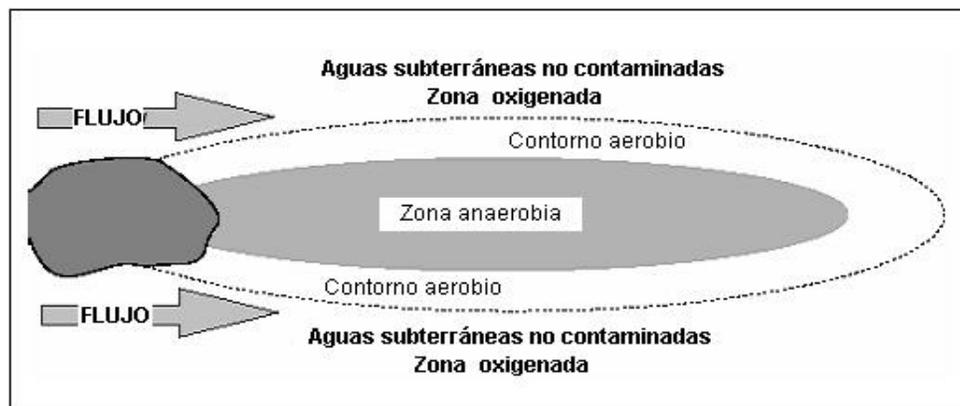
**Figura N°8. Proceso REDOX en el Entorno de un Pozo**

La Zona Óxica se divide en dos porciones: "contra" y "hacia" el gradiente hidráulico del nivel del agua. En la primera se produce dióxido de carbono como resultado de las actividades metabólicas de respiración de los microorganismos presentes, disolución de carbonatos y aluminosilicatos; en la segunda porción aparece la precipitación de carbonatos, silicatos y óxido de hierro.

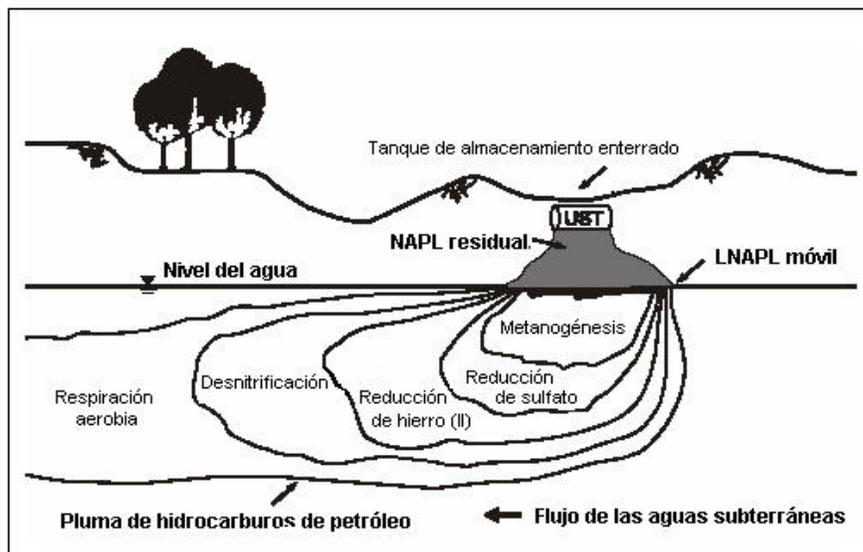
En la Zona Anóxica existe la disolución del cuarzo, movilización del hierro y manganeso, así como el blanqueamiento por precipitación de carbonatos. Conforme viaja el hidrocarburo a través de una región desplaza el aire pero no el agua, dejando una contaminación residual por debajo del núcleo del derrame (ver Figura N°7), el porcentaje del hidrocarburo que permanece inmóvil varía entre 7% y 20% dependiendo de la naturaleza química del medio. Si la cantidad de hidrocarburo derramada en el suelo es menor a la requerida para llenar los espacios de los poros, juntas o fracturas interconectadas, entonces el compuesto nunca llegará al nivel estático permaneciendo como un volumen colgante arriba del techo del acuífero.

### 2.6.6 Atenuación Natural de una Pluma de Hidrocarburos

Los procesos de biodegradación aerobia consumen rápidamente el  $O_2$  disponible en el medio, llevando la zona del corazón de una pluma de hidrocarburos a condiciones anaerobias. Proceso detallado en las Figura N°9 y Figura N°10, donde la zona anaerobia es más extensa que la zona aerobia debido al rápido agotamiento del  $O_2$  (único aceptor de electrones aerobio), la baja tasa de reposición de éste, y a la abundancia de aceptores de electrones anaerobios como el  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , Fe (III), Mn (IV), y  $CO_2$ . Por ello, la biodegradación anaerobia es comúnmente el proceso dominante.



**Figura N°9. Vista en planta de la atenuación natural de una pluma de hidrocarburos**



**Figura N°10. Vista frontal de la atenuación natural de una pluma de hidrocarburos**

En los procesos aerobios como para los anaerobios, la tasa de degradación de los hidrocarburos de petróleo estará limitada por la tasa de abastecimiento de los aceptores de electrones, y no por la tasa de utilización de éstos por los microorganismos (AZADPOUR-KEELY, 1999).

La extensión de la pluma de contaminación de un hidrocarburo es mayor cuando el nivel estático se encuentra cerca de la superficie, esto es que la capa de la zona vadosa es delgada; el volumen de adsorción disminuye y la retención decrece. Estudios muestran que la retención varía entre 7% y 20% según las pruebas realizadas en modelos a escala con diferentes suelos y compuestos orgánicos (VELÁSQUEZ, 1998). Un inconveniente de las zonas vadosas espesa se da por el tiempo que tardan en llegar los vapores de hidrocarburos a la superficie procedentes de niveles estáticos muy profundos y su concentración puede estar por debajo del nivel límite de los aparatos de medición.

## **2.7 Contaminación del Agua**

La contaminación de las aguas por hidrocarburos en los sistemas de almacenamiento, en las fuentes de abastecimiento subterráneas y superficiales, así como en otros cuerpos de agua es un hecho que ocurre con relativa frecuencia. Este tipo de contaminación produce un cambio en las características organolépticas del agua que induce al rechazo de los consumidores, y su ingestión representa un riesgo para la salud; asimismo, el ecosistema puede sufrir afectaciones debidas al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes. (Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 1999).



En un evento de vertido en el medio acuático, los componentes de los hidrocarburos pueden tomar varios caminos, incluyendo aquellos que sobrenadan y eventualmente forman emulsiones, mientras otros, especialmente los hidrocarburos aromáticos, pueden ser solubles y disolverse en el agua y quedar biodisponibles con mayor facilidad para los seres vivos. La solubilidad es importante por el volumen que se puede incorporar al agua de mar, y además aquella fracción no soluble puede formar emulsiones bastantes estables, las que se mantienen varios días hasta que se degrada el hidrocarburo, pero mientras esté presente, la foto-oxidación solar puede generar sustancias mucho más negativas (tóxicas) para la biota Según (SEOÁNEZ, 2000). Los compuestos oxidados por esta vía, como cetonas alifáticas, aromáticas, aldehídos, ácidos carboxílicos, ésteres, contribuyen a la toxicidad sobre la biota del medio acuático (LEE, 2003).

Las contaminaciones pueden presentarse de 2 formas generales: puntuales y sistemáticas. Las primeras ocurren de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. Las segundas son habituales y caracterizan a aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica que en ellas se realiza. Por otro lado, las fuentes de la contaminación pueden ser simples o múltiples, y verter al medio uno o varios componentes del petróleo. (Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 1999).

El estudio de este tipo de contaminaciones puede alcanzar una gran complejidad, determinada ésta por la naturaleza de la contaminación, los métodos de análisis empleados y la manera en que se proceda en la ejecución del estudio; la integración de estos factores determina su alcance, la eficiencia en el uso de los recursos y la ejecución de una intervención adecuada. (Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 1999).

Los mecanismos de transporte de contaminantes en aguas se basan en la interacción entre los tres medios: aire, agua y suelo. La contaminación de uno de los medios suele resultar en la contaminación subsecuente los otros. Por ejemplo, las aguas subterráneas pueden surgir como aguas superficiales en forma de manantiales o descargarse por infiltración en ríos o lagos. También los contaminantes transportados por el viento pueden depositarse en las aguas superficiales y luego ser transportados a otra matriz que puede ser suelo, aire, tejidos vegetales e incluso fauna. Igualmente, los contaminantes volátiles pueden desprenderse de las aguas subterráneas y difundirse a través del suelo, alcanzando frecuentemente la superficie.

Las aguas superficiales pueden constituir un mecanismo de transporte rápido y directo para las sustancias químicas en disolución o en suspensión (partículas). En contraste con las aguas subterráneas, las aguas superficiales pueden remover la tierra y movilizar contaminantes. También los lixiviados de un vertedero pueden alcanzar por escorrentía las aguas superficiales. Una vez



que han sido arrastrados por las aguas superficiales, los contaminantes pueden depositarse sobre otros suelos o permanecer en el agua, yendo a parar a ríos o lagos. Los contaminantes pueden ser transportados a través del aire si están expuestos a y son afectados por corrientes de aire. Este transporte se puede producir en fase de vapor, si la presión de vapor de los contaminantes favorece su volatilización, en forma de polvo, si se trata de contaminantes sólidos pulverulentos, o adherido a partículas de suelo, si los contaminantes son líquidos. La maquinaria pesada, los automóviles e incluso el tráfico a pie en una zona de residuos o suelos contaminados expuestos pueden levantar polvo.

Los contaminantes pueden alcanzar las aguas subterráneas en forma disuelta, por infiltración directa de aguas superficiales y disolución/lixiviación, o bien como un líquido independiente, si se encuentran en este estado. Cuando alcanzan el agua subterránea los contaminantes que puedan disolverse en ella se moverán con ella. Si hay una fuente continua de contaminación entrando en una masa de agua subterránea que se mueve, se puede formar un volumen de agua contaminada que se denomina "pluma". Una combinación de una masa de agua subterránea en movimiento y de una fuente continua de contaminación puede, por tanto, contaminar grandes volúmenes de agua subterránea. Algunas plumas de espacios por largo tiempo contaminados pueden tener varios kilómetros de largo.

Algunas sustancias peligrosas se disuelven muy lentamente en el agua, como es el caso de muchos compuestos orgánicos, entre ellos los hidrocarburos pesados. Cuando estas sustancias se infiltran en el suelo hasta las aguas subterráneas, más rápido de lo que pueden disolverse, una parte permanecerá en forma líquida. Si el líquido es menos denso que el agua, flotará sobre la superficie del nivel freático, como el aceite en el agua. Si el líquido es más denso que el agua, se infiltrará acumulándose en el fondo del acuífero. Esta acumulación continuará contaminando el acuífero, según se va disolviendo lentamente y va siendo transportado por las aguas subterráneas en movimiento. Según el líquido fluye hacia abajo a través del acuífero, pequeñas gotas del mismo pueden quedar atrapadas en los espacios entre las partículas de suelo.

Las consecuencias de la contaminación de las aguas sobre el abastecimiento público (salud, costo), su uso agrícola (producción, calidad) e industrial (costo), así como sus efectos ambientales, pueden llegar a tener efectos negativos de gran magnitud cuando no se realizan los controles y monitoreos pertinentes sobre las eventuales fuentes contaminantes.

## **2.8 Contaminación en Sedimentos**

En estricto rigor los sedimentos son las partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de las rocas, por precipitación química de las soluciones acuosas o por secreciones de organismos, transportadas por el agua o el viento (TARBUCK, 1999). Esta combinación de elementos implica un tiempo geológico que muchas veces no es considerado para efectos de muestro en esta matriz, simplificando el concepto sedimento como "Suelos, arenas, y minerales lavados desde el suelo hacia la tierra generalmente después de la lluvia".

Al igual que sucede con el suelo, los hidrocarburos más pesados procedentes de las superficies acuáticas quedan adsorbidas y acumuladas en los sedimentos fluviales y marinos. Los procesos de biodegradación que pueden sufrir estos contaminantes son muy lentos y algunos investigadores sostienen que simplemente no actúan sobre ellos estos procesos cuando se depositan en los sedimentos debido a sus elevados tiempos de vida media, que están relacionados con el valor del peso molecular, ni procesos de pérdida por volatilización, a causa de las bajas temperaturas a las que están sometidos los sedimentos.

## **2.9 Contaminación de la Fauna**

La fauna terrestre se supone en general poco afectada por los derrames o contaminación por hidrocarburos, en virtud a su capacidad de movilidad. Por el contrario, es la avifauna junto con las especies acuáticas la más afectada en un derrame. No hay estudios que relacionen en el tiempo situaciones de contaminación de suelos con sus efectos sobre la fauna de ese territorio. Se deberá tener en cuenta en todo caso la posible cercanía de poblaciones animales a sectores en los cuales se produzca un derrame o contaminación para tomar las correspondientes medidas preventivas, con especial preocupación de las especies endémicas o que se encuentren en algún grado de preservación.

El impacto ambiental de un derrame de hidrocarburos sobre la flora y vegetación esta compuesto por:

- Alteración de diversidad, medida en la pérdida de individuos de las especies que habitan el área afectada por un derrame .
- Alteración de hábitat, como resultado de la variación de las condiciones naturales de un sitio (lago, tranque) u área determinada (quebradas).
- Alteración de la cadena trófica y sus relaciones ecológicas por perdida de especies, como consumidores primarios secundarios.

## **2.10 Contaminación de la Flora y Vegetación**

La importancia de la contaminación de vegetales, está dada por la introducción de estos en la cadena alimentaria, ya sea por consumo humano directo o por consumo de animales que se alimentan de vegetales contaminados. La gravedad de esta contaminación dependerá del nivel de contaminación, extensión de ella y del tipo de contaminante.

El impacto ambiental de un derrame de hidrocarburos sobre la flora y vegetación esta compuesto por:

- Alteración de las coberturas vegetacionales (abundancia), que se produce directamente al remover la vegetación afectada por el vertido e indirectamente por el despeje de áreas y acceso de trabajo en la operación de limpieza del hidrocarburo derramado.
- Alteración de la composición florística (riqueza), con especial significación de especies con algún grado de conservación.
- Alteración de la cadena trófica por contaminación de la fuentes de alimentos de los consumidores primarios o bioacumulación o biomagnificación en consumidores secundarios.
- Daño a los sistemas productivos agrícolas como cultivos hortofrutícolas y/o zonas de pastoreo animal.

## **2.11 Riesgo de Sitios Contaminados por Hidrocarburos**

En el sentido clásico, el riesgo se define como la probabilidad de sufrir un daño. Si bien los términos riesgo y peligro frecuentemente se confunden, este último es un término descriptivo que se refiere a la capacidad intrínseca de causar daño. Es decir, el término riesgo describe la probabilidad de que en una situación dada, una sustancia produzca un daño.

En su publicación "El Riesgo Aceptable", W. W. Lawrence describe la seguridad como "Evaluación del grado de aceptabilidad de un riesgo", en tanto que define riesgo como "La medida de la probabilidad y gravedad del daño, que podría infligirse a la salud del hombre", conllevando a la conclusión: "Es seguro todo aquello cuyos riesgos se consideran aceptables" (LAWRENCE, 1976).

En el campo ambiental, el concepto de análisis de riesgo ha surgido hace menos de una década, como respuesta a la necesidad de priorizar la asignación de recursos, cuando los mismos no son ilimitados. De éste modo, según la magnitud de una situación ambiental reconocida, se establecerá un nivel de riesgo consecuente que permita jerarquizar la prioridad de atención del sitio.



El término "Situación Ambiental Reconocida" se refiere a la presencia posible o real de cualquier sustancia peligrosa o derivado de petróleo en una propiedad, bajo condiciones que indiquen una pérdida presente o pasada, o un riesgo inminente de pérdida de cualquier sustancia peligrosa o derivado del petróleo hacia las estructuras de la propiedad o hacia el suelo o agua subterránea o superficial de la propiedad (ASTM, 2000).

Para que exista un riesgo es necesario estar expuesto a una sustancia y que esta exposición represente un peligro para la salud. Es decir, los tres componentes del riesgo: una fuente contaminante, receptores y vías de exposición (transporte), deben estar presentes para que dicho riesgo exista (RHIM, 2005).

El riesgo se basa en tres pilares, sin alguno de los cuales cesa su existencia. El riesgo puede eliminarse tanto por la eliminación de la fuente (concepción clásica), como por la eliminación del receptor, o la eliminación de la vía de transporte. Los últimos dos conceptos a menudo suscitan dudas, debido al planteo que el alejamiento del receptor o eliminación de la vía de transporte no soluciona la causa de origen, si bien éstas acciones sirven para la mitigación de un impacto y para la consideración de acciones correctivas inmediatas. (LAWRENCE, 1976)

Por ejemplo, ante la liberación de un gas tóxico en una planta, se puede evacuar a los obreros (receptores) para evitar el riesgo, o se pueden suministrar equipos de respiración autónoma o máscaras de gas (eliminando la vía de transporte principal: la aérea). Sin embargo, la fuente contaminante no ha sido controlada y son necesarias medidas de respuesta de emergencia y acciones correctivas, a fin de eliminar la fuente causante del riesgo.

### **2.12 Rutas de Exposición**

El concepto de ruta de exposición se refiere al camino que sigue el contaminante desde su fuente hasta el receptor. Toda ruta comprende por tanto estos componentes:

- **Fuente de Contaminación.** Fuente que emite uno o varios contaminantes al ambiente.
- **Medios de Transporte Ambiental.** Medio responsable de transportar los contaminantes desde la fuente hasta el punto de exposición, tales como: aire, agua, suelo, polvo, alimento, etc..
- **Punto de Exposición.** Lugar donde la población o los receptores biológicos de un ecosistema entran en contacto con los contaminantes (pozos profundos, área de recreación infantil, grifos caseros, humedales, etc.).

- **Vías de Exposición.** Inhalación (aire, partículas finas), ingesta (agua, tierra, alimento, polvo) y absorción dérmica, etc.
- **Población Receptora/ Ecosistemas.** Personas o receptores ecológicos expuestos a los contaminantes. La población receptora es entonces la población expuesta (OPS, 1999).

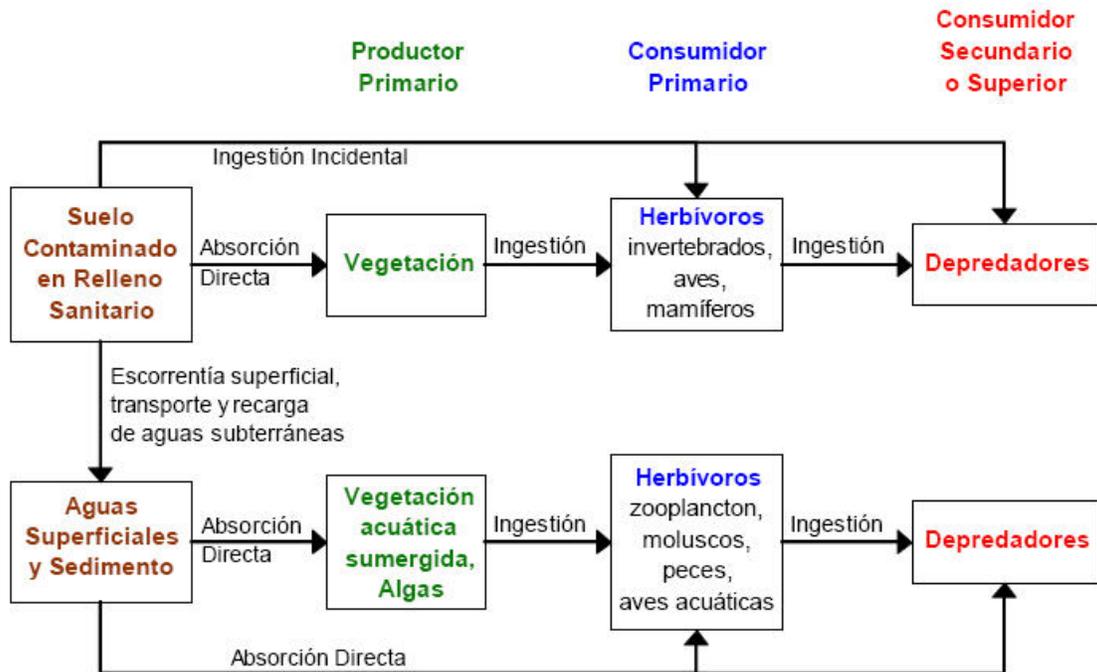
En la Tabla N°6 se muestran algunos ejemplos de relación entre tipos de fuentes contaminantes y sus vías de exposición que pueden afectar a los receptores.

**Tabla N°6. Fuentes y Vías de Exposición de Contaminantes**

Tipo de Fuente	Vía de Exposición
Suelos Superficiales	Inhalación de Volátiles y Particulados Contacto Dérmico con el Suelo Ingesta de Suelo y Polvo Lixiviado a Agua Subsuperficial/Ingesta
Suelos Subsuperficiales	Inhalación de Volátiles Lixiviado a Agua Subsuperficial/Ingesta
Agua Subterránea	Ingesta de Agua Inhalación de Volátiles

Fuente: LAWRENCE, 1976.

La construcción de diagramas de transporte de contaminantes en las matrices ambientales, vías de exposición y sus receptores, como el mostrado en la Figura N°11, son de utilidad para efectuar un análisis cualitativo simplificado del riesgo para los posibles receptores en un sitio contaminado u afectado por un derrame.



**Figura N°11. Modelo Conceptual Vías de Transporte de Contaminantes de un Relleno Sanitario**

En general la evaluación de exposición en sitios contaminados debe realizarse en cinco pasos:

- Realizar un caracterización del sitio mediante la descripción de su naturaleza y de sus alrededores. También se debe describir el uso actual de la tierra, revisar contaminantes potenciales e identificar las rutas de migración o transporte hasta el punto de liberación.
- Identificar las vías de exposición completas que crean la ruta de exposición para la población o receptores ecológicos.
- Identificar y caracterizar los receptores, mediante la descripción de la población o receptores ecológicos de los alrededores en riesgo de exposición.
- Determinar las concentraciones de contaminantes en las matrices ambientales, mediante datos disponibles o la realización de muestreos, dentro de los límites del sitio, la ruta o el punto de exposición.
- Realizar una evaluación de exposición mediante los datos de las concentraciones de los contaminantes. La comparación de los valores obtenidos con normativa nacional o como referencia a nivel internacional.

### **2.13 Evaluación de Riesgo**

El objetivo de realizar una evaluación del riesgo de un sitio contaminado con hidrocarburos o sus derivados, es determinar los riesgos potenciales y reales de los efectos negativos sobre la salud de la población o en los ecosistemas, sobre las matrices ambientales suelo, aguas superficiales y subterráneas, sedimentos, flora y vegetación y fauna. La evaluación del riesgo permite la toma de decisiones de intervenir en un sitio contaminado.

Para conocer el riesgo del sitio contaminado se deberá recolectar y generar la información asociada a los factores básicos del riesgo:

- Fuente del Contaminante
- Vías de Exposición
- Receptores

La evaluación de riesgos en un sitio contaminado esta basada en la conexión existente entre la fuente del contaminante, las vías de exposición y los potenciales receptores. Constituye esta una interpretación de la manera en que un contaminante puede migrar (movilizarse), desde una fuente dada hasta un determinado receptor. En esta evaluación, se considera la posibilidad de migración a través de las diferentes matrices ambientales, tales como el suelo o aguas superficiales, así como el modo en el que los distintos receptores pueden quedar expuestos a la contaminación. Para tal efecto, son consideradas las características específicas del sitio contaminado objeto de la evaluación del riesgo.

Es necesario aclarar en torno a los derrames de hidrocarburos o derivados, que su peligrosidad esta asociada a una serie de factores como el tipo de contaminante, volumen derramado, características del terreno, vías de exposición, etc. Por ende los espacios contaminados no siempre constituyen una grave amenaza para la salud de la población y el medio biótico. En cada caso es necesario identificar los peligros de los contaminantes existentes y establecer los riesgos asociados al sitio contaminado.

Si la evaluación de riesgo de un sitio contaminado determinara los riesgos existentes como no tolerables, entonces dicho sitio debe ser intervenido para reducir los niveles de las sustancias tóxicas hasta concentraciones que no impliquen un riesgo para la salud de la población o el medio biótico involucrado. Las medidas de intervención van desde un aislamiento y/o clausura del sitio contaminado, mientras sean realizadas las obras de remediación o restauración ambiental pertinentes.

La evaluación del riesgo esta compuesta por dos partes o etapas complementarias. Una evaluación cualitativa o descriptiva, y una evaluación cuantitativa o analítica.



### **2.13.1 Evaluación Cualitativa o Descriptiva**

La primera actuación o respuesta frente a un derrame de una sustancia química por parte de la autoridad es constituirse en el sitio del suceso, en el menor lapso de tiempo posible, para constatar en terreno el alcance del vertimiento y tomar las medidas preventivas y correctivas necesarias para evitar un daño a la salud de la población y del medio biótico, según sea su ámbito de intervención. Para ello, deberá realizar una evaluación cualitativa del riesgo presente en el sitio del suceso a través de un formato que registre la primera información sobre el contaminante, sitio o terreno, vías de exposición y receptores involucrados. De esta forma, contar con información base para respaldar la toma de decisiones respecto las técnicas de muestreo a utilizar según las matrices ambientales afectadas y los análisis químicos a solicitar.

En forma complementaria se deberá revisar bibliografía específica para obtener información acerca de características de interés del o los contaminantes, tales como peligrosidad, persistencia, movilidad y valores de intervención de referencia.

El alcance del formato de la evaluación cualitativa contempla los siguientes puntos a desarrollar, los que deberán ir adecuándose a las necesidades y criterios del evaluador:

- Información del Sitio o terreno
- Información de la fuente contaminante
- Puntos y vías de exposición del contaminante
- Información sobre Población afectada
- Información sobre el medio biótico afectado
- Antecedentes bibliográficos del sitio y el contaminante

El desglose de los puntos anteriormente señalados contempla recolección de información base, señalada a continuación.

#### **2.13.1.1 Información del Sitio o terreno**

Nombre del sitio: Nombre oficial y nombre común dado por los habitantes del sector.

Ubicación exacta: Dirección, acceso al sitio, posición geográfica (UTM).

Límites: Identificar tamaño del sitio, forma e información de uso terrenos limítrofes.

Registros visuales: Fotografías y/o cartografía topográfica IGM asociada.

Uso del sitio: actividades desarrolladas permanentes o esporádicas.

Información topográfica del sitio.

Datos meteorológicos relevantes: Temperatura, velocidad y dirección de vientos, precipitaciones.

Tipo de suelo: profundidad, porosidad, permeabilidad.



### 2.13.1.2 Información de la fuente contaminante

Para la mayoría de los sitios, es poco probable que exista este tipo de información. Sin embargo, en caso de que la hubiere, es de suma importancia que esta información incluya datos que permitan establecer la calidad y, por ende, la confiabilidad de la misma. En caso de no contarse con esta información, el evaluador deberá anotarlo en su informe.

Describir origen contaminación: Natural o antropogénica.

Tipo de Contaminantes: Identificar la sustancia química derramada.

Volumen del Contaminante: Estimar el volumen derramado.

Datos del contaminante: Solicitar Hoja de Seguridad / Ficha técnica.

Fuente del Derrame: Fuente fija o móvil.

Causante del Derrame: Persona Natural o Jurídica.

Permiso Sanitario: Esta autorizado para manipular sustancias o residuos peligrosos.

### 2.13.1.3 Puntos y vías de exposición del contaminante

Vías de exposición: medio a través del cual el contaminante es movilizado.

Puntos de exposición: lugares donde la población entra en contacto con los contaminantes.

### 2.13.1.4 Información sobre Población afectada

Presencia población cercana.

Distancia población mas cercana.

Población es afectada por el derrame.

### 2.13.1.5 Información sobre el medio biótico afectado

Aguas Superficiales: Presencia, clasificación, dirección, fuente captación de agua para consumo humano, riego, recreación, etc.

Aguas Subterráneas: Presencia, dirección, profundidad, fuente captación de agua para consumo humano y/o riego.

Flora y Vegetación: Presencia, Tipo, Cantidad, Destino, Evidencia de Contaminación, Estado de Conservación.

Fauna: Presencia, Cantidad, Evidencia de Contaminación, Estado de Conservación.

### 2.13.1.6 Antecedentes bibliográficos del sitio y el contaminante

Contingencias Ambientales: Registro de situaciones de derrames anteriores.

Peligrosidad: Toxicidad, reactividad, inflamabilidad.



Persistencia: compuesto persistente, persistencia biodegradación.

Movilidad: Grado de movilidad.

Valor de Intervención: Valor de Referencia normas internacionales (por ejemplo Holanda, México, EE.UU.).

### **2.13.2 Evaluación Cuantitativa o Analítica.**

En el proceso de evaluación cuantitativa o analítica son determinadas las técnicas de muestreo frente a un derrame de hidrocarburos y derivados, en las diferentes matrices ambientales, los equipos y materiales necesarios, medios de preservación de las muestras y los análisis químicos a solicitar al laboratorio para la sustancia derramada.

### **2.14 Riesgos para la Salud Humana**

Las diferentes sustancias químicas, que pueden llegar desde el medio ambiente al cuerpo humano, tienen naturaleza química diferente y en base a ella influyen el cuadro clínico, siendo las de tipo liposoluble más activas, dada la constitución lipídica de la membrana de las células. Otros factores como la dosis, la concentración y ritmo de incorporación al cuerpo humano, junto con los factores del individuo como tipo, nivel de salud, edad, tolerancia, susceptibilidad, etc., pueden definir el por qué de la gravedad y evolución clínica, o respuesta al tratamiento en cada caso.

Los destilados del petróleo tienen efectos tóxicos mucho mayores cuando son aspirados al árbol traqueobronquial, que cuando simplemente se han ingerido. Los productos destilados del petróleo, como la gasolina, son solventes de las grasas y alteran la función de los nervios produciendo depresión, coma y en ocasiones convulsiones. La aspiración directa de estas sustancias a los pulmones durante su ingestión parece ser la causa principal de irritación pulmonar. Los efectos de la exposición a cualquier sustancia tóxica dependen de la dosis, duración y de la manera como la persona se exponga y de las características propias del individuo.

Los hidrocarburos representan una gran variedad de compuestos que tienen en su estructura sólo carbono e hidrógeno. Se incluyen dentro de un grupo más general como son los disolventes orgánicos, sustancias que a temperatura ambiente se encuentran en estado líquido y pueden desprender vapores, por lo que la vía de intoxicación más frecuente es la inhalatoria aunque también se puede producir por vía digestiva y cutánea. Estos vapores son absorbidos rápidamente a través de los pulmones, cruzan fácilmente las membranas celulares y por su gran solubilidad en grasas, alcanzan concentraciones altas en el sistema nervioso central (SÁNCHEZ, 2006).

Algunos de los compuestos de los hidrocarburos totales de petróleo pueden afectar al sistema nervioso. Un compuesto puede producir dolores de cabeza y mareo en altos niveles en el aire. Otro compuesto puede causar una afección a los nervios llamada "neuropatía periferal," que consiste en adormecimiento de los pies y las piernas. Otros compuestos de los hidrocarburos totales de petróleo pueden producir efectos a la sangre, al sistema inmunitario, los pulmones, la piel y los ojos (ASTDR, 1998).

En la Tabla N°7 son resumido los peligros y/o síntomas agudos por tipo de exposición a hidrocarburos (inhalación, piel, ojos, dérmica), así como las medidas de primeros auxilios de las personas afectadas.

**Tabla N°7. Tipos de Exposición en la Población por Contaminación de Hidrocarburos**

TIPOS DE EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACION	Vértigo, somnolencia, vómitos, pérdida del conocimiento.	Acercar a la persona a un ambiente donde pueda respirar aire limpio, requiere reposo.
PIEL	Absorción, Enrojecimiento, quemaduras cutáneas	Quitar las ropas contaminadas.  Aclarar y lavar la piel con abundante agua y jabón
OJOS	Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacer-se con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
INGESTION	Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, náuseas, shock o colapso (para mayor información, véase Inhalación).	Enjuagar la boca y proporcionar asistencia médica.

Fuente: Tomado de ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.,2004.

## **2.15 Riesgos para los ecosistemas**

Los efectos tóxicos de los hidrocarburos en el ambiente dependerán de:

- La cantidad y composición del petróleo
- La frecuencia y tiempo de exposición
- El estado físico del derrame
- Las características del sitio donde sucedió el derrame
- Variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno
- El uso de dispersantes químicos (está restringido su uso)
- La sensibilidad de la biota específica del ecosistema impactado (SEMARNAP, 1996)

Los riesgos en los ecosistemas se resumen en la afectación de la calidad del aire, suelos y aguas subterráneas y superficiales, y pérdida de flora y fauna.

### **2.15.1 Afectación en la calidad del aire**

Este impacto se genera principalmente por la operación y tránsito vehicular que diariamente se desplaza al interior de la estación de servicio, y zonas cercanas, así mismo se presenta contaminación por emisión de gases generados por la combustión de hidrocarburos en la operación los vehículos, los gases generados por la combustión de hidrocarburos, corresponden a óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono y ozono.

### **2.15.2 Afectación de suelos y aguas subterráneas y superficiales**

Un derrame de hidrocarburos altera la calidad física, química y bacteriológica del agua, los cuales inducen la presencia de contaminantes y alta carga orgánica en el medio. El derrame hacia cuerpos de agua no solo representa un problema para las corrientes naturales, sino que puede traer problemas para los cuerpos de agua y alcantarillado de la ciudad si no se toman medidas correctivas y preventivas a tiempo. Es un impacto de naturaleza negativa con vulnerabilidad severa.

### **2.15.3 Pérdida de la flora y fauna**

Se refleja en la remoción gradual y acumulada que el hombre hace actualmente sobre el componente biótico, en especial el relacionado con la cobertura vegetal, causando la pérdida de la misma y daños de los individuos arbóreos acabando igualmente con la avifauna y mesofauna presente en el lugar (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004).

## 2.16 Calificación del Impacto Ambiental

En la Figura N°12 se muestra una matriz de evaluación del impacto ambiental utilizada por la ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C para evaluar la importancia o vulnerabilidad de los impactos ambientales causados por incidentes por derrame y/o fuga de hidrocarburos.

<b>NATURALEZA</b>		<b>INTENSIDAD (IN)</b> (Grado de Destrucción)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy Alta	8
		Total	12
<b>EXTENSIÓN (EX)</b> (Área de Influencia)		<b>MOMENTO (MO)</b> (Plazo de Manifestación)	
Puntal	1	Largo Plazo (> 5 años)	1
Parcial	2	Mediano Plazo (1-5 años)	2
Extenso	4	Inmediato (< 1 año)	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		
<b>PERSISTENCIA (PE)</b> (Permanencia del Efecto)		<b>REVERSIBILIDAD (RV)</b>	
Fugaz (< 1 año)	1	Reversible	1
Temporal (1-10 años)	2	Irreversible	4
Permanente (> 10 años)	4		
<b>SINERGIA (SI)</b> (Regularidad de la Manifestación)		<b>ACUMULACION (AC)</b> (Incremento Progresivo)	
Sin Sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy Sinérgico	4		
<b>EFEECTO (EF)</b> (Relación Causa – Efecto)		<b>PERIODICIDAD (PR)</b> (Regularidad de la Manifestación)	
Indirecto	1	Irregular, discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
<b>RECUPERABILIDAD (MC)</b> (Reconstrucción por Medios Humanos)		<b>IMPORTANCIA (I)</b>	
Inmediata	1	$I = \pm (3IN+2EX+MO+PE+RV+SI-AC+EF+PR+MC)$	
Mediano plazo	2		
Largo plazo	4		
Irrecuperable	8		

**Figura N°12. Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental**

Sobre la base de los criterios anteriormente definidos, se valoró la importancia o grado de vulnerabilidad de cada impacto ambiental, de acuerdo a los siguientes rangos de vulnerabilidad:

- Vulnerabilidad Irrelevante, impactos con valores de importancia inferiores a 25.
- Vulnerabilidad moderada, impactos con valores de importancia entre 25 y 50.
- Vulnerabilidad Severa, impactos con valores de importancia entre 51 y 75.
- Vulnerabilidad Crítica, impactos con valores superiores a 75.



## 2.17 Referencias Bibliográficas

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004. *Protocolo Distrital de Primera Respuesta a Incidentes por Derrame y/o Fuga de Hidrocarburos*. Colombia, Comité Operativo Distrital De Prevención Y Atención De Emergencias, Bogotá D.C., 21-27P.

ASTM, 2000. ASTM-E-1527-00 "Standard Practices for Environmental Site Assessments: Phase 1 Environmental Site Assessment Process". West Conshohocken, PA, E.E.U.U., American Society for Testing and Materials.

ASTDR, 1998. *Reseña Toxicológica de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)*. Atlanta, EE.UU., Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.

AZADPOUR-KEELY, A., RUSELL, H.H. y SEWELL, G.W.. 1999. *Microbial Processes Affecting Monitored Natural Attenuation of Contaminants in the Subsurface*, EPA/540/S-99/001. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, OH, EE.UU., 7P.

CONTRERAS, Sara. 2003. *Análisis de los Fenómenos de Transporte de Hidrocarburos en el Suelo y Evaluación de Criterios para Seleccionar Alternativas de Remediación*. Tesis de grado para optar al grado de Magíster en Medio Ambiente, mención tratamiento de residuos. Facultad de Ingeniería. Universidad de Santiago.

DONAHUE, R.L., R.W. Miller, J.C. Shickluna. 1997. *Soils: An introduction to Soil and Plant Growth*. Prentice Hill, Englewood, New Jersey, EE.UU.

EPA, 1990. *Available Models for Estimating Emissions Resulting from Bioremediation Processes: a Review*. United States Environmental Protection Agency.

EWEIS, J.B.; Ergas, S.J.; Chang, D.P. & Schroeder, E.D., 1999. *Principios de Biorremediación (Bioremediation)*. 1ra Ed., Editorial WCB/McGraw-Hill, España, 61-65P.

HILLEL, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Press, San Diego, CA, EE.UU.



IMT, 2002. *La Permeabilidad de los Suelos en los Problemas de Transporte de Contaminantes: Aplicación en la Infraestructura del Transporte*. Sanfandila, México, Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 195, 58, 73-75P.

IMT, 2002. *Metodología para Saneamiento de Acuíferos Profundos por Derrame de Hidrocarburos*. Sanfandila, México, Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 196, 11-13P.

LAWRENCE, William. 1976. "El Riesgo Aceptable: Ciencia y Seguridad" (*Of Acceptable Risk*), Ediciones Tres Tiempos, California, E.E.U.U..

LEE, R., 2003. *Photo-Oxidation and Photo-toxicity of crude and Refined Oils*. Spill Science & Technology Bulletin, Vol.8, N°2, pp157-162.

LOWERY, B., M.A. Arshad, R. Lal, and W. J. Hickey. 1996. *Soil water parameters and soil quality*. P.143-157. En: J.W. Doran and A. J. Jones (eds.) *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI. EE.UU.

Mc CARTY, P. L., 1991. *Engineering Concepts for in Situ Biorremediation*. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 28, 1-11P.

OPS/CEPIS, 1999. *Métodos de Evaluación de Riesgos para la salud Generados por la Exposición a Sustancias Peligrosas Liberadas por Rellenos Sanitarios*. Lima, Perú. Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, 21-40P.

PARES Y ÁLVAREZ, 2004. *Informe Técnico: Análisis de Riesgo Estanque Gasolina/DIPE*. Con-Cón, ENAP Refinería Aconcagua. J-15P.

Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. *La Contaminación de las Aguas por Hidrocarburos: Un Enfoque para Abordar su Estudio*. La Habana, Cuba, N°37(1), 1999.

RIHM S., Alfredo. & Anacona B., Claudia. 2004. "Riesgos Ambientales Asociados a Sitios Contaminados, Etapa 2", Proyecto FDI, INTEC SAG, 3-4P.

RUSSELL, J.B., 1980. *General Chemistry*, Mc Graw-Hill, Nueva York, EE.UU..

SÁNCHEZ Salguero, Carlos Alberto. , 2006. *Manual De Intoxicaciones: Intoxicación Por Hidrocarburos*. Publicaciones del Grupo de Trabajo de Intoxicaciones. Barcelona, España, Capitulo 15, 1-3P.



**ASESORÍA SAG**  
**MONITOREO FRENTE DERRAMES DE HIDROCARBUROS**

SAVAL, B. S., 1995. *Acciones para la Remediación de Suelos en México*. Segundo Simposio Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. México, Universidad Autónoma de México.

SEOÁNEZ, M., 2000. *Manual de Contaminación Marina y Restauración del Litoral*. Ediciones Mundi-Prensa. España.

TARBUCK, Edward J. & Lutgens, Frederick K., 1999. *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Madrid, España, 6ta Ed., Prentice Hall, G-18, 19P.

SEMARNAP 1996. *Los Suelos de Tabasco Restauración, Conservación y Uso*. Gobierno Constitucional del Estado de Tabasco. México, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

TCHOBANOGLIOUS, G. y Schroeder, E.D., 1985. *Water Quality Characteristics, Modelling, Modification*. Addison-Wesley, Reading, MA.

USDA, 1999. *Guía de para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. EE.UU., United States Department of Agriculture, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Instituto de Calidad de Suelos, 56P.

VELÁSQUEZ Montero. A., & Iniestra González. S. M., 1998. "*Estudio del Comportamiento de Hidrocarburos en Suelos del Tipo Adosol en Columnas Empacadas a Nivel de Laboratorio*". Tesis Mancomunada para obtener el Título de Ingeniera Química. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México.



***CAPITULO 3***  
***PROGRAMA DE MUESTREO EN MATRICES AMBIENTALES***

---



### 3 Programa de Muestreo en Matrices Ambientales

#### 3.1 Objetivo del Muestreo

La investigación de un evento de contaminación por hidrocarburos tiene por propósito identificar y evaluar los riesgos que implican la presencia del contaminante vertido para la salud humana y los ecosistemas. Una rápida y acertada evaluación permite determinar las medidas a adoptar para la eliminación o minimización de los riesgos. Interesa conocer la naturaleza y extensión de la contaminación e identificar tanto los receptores del riesgo como los factores locales específicos que afectan a la exposición de éstos a la contaminación en las diferentes matrices ambientales.

La recopilación de antecedentes de la fuente contaminante y el entorno a la misma, permiten tener un primer acercamiento del grado de contaminación del sitio investigado. La contaminación por hidrocarburos puede ser visible en derrames superficiales o en grandes volúmenes. Por el contrario, en derrames o fugas subterráneas o de bajo volumen no siempre es observable en el corto plazo, debido a su capacidad de infiltración en el suelo, es por esto que en la mayor parte de los casos será necesario recurrir a la toma de muestras y a su análisis para poder obtener resultados concluyentes acerca de la concentración y distribución de los hidrocarburos en las diferentes matrices ambientales.

La planificación de un acabado diseño de muestreo debe asegurar la obtención de información relevante con un nivel de confiabilidad aceptable de acuerdo al objetivo planteado por el evaluador. Dicha información se referirá a la presencia y concentración del contaminante de interés en el emplazamiento a investigar. La planificación y ejecución de un programa de muestro esta sujeto a tres factores principales:

- El objetivo de la investigación a realizar.
- La información previa que se dispone sobre el sitio a muestrear.
- El tiempo (plazos), recursos monetarios y humanos.

La importancia de la información previa del sitio de muestreo, sumado a la baja disponibilidad de recursos, ha determinado que se acepte como más adecuado un esquema de investigación gradual, en el que la información recabada constituye la base del diseño de la siguiente.

El primer paso para elaborar un diseño de muestreo es (1) recopilar antecedentes vinculados a las actividades desarrolladas en el sitio de la investigación, tales como informes técnicos, monitoreos, cartografías, material bibliográfico de referencia y (2) seleccionar los puntos de muestreo con mayor probabilidad de contaminación, considerando los antecedentes recopilados del sitio y su uso. Además, de un análisis del medio físico y biótico de su entorno.

Un correcto diseño de muestreo considera las vías de transporte de los contaminantes, los puntos de exposición y los posibles receptores afectados por la contaminación (IHOBE, 1998)

### **3.2 Rol del Evaluador**

Un sitio sospechoso de estar contaminado es todo aquel emplazamiento para el cual se ha confirmado indicios de posible afección a la calidad del medio ambiente, en base a los antecedentes recopilados o las observaciones aportadas por el evaluador en visita a terreno.

Los datos aportados por el evaluador deben estar acompañados de antecedentes históricos del uso del sitio. Las observaciones o ensayos organolépticos (olor, color, sabor) en terreno pueden proporcionar una valiosa información acerca de la naturaleza de la contaminación y su posible extensión. Es importante tener claro los inconvenientes en su aplicación:

- El evaluador proporciona una opinión subjetiva
- En el caso de percepciones olfativas, el observador está fuertemente influenciado por la exposición, volviéndose progresivamente menos sensible al contaminante.
- Las percepciones olfativas o gustativas pueden suponer un riesgo para la salud del observador
- La percepción visual está muy influenciada por el efecto de la matriz del suelo.

Los hidrocarburos, los sulfuros y los fenoles, son fácilmente perceptibles en campo mediante un análisis organoléptico y sin embargo, cuando estas mismas sustancias son investigadas en el laboratorio, se obtienen generalmente resultados negativos. La respuesta a este hecho, radica en que la mayoría de las pruebas estándares de laboratorio, poseen niveles de sensibilidad en la escala de las partes por millón, mientras que el olfato humano, para estas y muchas otras sustancias, posee niveles de sensibilidad en la escala de las partes por billón. (CARDENAS, 2002)

A pesar de la utilidad que este tipo de observaciones pueden tener en determinadas circunstancias, las limitaciones generales que presentan son considerables, por lo que se recomienda dar énfasis en la recolección de antecedentes históricos del sitio, su uso y en el caso de existir actividades industriales verificar las entradas y salidas del ciclo productivo o industrial.

Para el apoyo del evaluador en la Figura N°13 se resumen los tipos de contaminantes potenciales por tipo de industrias.

Sector industrial	Tipos de actividad industrial	Contaminantes más probables
Química	Fabricación de ácidos/bases Fabricación de tintes Fabricación de fertilizantes y pesticidas Fabricación de productos farmacéuticos Fabricación de pintura Tratamiento de la madera	Ácidos; bases; metales; disolventes (e.g. tolueno, benceno); fenoles, compuestos orgánicos específicos
Petroquímica	Refinerías de petróleo Patios de tanques Depósitos de almacenamiento de combustibles Destilerías de alquitrán	Hidrocarburos; fenoles; ácidos; bases y asbestos
Producción y transformación de metales	Primera producción de hierro Fabricación de acero Fundiciones Anodizado y galvanizado Construcción y desguace de barcos Chatarrerías	Metales; especialmente Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd y Pb; asbestos
Transporte	Garajes, fábricas de vehículos y talleres de mantenimiento Cocheras del ferrocarril	Combustibles; hidrocarburos; asbestos
Energía	Fábricas de gas Estaciones eléctricas	Combustibles (ej. carbón y polvo de coque); fenoles; cianuros; compuestos de azufre; asbestos
Extracción de minerales	Minas	Metales (e.g. Cu, Zn, Pb); gases (ej. metano); lixiviados
Otros	Puertos, muelles y embarcaderos Curtidurías Fábricas de caucho	Metales; compuestos orgánicos; metano; sustancias tóxicas, inflamables o explosivas

**Figura N°13. Contaminantes más Probables por Sector y Tipo de Actividad Industrial**

### **3.3 Elementos de un Diseño de Muestreo**

Un diseño de muestreo debe considerar tres elementos básicos; (1) la localización de los puntos de muestreo; (2) el número de puntos de muestreo y (3) el número de muestras en cada punto de muestreo. Dichos elementos se definirán de acuerdo a los objetivos de la investigación y a la información disponible, siempre siguiendo la norma de máxima fiabilidad a mínimo coste.

#### **3.3.1 Localización Puntos de Muestreo**

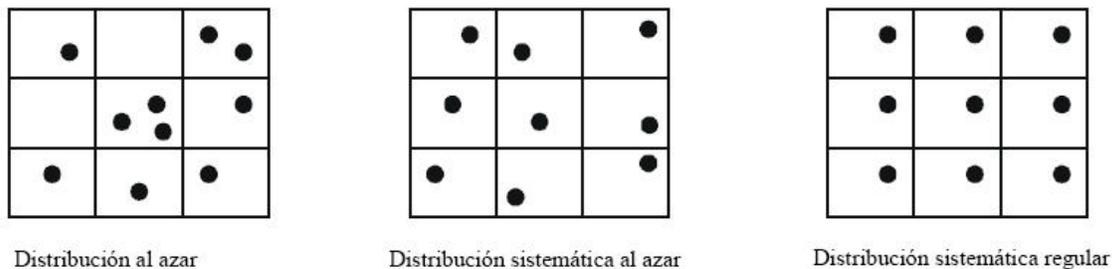
La localización de los puntos de muestreo se apoya fundamentalmente en la información previa obtenida del sitio a caracterizar, que permita establecer las hipótesis correspondientes relativas a la distribución tanto horizontal como vertical de la contaminación.

La delimitación del área de muestreo debe cubrir la fuente de contaminación y las posibles vías de transporte que puedan utilizar los contaminantes para su dispersión. El radio de alcance puede variar desde unos cientos de metros, derrames puntuales de bajo volumen, a varios kilómetros en caso de una ruptura de un ducto de conducción de hidrocarburos. El relieve tiene un rol fundamental sobre la velocidad y volumen de los contaminantes dispersados.

Los muestreos de hidrocarburos, en general, son del tipo dirigido, es decir, un muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación, su aplicación esta basada en el criterio de un profesional sobre la base observaciones visuales en terreno y conocimiento de la sustancia vertida. La utilización de muestreos estadísticos es raramente utilizada en el seguimiento de la contaminación por hidrocarburos. En la mayoría de los casos los derrames de hidrocarburos en el medio ambiente son identificables por simple observación visual o ensayo organoléptico. La dificultad surge cuando parte del derrame ha infiltrado en el terreno y contaminado un acuífero.

Cuando el muestreo dirigido no permita delimitar la distribución horizontal y vertical de la zona afectada, ni el tipo de contaminantes y su concentración, se debe realizar una estrategia de muestreo considerando métodos estadístico o sistemático (SERMANAT, 2003).

El muestreo sistemático supone la existencia de una interrelación entre la localización espacial y la concentración de alguna de las sustancias estudiadas en cada punto de muestreo. Dentro del muestreo sistemático se distinguen a su vez varios tipos, en la Figura N°14 se muestran modelos de distribución, observe que el área de muestreo ha sido marcada por una grilla.



**Figura N°14. Modelo de Distribución de Puntos de Muestreos**

En la distribución al azar los puntos de muestreos no cubren todos los cuadros de la grilla con la posibilidad de tomar mas de una muestra por cuadro, en la distribución sistemática al azar hay un punto por cada cuadro de la grilla sin una orientación espacial particular y en el modelo de distribución sistemática regular la ubicación de los puntos de muestreo es rígida con un punto por cuadro de la grilla y en la misma posición. Aún cuando estos modelos son ampliamente difundidos en la toma de muestras en suelos o aguas, no siempre son prácticos para su realización en terreno y el número de muestras es elevado, por lo que encarecen el costo del programa de muestreo por el alto número de análisis.

Una orientación más práctica para determinar la distribución de los puntos de muestreos es considerar en el diseño de muestreo el relieve del sitio, la pendiente del terreno, la exposición de ladera, redes de drenaje, cuerpos de agua naturales o artificiales, pozos o a la dirección de los vientos dominantes (si existe sospecha de contaminación por deposición desde la atmósfera) o a cualquier otro fenómeno que pueda dar origen a una dirección preferente en el proceso de contaminación (IHOBE, 1998).

### 3.3.2 Número de puntos de muestreo

El número de puntos de muestreo está determinado fundamentalmente por el objetivo o alcance de la investigación. La exactitud necesaria en la caracterización de la contaminación es el factor más influyente en la delimitación del número de puntos de muestreo. Otro factor a considerar es la información disponible sobre la distribución de la contaminación en el área de estudio (homogénea o heterogénea), es decir, la representatividad de cada punto de muestreo con respecto al área total.

### 3.3.3 Número de muestras por punto de muestreo

El número de muestras es directamente proporcional al área del estudio. En la mayoría de los casos, la localización de los puntos de muestreo se realiza en dos dimensiones, considerando una dispersión superficial del contaminante.



Cuando el programa de muestreo incluye muestras en tres dimensiones o profundidad para el estudio de suelos, el número de muestras por punto de muestreo podrá corresponder en algunos casos más de una muestra, tomadas en la misma vertical a distintas profundidades, en caso de existir o interesar esta estratificación.

La probabilidad de detectar una contaminación de en un sitio contaminado depende de tres factores fundamentales:

- El número de muestras tomadas.
- La superficie estimada del área contaminada.
- El área total del emplazamiento investigado.

Para aumentar esta probabilidad se recomienda dirigir los esfuerzos hacia la realización de una recopilación previa de información exhaustiva en lugar de aumentar el número de puntos de muestreo, ya que de esta forma será posible una mejor delimitación del área de estudio.

### **3.4 Contenidos de un Programa de Muestreo**

Las etapas o componentes que debe contener un programa de muestreo son los siguientes:

*Alcance del Trabajo:* Descripción y propósito de la investigación, incluye los objetivos técnicos y exigencias reglamentarias, así como la definición de metas y resultados esperados.

*Programa y Administración:* Identificación de los plazos de actuación y asignación de recursos para el desarrollo de la investigación. En esta etapa deben quedar definidos los documentos de administración de la investigación, tales como formatos de informes, registro de campo, cadena de custodia y respaldo de permisos y/o autorizaciones, en caso de ser requeridas.

*Información del Sitio:* Descripción del sitio a investigar, dirección, ubicación del muestreo, instrucciones de acceso al sitio, nombres y números telefónicos de contacto. Para cumplir estos requisitos es imprescindible realizar un terreno de reconocimiento de sitio.

*Procedimientos de Muestreo:* Tipos de muestras que se deben tomar, cantidad y tamaños de las muestras, puntos de muestreo y consideraciones para el control de la calidad necesarias que aseguren la representatividad de las muestras y eviten la contaminación cruzada de los mismas.

*Equipamiento y Materiales:* Tipos de contenedores de muestreo, reactivos e instrucciones de conservación, instrucciones de transporte y almacenamiento. Se identifican las limitaciones del equipamiento.



*Seguridad y Prevención de Riesgos:* Identificación de Peligros en los sitios de muestreo y prevención de riesgos en el manejo de las muestras, reactivos y/o exposición a sustancias o materiales dañinos para la salud. Listar equipamiento de protección personal, materiales de primeros auxilios y números telefónicos locales en caso de emergencia, cuando el muestreo se efectuó en lugares alejados o desconocidos por el equipo de muestreo.

*Información Adicional:* Medidas de actuación en caso de contingencias como condiciones climáticas adversas, coordinación laboratorio, accesos a sitios de muestreo, y otras consideraciones que el responsable de la investigación encuentre pertinente.

### **3.5 Planificación Actividades Programa de Muestro**

La planificación de las actividades relacionadas al programa de muestreo es crucial para garantizar la óptima ejecución de los mismos en términos de calidad, seguridad, plazo y coste. Los elementos esenciales a contemplar en la planificación son los siguientes:

- Organigrama del equipo humano de trabajo, incluyendo tareas, responsabilidades y dedicaciones de sus integrantes, así como las líneas de comunicación entre los mismos.
- Asignación de los recursos materiales necesarios para la ejecución de cada actividad del programa de muestreo, diferenciando los medios propios de los aportados por las empresas colaboradoras o subcontratistas.
- Cronograma de trabajo, en el que se refleje la duración estimada para cada tarea y la secuencia temporal y dependencias entre las mismas. Se recomienda que la planificación temporal sea flexible, a fin de permitir adaptaciones a las situaciones imprevistas que suelen darse en el curso de la ejecución del muestro.

La planificación de las actividades del programa de muestreo considera una primera etapa de reconocimiento del terreno a investigar y una segunda etapa de muestreo propiamente tal, según la extensión del sitio, número de muestras, autorizaciones y/o recursos disponibles, se puede desarrollar con una extensión de tiempo mayor a un día.



### **3.5.1 Terreno de Reconocimiento**

En forma previa a la campaña de muestreo es necesario efectuar un terreno de reconocimiento al sitio donde se va a llevar a cabo el programa de muestro. El alcance de la actividad es verificar la accesibilidad a los puntos de muestreo, solicitar y/o coordinar permisos de accesos, evaluar las medidas de seguridad necesarias para el personal responsable del muestro. A continuación son desarrollados los puntos mencionados:

#### **3.5.1.1 Accesibilidad Puntos de Muestreo**

Realizar reconocimiento del emplazamiento para comprobar la accesibilidad de los puntos de muestreos seleccionados. Se deberán identificar las zonas de difícil acceso, escarpes, taludes, laderas de fuerte pendiente, zonas inestables, que puedan condicionar los equipos o implementos a utilizar durante la campaña.

#### **3.5.1.2 Permisos**

Solicitar los permisos o coordinar acceso a los terrenos y/o instalaciones donde se ubiquen los puntos de muestreos para la fecha de ejecución del programa de muestreo. Además, puede ser necesario informar a las autoridades competentes del comienzo de los trabajos.

#### **3.5.1.3 Medidas de Seguridad**

Evaluar en terreno las medidas de seguridad necesarias a adoptar durante la ejecución de la toma de muestras, de esta forma determinar los equipos de protección personal o implementos de seguridad que garanticen en todo momento la integridad del personal responsable de muestreo.

### **3.5.2 Terreno de Muestreo**

Corresponde a la toma de muestras en terreno en las diferentes matrices ambientales, es importante señalar que aunque los métodos de laboratorio han avanzado en gran medida durante los últimos años, tanto en límites de detección, como en control de calidad, no son capaces de compensar los errores cometidos en terreno, por lo que la toma de muestras debe guardar un aseguramiento de la calidad mediante buenas prácticas de operación que aseguren la representatividad de las muestras y eviten la contaminación cruzada de las mismas.

Las matrices ambientales cubiertas en el presente estudio, para el parámetro hidrocarburos totales de petróleo, son suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas.

### **3.6 Muestreo en Suelos**

La toma de muestras en suelos requiere de un método intrusivo para la remoción del terreno hasta la profundidad deseada para efectuar la toma de muestras. La elección del método intrusivo a utilizar, debe ser analizado en cada caso particular a la vista de los objetivos específicos de la campaña de muestreo y de las características del terreno a investigar.

#### **3.6.1 Sistemas Intrusivos**

Los principales sistemas intrusivos de investigación del terreno son los siguientes:

- Sondeos Manuales.
- Sondeos Ligeros.
- Sondeos Mecánicos.

##### **3.6.1.1 Sondeos Manuales**

Los sondeos manuales son generalmente utilizados ante suelos cohesivos o no cohesivos, aunque presentan limitaciones en cuanto a profundidad y dureza, no siendo aplicables ante suelos rocosos o excesivamente pedregosos. El sondeo manual permite la toma de muestras pocas profundas menores a 1 metro. Las herramientas de sondeo manual son palas, cucharas y barrenos (ver Figura N°15).



**Figura N°15. Sondeo Manual: Barreno (izquierda) y Pala (Derecha).**

##### **3.6.1.2 Sondeos Ligeros**

Los sondeos ligeros en ocasiones denominados también semimecánicos representan un escalón intermedio entre los manuales y mecánicos. Se utilizan las herramientas del sistema mecánico con el apoyo de equipos motrices lo que permite alcanzar mayores profundidades de muestreo cercano a los 5 a 10 metros en suelos muy cohesivos.

Las herramientas de sondeo semimecánico son los taladros de suelos y la sonda helicoidal que es un martillo perforador a rotopercusión (ver Figura N°16).



**Figura N°16. Sondeo Semimecánico: Sonda Helicoidal.**

### **3.6.1.3 Sondeos Mecánicos**

Los sondeos mecánicos permiten trabajar en una amplia variedad de suelos y profundidades. Son utilizados equipos de perforación de rotación o percusión. La justificación de efectuar un sondeo mecánico radica en la necesidad de construir piezómetros o pozos de monitoreo de aguas subterráneas. En la Figura N°17 se muestra un equipo de perforación por rotación con corona, método más usado en el estudio de suelos contaminados.



**Figura N°17. Sondeo Mecánico: Equipo de Perforación de Rotación.**

### **3.6.2 Consideraciones en el muestreo de Suelos.**

Las muestras de suelos deben tomarse de forma que se obtenga, para el nivel, estrato u horizonte objeto de estudio, una proporción de suelo representativa y lo menos alterada posible. A continuación se resumen algunas recomendaciones generales a aplicar durante las labores de toma de muestras de la fase sólida del suelo:

- El orden de ejecución del muestreo debe seguir, en lo posible, una secuencia de puntos supuestamente menos contaminados a más contaminados, de acuerdo con las hipótesis de distribución espacial de la contaminación formuladas durante el diseño de la campaña.
- Los elementos de perforación y muestreo que puedan entrar en contacto con el suelo deben ser cuidadosamente limpiados antes del comienzo y entre cada muestreo para evitar contaminación cruzada.
- Procurar que el tiempo de contacto entre el suelo y los equipos de perforación y muestreo sea el menor posible.
- Muestrear las capas del suelo que presentan indicios organolépticos de contaminación (color, olor, etc.).
- Determinado el punto de muestreo, se despeja el mismo de obstáculos tales como piedras, ramas, maleza, eliminándose la capa vegetal superior tratando de retirarse la menor parte posible de suelo. Si durante la toma de muestras, en el perfil de un mismo sondeo, se aprecian niveles o estratos bien diferenciados, se procurará tomar muestras de cada uno de ellos.
- La muestra debe manipularse lo menos posible hasta su introducción o envasado en el recipiente adecuado, asegurar integridad del contenido ante un vuelco o golpe del mismo. Esta labor se realizará bien cogiendo la muestra directamente con las manos, o con espátulas en función del sistema de muestreo manual que se esté utilizando. En caso de realizarse el envasado manualmente, se deberá disponer de guantes desechables con el fin de no contaminar la muestra, se deberán utilizar unos guantes limpios para cada muestra.
- Durante el envasado de muestras disgregadas, debe llenarse el recipiente de la muestra con material hasta enrasar la boca, reduciendo al máximo el aire en el interior del recipiente evitando de esta manera una potencial oxidación, degradación microbiológica aerobia o volatilización de los contaminantes. Colocar la tapa y cinta de material plástico denso para asegurar el cierre del envase.

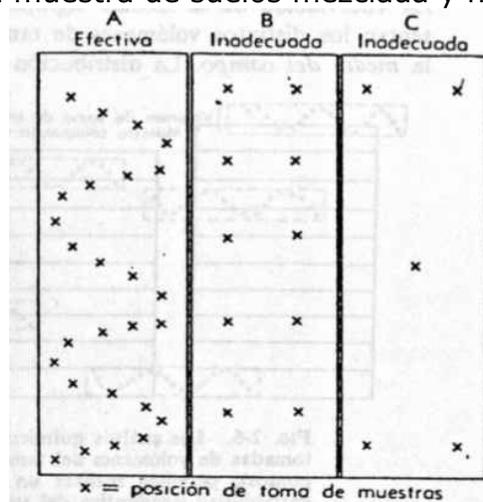
### 3.6.3 Muestras Compuestas

Las muestras compuestas ayudan a reducir el nivel de error de representatividad de un suelo. En la práctica un número de 10 a 30 muestras individuales permiten estrechar la curva de distribución, con ello se logra una adecuada representatividad a nivel analítico.

#### 3.6.3.1 Procedimiento Toma de Muestras Compuestas

El procedimiento de toma de muestras compuestas se compone de las siguientes etapas:

- Se delimita el área seleccionada para el muestreo mediante estacas que se clavan en sus vértices y algunas veces mediante cuerdas atadas a las mismas.
- El operador avanza a lo largo del área siguiendo un camino en zig-zag sacando una muestra con una herramienta, preferentemente un barreno, cada dos pasos (2 metros), la utilización de otras posiciones de muestreo resultan inadecuadas (ver Figura N°18).
- Se evitará tomar muestras en una franja de 50 centímetros medida desde el borde del área demarcada.
- Las muestras son limpiadas de objetos mayores y/o extraños, para luego proceder a su homogenización, envasado y etiquetado. Las muestras individuales no deben perder su humedad natural, no dejar expuestas al sol o por tiempo prolongado a la intemperie.
- El volumen mínimo final de la muestra deberá ser de 1 kilo de suelo extraído desde la muestra de suelos mezclada y homogenizada.



**Figura N°18. Posición Toma de Muestra Compuesta de Suelos**

### **3.6.3.2 Condiciones Toma de Muestras Compuestas**

Las condiciones que ha de satisfacer un método de toma de muestra compuestas para ser válida son los siguientes:

- Cada muestra individual debe de ser del mismo volumen que las demás y representar la misma sección transversal del volumen que se toma la muestra.
- Hay que tomar un número suficientes de muestras individuales para que quede representado adecuadamente el volumen total del que se toma la muestra.
- No deben producirse interacciones químicas entre el material de la muestra compuesta del suelo que sean significativas para los objetivos previstos del muestreo.
- La unidad seleccionada para una muestra compuesta debe ser homogénea para el objetivo del análisis (JACKSON, 1964).

### **3.6.4 Profundidad de muestreo**

La elección de las muestras de suelo debe considerar la distribución de la sustancia vertida tanto el plano horizontal como el vertical. La profundidad de muestreo depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Naturaleza de la contaminación.
- Tipo de suelo.
- Objeto de protección.
- Uso actual o previsto del sitio.

En general, resulta complicado establecer la profundidad mínima a alcanzar para garantizar la ausencia de contaminación. No obstante, es posible proporcionar algunas indicaciones partiendo de la información existente sobre el uso del sitio y los objetos de protección. En la Figura N°19 se indican las profundidades de muestreo del suelo recomendadas en relación con el objeto a proteger y el uso del sitio (IHOBE, 1999).

Uso del suelo	Objeto a proteger/Profundidad de muestreo		
	Organismos del suelo	Plantas	Agua
Cultivos hortícolas	0-máx 20 cm	Horizonte Ap o profundidad de arado (0-30 cm)	0-30 cm
Prado/erial	Horizonte Ah/0-10 cm	Horizonte Ah/0-10 cm	0-30 cm
Masa arbustiva	Horizonte Ah/0-10 cm	Rizosfera (0-30 cm)	0-30 cm
	Ser humano		
Superficies urbanas y de recreo sin vegetación		0-2 cm 0-10 cm	
Superficies urbanizadas y de recreo con vegetación		0-5 cm 5-10 cm	
Huertas		0-10 cm	

**Figura N°19. Profundidad Toma de Muestra en Suelo.**

### 3.7 Muestreo en Sedimentos

Se entiende por sedimentos aquella materia orgánica y/o mineral situada bajo una capa líquida, la cual puede encontrarse tanto en medios relativamente estáticos (embalses, lagos, tranques) como en medios con alta renovación (ríos, arroyos, canales). Las muestras de sedimentos pueden ser recogidas mediante diversos métodos y equipos, en dependencia de la profundidad de la capa líquida, la fracción de sedimento requerida (superficial, subsuperficial), el tipo de muestra (más o menos alterada), los contaminantes presentes y el tipo de sedimento.

#### 3.7.1 Posición de los Sedimentos

Los sedimentos en los cuerpos de agua pueden estar en como material en suspensión o depositado.

*Material en Suspensión:* material que se mantiene en la columna de agua arrastrado por la corriente. El muestreo se puede efectuar con una botella sumergida con agua sin filtrar.

*Material Depositado:* volumen de sedimento depositado por efecto de una disminución de la energía del agua; su consistencia es habitualmente fina en lagos y lagunas y más heterogénea en las bocas marinas. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2005). Este tipo de sedimentos acumula sustancias orgánicas e inorgánicas en su matriz, siendo de interés para el muestreo de hidrocarburos totales de petróleo. En su muestreo se puede utilizar palas, cucharas y dragas, dependiendo de las condiciones del sitio de muestreo. La dificultad de obtención de la muestra se incrementa con la profundidad de la capa líquida. Las palas y cucharas se emplean con preferencia en pequeñas corrientes, canales, arroyos, orillas de tranques, en general en sitios de poca profundidad y fácil acceso.



Las dragas son comúnmente utilizadas en embalses, lagos, ríos con un mayor caudal de aguas o un lecho ancho, donde el acceso al sitio de muestreo es dificultoso, el uso de dragas implica tener una embarcación o estructura firme como un puente para fijar el soporte de la draga de esta forma evitar su pérdida.(IHOBE, 1998)

### **3.7.2 Consideraciones en el Muestreo de Sedimentos**

En el caso de aguas estáticas o de baja corriente (lagos, tranques, etc), la muestra de sedimentos puede ser simple, tomada en el mismo punto donde se extrajo la muestra de agua superficial, si corresponde, de esta forma tener una idea del proceso de sedimentación de elementos o sustancias en el sedimento. El volumen mínimo de la muestra debe ser 500 gramos, como norma general los envases se llenarán hasta el borde enrasando el recipiente procurando no dejar una cámara de aire entre el agua y la tapa.

La toma de una muestra puntual del cuerpo de agua, preferentemente, debe ser colectada en un sector de rebalse o salida, en sentido de la corriente, zonas con presencia visual de contaminación por hidrocarburos y/o puntos de descarga industriales. La toma de más de una muestra debe además considerar la entrada y salida del cuerpo de agua.

Las muestras preferentemente no deben ser tomadas directamente en la orilla del cuerpo de agua, considerar una distancia no menor a 1 metro, cuando las condiciones de acceso y seguridad lo permitan.

En el caso de aguas en movimiento o con corrientes (arroyos, ríos), es recomendable tomar muestras compuestas de sedimentos, recolectando a lo largo y ancho de la sección del cuerpo de agua, con especial interés de los puntos con baja velocidad de circulación donde pueda producirse sedimentación de partículas. El procedimiento de muestras compuestas es similar al de suelos, la profundidad media deberá ser determinada por excavación en terreno y no será mayor a 30 centímetros.

### **3.8 Muestreo en Aguas Superficiales**

En muchas ocasiones la contaminación de aguas superficiales esta estrechamente relacionada a la contaminación de los suelo, en aquellos casos en donde el derrame o fuga de un hidrocarburo procedente de algún emplazamiento pueda afectar a cursos de agua superficiales, ya sea porque exista una conexión entre ambos medios o debido a una recarga de las aguas superficiales a partir de acuíferos contaminados.

Debido al amplio rango de características generales que presentan los distintos ambientes, como puedan ser tamaño, caudal, profundidad, etc., la técnica de muestreo debe ser adaptada a las condiciones específicas del lugar o ambiente de muestreo. Por ejemplo, el número y ubicación de las muestras necesarias para caracterizar un río diferirá en gran manera de las necesarias para la caracterización de un lago, por lo que debe programarse un muestreo de forma que sea razonable y consistente con los objetivos de la investigación.

Entre los ambientes de aguas superficiales se encuentran los manantiales, ríos, arroyos, lagos, lagunas, embalses y tranques, como los más representativos. Por lo general el muestreo de aguas superficiales se lleva a cabo conjuntamente con el muestreo de sedimentos.

### **3.8.1 Consideraciones en el Muestro de Aguas Superficiales**

Las precauciones o recomendaciones más importantes respecto a la toma de muestras en aguas superficiales se centran en las siguientes:

- Las tomas de muestras deben extraerse de una zona donde el flujo sea representativo de las características direccionales y de velocidad de la corriente a muestrear.
- Adaptar el recipiente de la muestra con el agua a muestrear, se debe proceder a enjuagar el recipiente 1 a 2 veces antes de la toma de muestras definitiva.
- Los equipos de muestreo deben ser descendidos con el máximo cuidado bajo la superficie del agua, para evitar provocar turbulencias y la mezcla del agua con los sedimentos, lo que redundaría en una mayor turbidez de la muestra. Las muestras no deben ser filtradas para evitar el cambio en propiedades como el pH y reacciones secundarias.
- La muestra debe introducirse en el recipiente suavemente con objeto de reducir toda agitación que pudiera producir la pérdida de compuestos volátiles o gases disueltos y evitar la formación de burbujas de aire que pudieran mantenerse adheridas a las paredes del recipiente.
- El volumen mínimo de muestreo es de 1 litro, (ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, 1993), como norma general los envases se llenarán hasta el borde procurando no dejar una cámara de aire entre el agua y el cierre del recipiente de muestreo.
- En la toma de muestras de aguas superficiales, a no ser que el propio plan de muestreo lo especifique, se debe evitar la extracción de muestras en los márgenes, ya sea de ríos o lagunas, pues pueden no ser representativas de toda la lámina de agua.

- En la toma de muestras de aguas en profundidad utilizar cilindros con cierre hermético con sistema de mensajero para su cierre.
- Precauciones en cuanto a la limpieza y manejo de los equipos de muestreo y de las muestras para asegurar representatividad y evitar contaminación cruzada. Todo el material deberá ser limpiado tras su uso, prestándose una atención especial a aquel que haya estado en contacto con aguas contaminadas (IHOBE, 1998).

### **3.9 Muestreo en Aguas Subterráneas**

Los procedimientos estándar de operación en la toma de muestras de agua subterránea pueden variar en función de las condiciones del emplazamiento y las limitaciones impuestas por el equipo de muestreo.

El muestreo de aguas subterráneas extraída mediante pozo debe considerar la recolección de una serie de antecedentes sobre la instalación, en la medida de la disponibilidad de información:

- Coordenadas del pozo.
- Perfil geológico.
- Profundidad y diámetro del pozo.
- Tipo de bomba instalada (potencia, profundidad de instalación).
- Usos de las aguas.
- Análisis de aguas efectuados.

Si el pozo cuenta con bomba, será posible extraer el agua por este medio, lo que facilitará la realización del muestreo. Es importante dejar correr el agua unos tres minutos antes de tomar las muestras para evitar elementos extraños que puedan estar en los conductos de agua, así mismo verificar que en el punto de extracción de agua esta no haya sido tratada. Una buena medida para asegurar la representatividad de la muestra es tomar el pH o conductividad eléctrica hasta un equilibrio del o los parámetros mencionados en muestras sucesiva.

Se deberá tener especial cuidado en el muestreo de contaminantes con una media o alta volatilidad como los hidrocarburos aromáticos, en base a la posibilidad de permitir la volatilización de estos compuestos durante las operaciones de muestreo, debiendo emplearse accesorios especiales para la transferencia de la muestra entre el dispositivo de extracción del agua y el recipiente de la muestra, de forma que el agua quede expuesta lo menos posible al ambiente y no se volatilicen sus componentes, además de impedirse cualquier tipo de turbulencia o agitación en el momento de depositarse el agua en el envase, dejando sobrellenar lentamente sobre la superficie interna del recipiente.

Otra dificultad en el muestreo de pozos de aguas es el muestreo de contaminante en fase libre, es decir, cuando exista una fase diferenciada sobre la lámina de agua del pozo. Estos compuestos son los denominados NAPLs (Non-Aqueous Phase Liquid) y se dividen en LNAPLs (compuestos orgánicos menos densos que el agua y relativamente insolubles, p.e. gasolina) y DNAPLs (más densos que el agua, p.e. tricloroetileno). La presencia y profundidad de la fase libre puede ser medida, como primera aproximación, con una soga mediante observación de material oleoso u olor extraño atribuible a hidrocarburos.

### **3.10 Recipientes de Muestreo**

El tipo de contaminante a investigar y su estado físico determinan no sólo el recipiente que debe utilizarse sino también las medidas de preservación y manejo hasta que se lleve a cabo su análisis

La mayoría de los recipientes plásticos pueden ceder a las muestras sustancias orgánicas que interfieren con el análisis. Los envases de propileno son porosos por lo que pueden producirse pérdidas por evaporación, muchos plásticos son permeables a los gases y la mayoría al  $\text{CO}_2$ , para el análisis de compuestos orgánicos como los hidrocarburos se emplearán envases de vidrio. Los compuestos fotosensibles se deberán almacenar en envases de vidrio oscuro, como los de color ámbar (ver Figura N°20) o cubiertos con una lámina de aluminio, para evitar alteración de la muestra por acción de la luz. Los recipientes deben ser tapados para la correcta conservación de las muestras recolectadas.



**Figura N°20. Envases de Vidrio Color Ámbar para Muestreo de Aguas**



Los volúmenes de los envases varían según la matriz a muestrear, los recipientes para aguas deben ser generalmente como mínimo de 1 litro, sedimentos 500 gramos y suelos 1 kilo. En la determinación de ciertos parámetros es necesario un volumen mayor según especificaciones de laboratorio.

### **3.11 Etiquetado**

Un porcentaje elevado de errores ocurrido en las campañas de muestreo intensivas, es la incorrecta identificación de las muestras. Todas las muestras deberán ser etiquetadas para evitar confusiones o errores de identificación. Por lo general el laboratorio que suministra los envases de muestreo trae consigo una etiqueta de identificación. Los datos que deberá incluir son:

- Tipo de Muestra.
- Número de muestra (Código).
- Fecha y hora del Muestreo .
- Tratamiento (acidificación, conservantes).

Las etiquetas deben ser llenadas con lápiz indeleble oscuro y se adherirán al recipiente en el momento de la toma.

### **3.12 Frecuencia de Muestreo**

La frecuencia de muestreo esta definida para sitios con evidencia analítica de contaminación. La EPA<sup>4</sup> recomienda efectuar un muestreo de seguimiento con una frecuencia de 2 años para suelos contaminados, en el caso de las aguas subterráneas establece una frecuencia de 3 meses, durante los dos primeros años de monitoreo posterior al evento de contaminación (EPA, 1999a). La localización y número de muestras son indicados en la Figura N°21.

---

<sup>4</sup> Environmental Protection Agency

Monitorización: Frecuencia, analitos, y localización de muestreo			
Medio	Frecuencia de muestreo	Parámetros a monitorizar	Localización y número de muestras a monitorizar
Suelo contaminado	Como mínimo cada dos años	BTEX; TPH; disolventes clorados; cualquier otro contaminante de interés; gases del suelo (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )	Un número significativo desde el punto de vista estadístico de muestras de suelo recogidas a lo largo del área contaminada.
Aguas subterráneas contaminadas	Como mínimo cada tres meses durante los dos primeros años de monitorización, y después una vez al año	BTEX; TPH; disolventes clorados; cualquier otro contaminante de interés; DO, Fe <sup>2+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Mn <sup>2+</sup> , cloruro, pH, T, conductividad, ORP, carbono inorgánico disuelto, etano, eteno, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Como mínimo tres líneas transversales a lo largo de la pluma, una línea transversal aguas arriba de la pluma, con muestras recogidas a diferentes profundidades en cada una de las localizaciones. Como mínimo un pozo centinela

**Figura N°21. Frecuencia de Monitoreo para Suelos y Aguas Subterráneas Contaminadas**

En el caso de aguas superficiales y sedimentos, la frecuencia de muestreo esta regida por los períodos de lluvias y estaciones secas. Un total de 2 monitoreos de seguimiento anual, el primero en período invernal y el segundo en la estación estival, son adecuados para evaluar el comportamiento y evolución de los contaminantes en estas matrices ambientales.

### 3.13 Registro de Campo

El registro de campo es un formato para recolectar y ampliar información del muestreo y sus actividades anexas, así como para reportar observaciones de interés del medio donde es tomada la muestra para complementar un posterior análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio.

El registro de Dicha se debe completar en el momento de la toma de muestra y contendrá obligatoriamente los siguientes datos:

- Tipo de Muestra.
- Número de muestra (Código).
- Fecha y hora del Muestreo.
- Tratamiento (acidificación, conservantes).
- Nombre responsable del muestreo.
- Identificación del punto de muestreo.
- Método de toma.
- Profundidad de muestreo.
- Volumen de muestra recogido.
- Parámetros de campo (pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto).



En el registro de campo es posible incluir observaciones sobre cualquier incidencia que pueda influir sobre el proceso de muestreo, análisis o su interpretación, como por ejemplo:

- Presencia de turbidez o desprendimiento de gases. Olores o colores anormales o extraños.
- Presencia de actividades potencialmente contaminantes en los alrededores del punto de muestreo.
- Uso del agua (LÓPEZ, 1997).

### **3.14 Preservación de las Muestras**

Las muestras extraídas de su medio natural están sujetas a cambios en su estructura química debido a reacciones microbiológicas o químicas. Por ejemplo, aguas muy contaminadas pueden experimentar cambios en su composición al cabo de una hora de su recolección, la mayoría de las aguas naturales se ven afectadas en mayor o menor grado.

Las técnicas de preservación de muestras tienen por propósito el retardar los cambios químicos y biológicos de las muestras, cambios que inevitablemente ocurren al remover a las muestras de su lugar de origen (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2005). Existen dos métodos de preservación de muestra:

#### **3.14.1 Métodos Físicos.**

Las muestras se preservan durante el programa de muestreo en un recipiente cerrado de material aislante con bolsas de hielo a una temperatura de  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ . Por lo general el recipiente de almacenaje es una hielera destinada para ese fin. Se debe evitar la exposición a la luz para evitar reacciones de compuestos fotosensibles, para ello mantener cerrado el recipiente en todo momento y disminuir su apertura entre operaciones de muestreo, no dejar el recipiente expuesto a la luz directamente o en lugares cerrados con temperatura.

#### **3.14.2 Métodos Químicos.**

Las muestras son conservadas mediante el uso de preservadores químicos orgánicos e inorgánicos. El uso de estas sustancias requiere de precauciones, por lo general son ácidos o bases fuertes que al entrar en contacto con las personas pueden causar males por inhalación, irritación de la vista, inclusive quemaduras producto de una deficiente manipulación. La preservación de hidrocarburos en aguas se realiza con un ácido fuerte, generalmente ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).



### **3.15 Manejo y Transporte de Muestras**

Las muestras deberán ser transportadas del sitio de muestreo al laboratorio en el menor tiempo posible y almacenadas en un contenedor, que se encontrará a una temperatura de  $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Las neveras o contenedores deberán ser cerrados correctamente de forma que no puedan abrirse durante el transporte.

Los recipientes de transporte no se deberán llenar excesivamente cargados para no provocar posibles roturas por excesivo peso o presión de los envases de muestreo. Los recipientes, especialmente cuando sean de vidrio, deberán ser colocados de forma que no tengan la suficiente holgura como para chocar entre ellos, pero sin ser presionados. Una buena práctica es colocar materiales para amortiguar y proteger los recipientes, tales como poliuretano, cartón, gomaespuma, o cualquier material que pueda ser útil para proteger las muestras de choques entre ellas o de golpes procedentes del exterior.

La entrega en el laboratorio se realizará, como norma general, dentro de las 24 horas posteriores a la toma; no obstante, este período puede variar en función de las condiciones de conservación de las muestras y del tipo de determinaciones que se vayan a realizar.

Los Puntos clave en el transporte de las muestras, a tener en cuenta, son los siguientes:

- Verificar que las muestras estén adecuadamente empaquetadas y claramente etiquetadas.
- El almacenamiento de las muestras debe hacerse de tal forma que se mantenga su integridad física y su estabilidad química. Mantener temperatura de  $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y sin exposición a la luz.
- El documento de "Cadena de custodia" debe acompañar siempre a las muestras.

### **3.16 Cadena de Custodia**

Es necesario establecer el método y la ruta más corta y ágil para el envío de muestras y una vez que llegue la muestra al laboratorio, este deberá contar con un sistema de registro para recepción de las muestras o cadena de custodia.

Todas las muestras que se reciban deberán tener la información requerida por el laboratorio para eliminar errores en el procesamiento y el reporte analítico de la muestra. Las muestras deberán contar con etiquetas que las identifiquen, fecha y hora de muestreo, observaciones sobre la conservación.

Una copia de las hojas de la Cadena de Custodia deberá ser entregada al laboratorio y la otra quedará de respaldo para el titular del muestreo. Estas hojas son de gran importancia ya que indican qué personas han estado en posesión de las muestras y han podido acceder a su manipulación, así como cuando se ha realizado la transferencia de las muestras del equipo responsable del muestreo al laboratorio. Este documento es en muchas ocasiones el demostrativo de que el muestreo y posterior analítica se ha llevado a cabo según procedimientos correctos, existiendo situaciones en que los resultados analíticos pueden suponer una evidencia a presentar ante implicaciones de tipo legal.

### **3.17 Representatividad de las Muestras y Contaminación Cruzada.**

La necesaria representatividad de las muestras tomadas en una investigación exige que sus características, en particular las químicas, tengan una variación mínima respecto a su medio natural. Por otra parte, es preciso recordar que las propias actividades de investigación y toma de muestras constituyen un peligro potencial de contaminación de medios que no lo estaban o lo estaban en menor medida, si no es realizado siguiendo buenas prácticas. En ambos supuestos, la contaminación puede ser aportada por los equipos o accesorios empleados en estas actividades, por el personal implicado en las mismas o por dispersión de la contaminación de unas muestras a otras. Durante la ejecución de la toma de muestras, es imprescindible respetar una serie de medidas tendentes a evitar la contaminación cruzada de las muestras.

Para asegurar la representatividad de las muestras tomadas, así como evitar la contaminación cruzada de las mismas, es importante tener en consideración las siguientes medidas:

- Un programa de muestreo debe llevarse a cabo, en lo posible, siguiendo una secuencia desde los puntos presumiblemente menos contaminados a los más contaminados.
- El personal responsable del muestreo debe informarse acerca de la procedencia y estado de cualquier equipo o accesorio empleado.
- Los equipos de muestreo y accesorios que no sean de un sólo uso deben descontaminarse antes de su utilización y reutilización dentro de una misma campaña de muestreo y al finalizar la misma.
- Los equipos portátiles de medición de parámetros "In-situ" como pH, conductividad y oxígeno disuelto deben ser calibrados según especificaciones del fabricante.



- Las muestras de suelos y sedimentos, deben ser depositadas sobre láminas plásticas (generalmente polietileno de baja densidad), para evitar un contacto directo de las mismas con el suelo o superficie del lugar investigado.
- La manipulación de las muestras deberá realizarse del modo más rápido posible y, en todo caso, con la ayuda de guantes o utensilios de protección apropiados que eviten un contacto directo con las manos del operador.
- En caso de existir duda acerca de la validez de una muestra, debido a la sospecha de que ha sido contaminada por un aporte externo, ésta se desechará, procediéndose a la toma de una nueva preocupándose de corregir las deficiencias que han dado lugar al problema.
- Los equipos que vayan a emplearse en el muestreo se almacenarán en lugares y formas que impidan la contaminación de los mismos. Su manipulación sólo estará permitida a personas conocedoras de los procedimientos generales de prevención de la contaminación.
- Los equipos utilizados en una campaña de muestreo no podrán almacenarse junto con los limpios, si estos no han sido descontaminados.

### **3.18 Descripción de Suelos**

En forma complementaria a la toma de muestra es necesario recolectar información sobre el entorno del punto de muestreo. Uno de los aspectos más importantes es la descripción de los suelos.

A continuación se señalan los pasos para realizar la descripción de suelos en base a textura, estructura y tamaño.

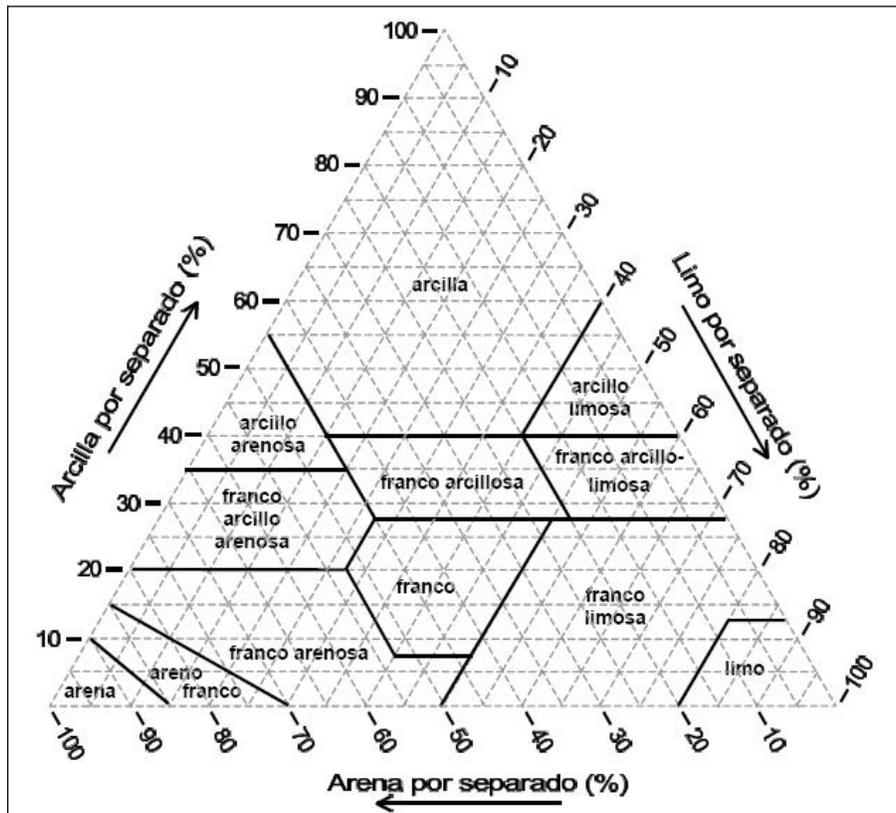
#### **3.18.1 Textura**

La textura del suelo se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en el suelo. La textura es uno de los más estables atributos del suelo pudiendo sólo ser modificada ligeramente por cultivación y otras prácticas que causan la mezcla de las diferentes capas del suelo.

El suelo está compuesto por partículas minerales que varían en tamaño. Hay tres clasificaciones generales (o separaciones dentro del suelo), de partículas minerales:

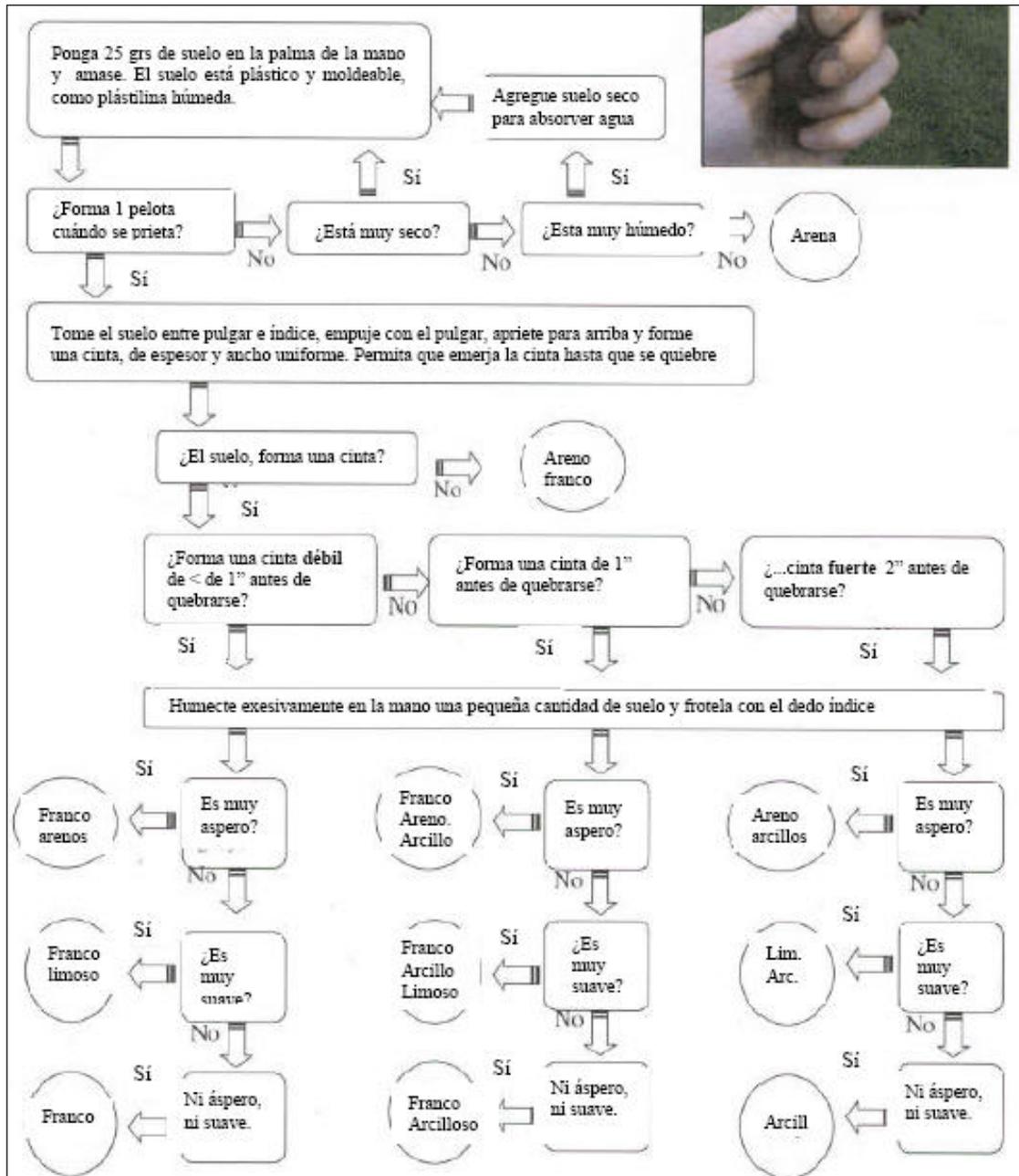
- Partículas de arena – 2.0 mm. (muy gruesa) a 0.05 mm. (muy fina);
- Partículas de limo – 0.05 mm. a 0.002 mm.;
- Partículas de arcilla – menores de 0.002 mm.

La presencia y porcentaje de mezcla de las partículas minerales en el suelo da origen a doce clases texturales de suelo. Las definiciones de las 12 clases texturales del suelo están basadas en la porción relativa o peso de estas tres clases de partículas. Suelos arenosos, por ejemplo, tienen una mayor proporción de partículas de arena que de limo o arcilla. La lectura del triángulo textural (ver Figura N°22) permite localizar la clase textural con el porcentaje de dos tipos de partículas.



**Figura N°22. Triángulo de Textura del Suelo**

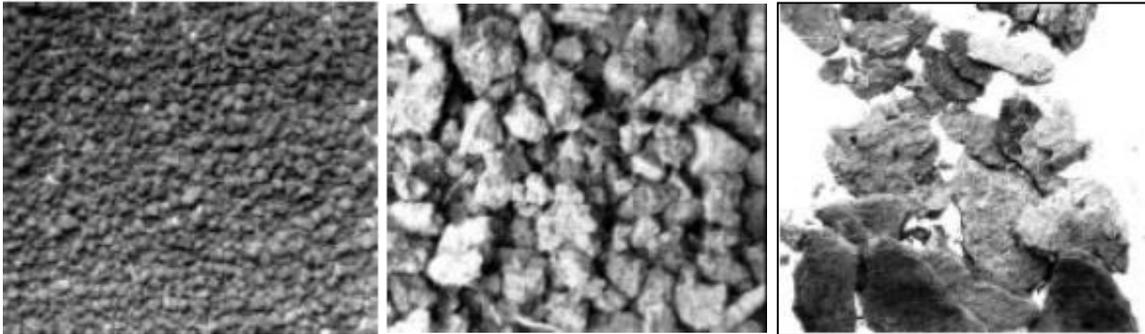
Para determinar la clase textural del suelo en terreno y de forma práctica, es posible realizar un procedimiento de identificación de textura por tacto, siguiendo la secuencia mostrada en la Figura N°23. Este procedimiento es aplicable a la capa superior del suelo considerando una profundidad de unos 8 centímetros (USDA, 1999).



**Figura N°23. Procedimiento Identificación Textura por Tacto**

### 3.18.2 Estructura

Los tres grandes tipos de estructura edáfica son granular, en bloques y laminar (ver Figura N°24)



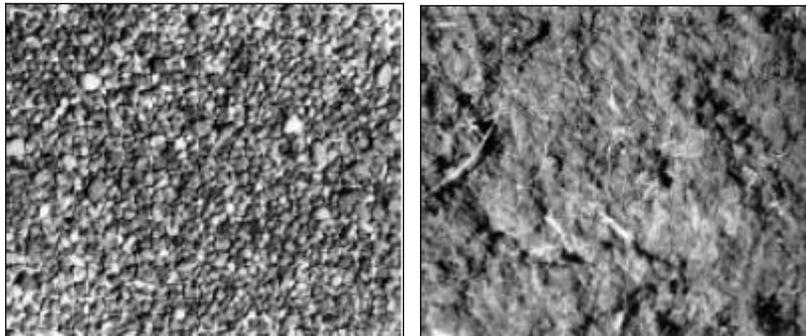
**Figura N°24. Tipos de Estructura Edáfica; Granular (izquierda), Bloques (centro) y Laminar (derecha)**

Estructura Granular: esferas imperfectas, usualmente de tamaño de la arena.

Estructura Bloques: Cubos imperfectos con bordes angulares o redondeados.

Estructura Laminar: De apariencia achatada o comprimida.

Cuando no hay agregados o "Peds" se dice que el suelo no presenta estructura y su aspecto es de grano suelto o bien masivo (Ver Figura N°25).



**Figura N°25. Suelo Sin Estructura: Grano Suelto (izquierda) y Masivo (derecha).**

Grano suelto: Una masa incosolidada, tal como arena suelta

Masivo: Una masa coherente.

### 3.18.3 Tamaño

El tamaño de los agregados o "Peds" tiene tres clases según la estructura:

Si la estructura es granular, los tamaños son de gránulos fino, medio y grueso (Ver Figura N°26).

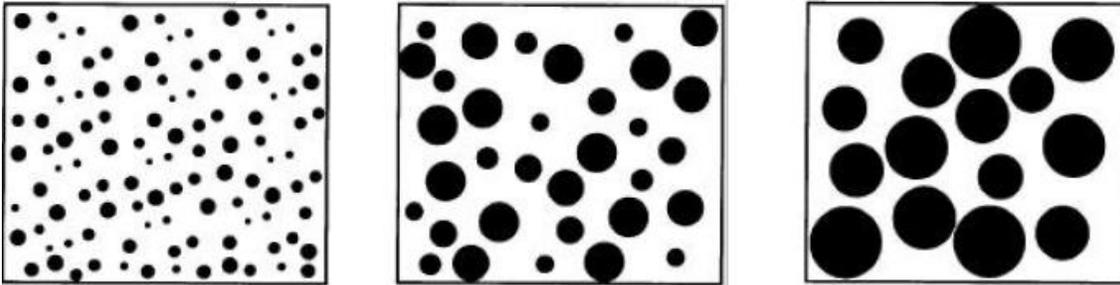


Figura N°26. Tamaño Estructura Granular: fino (izquierda), medio (centro) y grueso (derecha).

Si la estructura es en bloques, elija entre tamaños de bloques muy fino, fino, y medio (Ver Figura N°27).

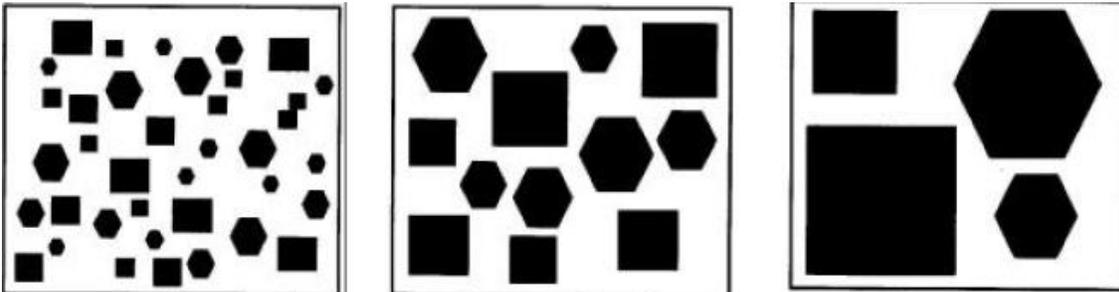


Figura N°27. Tamaño Estructura Granular: muy fino (izquierda), fino (centro) y medio (derecha).

Si la estructura es laminar, elija entre los tamaños de láminas fino, medio, y grueso (Ver Figura N°28).



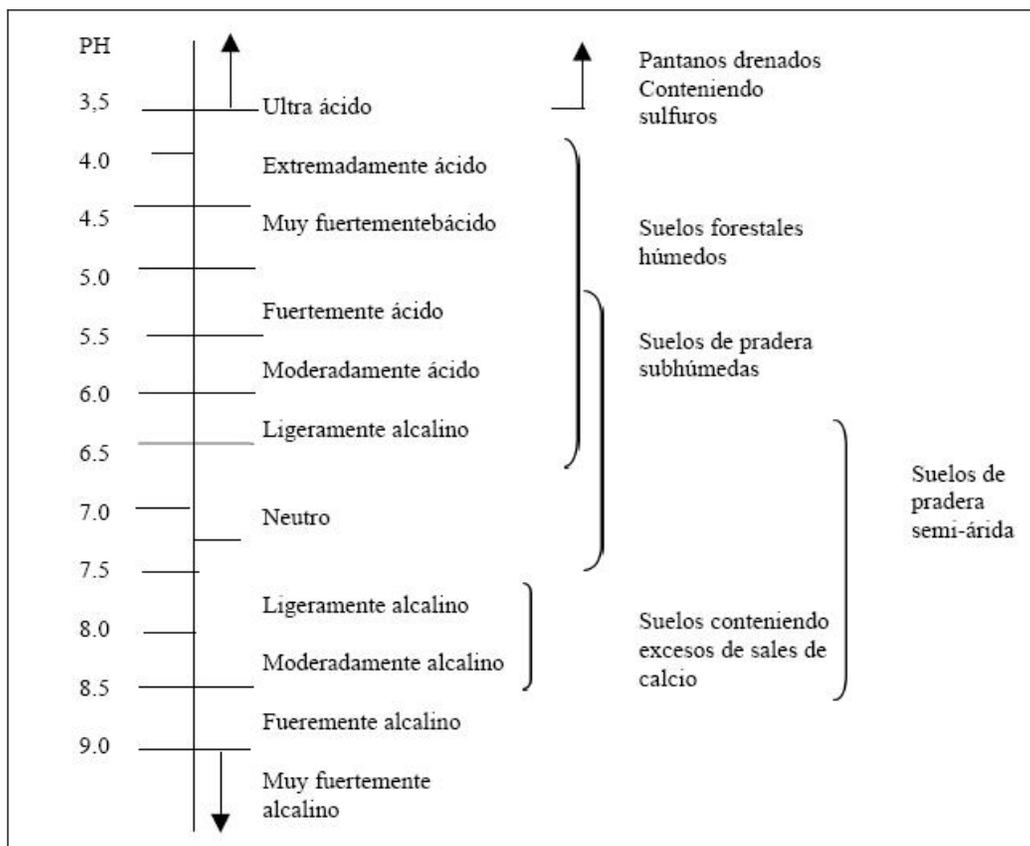
Figura N°28. Tamaño Estructura Granular: fino (izquierda), medio (centro) y grueso (derecha).

### 3.19 Parámetros de Campo

Los parámetros de campo son mediciones que se toman "In-situ" en el lugar del punto de muestreo para complementar y entender los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio. Los parámetros de campo que se registran son el pH y conductividad, para el caso de las aguas se agrega el parámetro de oxígeno disuelto.

#### 3.19.1 pH

El pH indica el nivel de acidez o basicidad del medio, es una medida de la concentración de iones Hidrógeno. Su interpretación va relacionada con la alcalinidad o acidez titulable. Este parámetro es medido in situ, mediante el uso de un pHmetro. En la Figura N°29 se muestra la relación entre el pH y los tipos de suelos.



**Figura N°29. Relación entre el pH y el Tipo de Suelo**



### **3.19.2 Conductividad**

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, movilidad, valencia y concentración de iones, así como de la temperatura del agua.. En general la conductividad eléctrica de una solución se incrementa con la temperatura, a razón de aproximadamente 1.9% por 1°C de incremento (RHOADES, 1993). Este parámetro mide el contenido total de sales en el agua, esta medición se realiza mediante el uso del Conductivímetro. Se mide en microSiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

### **3.19.3 Oxígeno Disuelto**

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. La parte mayoritaria del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Una fracción menor la aporta la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de OD; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua. La medición de este parámetro se realiza in situ mediante el uso de un Oxímetro. Se mide en miligramos por litro (mg/L).

## **3.20 Mantenimiento y Calibración Equipos Portátiles**

Los equipos de medición deben estar en óptimas condiciones para medir con precisión y exactitud los parámetros de campo pH, conductividad y oxígeno disuelto.

El mantenimiento y calibración de los equipos debe efectuarse con los patrones suministrados por el fabricante del equipo o con algún laboratorio de calibración aprobado o certificado.



### 3.20.1 pHmetro

#### 3.20.1.1 Mantenimiento del medidor de pH

El pHmetro requiere de un mantenimiento periódico para su correcto funcionamiento, algunas consideraciones son:

- Alrededor del tope pueden aparecer cristales, esta condición es normal, después del uso enjuague el electrodo con agua, para minimizar la contaminación.
- Guarde el electrodo con algunas gotas de solución de almacenamiento ó con solución pH= 7 en la tapa protectora, no guardar con agua destilada o desionizada.
- Reponer siempre la tapa protectora después del uso.

Grandes diferencias en lecturas de pH, mayores a 0,5 unidades, podrían deberse a falta de calibración, electrodo seco, o pilas gastadas.

#### 3.20.1.2 Calibración del medidor de pH.

Seleccionar dos disoluciones amortiguadoras de pH cuyos valores correspondan el valor de pH esperado para la muestra y que estén a la misma temperatura ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) que está última. La diferencia de pH entre las soluciones patrón seleccionadas deben ser entre 2 y 3 unidades. De cada disolución se transfiere una porción apropiada a un recipiente limpio, desechando las disoluciones amortiguadoras usadas. Un valor aproximado de pH de la muestra puede obtenerse con papel pH universal, este valor sirve de base para seleccionar el amortiguador adecuado. Sí la temperatura a la que se debe determinar el pH en el laboratorio de la muestra difiere en más de  $2^{\circ}\text{C}$  de la temperatura ambiente, es preciso llevar las disoluciones patrón de pH, la muestra, los electrodos y el agua para el enjuague de los mismos a dicha temperatura.

Registrar en la bitácora la temperatura de las disoluciones amortiguadoras de pH y de la muestra.

Retirar el electrodo del capuchón protector que debe contener disolución de conservación. Enjuagarlo completa y cuidadosamente con agua desionizada y secarlo con papel adsorbente suave, sin tallar.

Con el dispositivo de determinación de pH listo para operar de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes del electrodo combinado y del medidor de pH, sumergir en la primera porción de disolución amortiguadora de pH, de ser posible, agitar suavemente, esperar entre uno y dos minutos que se estabilice



la respuesta del dispositivo de determinación. Ajustar la lectura del aparato de medición con el botón de calibración hasta obtener el valor de pH asignado para la temperatura de la disolución, hasta que no exista variación, registrando el valor en la bitácora.

Retirar los electrodos de la disolución anterior, enjuagarlos cuidadosamente con agua desionizada y secarlo con papel adsorbente suave, sin tallar.

Con la segunda porción de la disolución amortiguadora de pH. Ajustar la lectura del aparato de medición con el botón de corrección hasta obtener el valor de pH asignado. Enjuagarlo completa y cuidadosamente con agua desionizada y secarlo con papel adsorbente suave, sin tallar.

Repetir los dos últimos dos pasos para verificar y eventualmente rectificar los valores de calibración hasta que la lectura de pH no difieran en más de 0.5 unidades al sustituir una solución patrón por la otra.

Todos los datos de calibración deben quedar asentados en la bitácora.

### **3.20.2 Conductímetro**

#### **3.20.2.1 Mantenimiento del Conductímetro**

Para mejorar el rendimiento limpie periódicamente los electrodos de acero enjuagándolos con alcohol durante algunos minutos.

#### **3.20.2.2 Calibración del Conductímetro**

Para efectuar la calibración la disolución de conductividad conocida, debe estar a 25°C preferentemente o a la temperatura ambiente, anotando en la bitácora de muestreo para futuras correcciones.

El instrumento debe ser calibrado con una disolución patrón de cloruro de potasio (KCl) o de cloruro de sodio (NaCl) cuyo valor de conductividad sea conocido y este cercano al valor de la conductividad recomendada y de la amplitud de resistencia del instrumento. Cada vez que se cambie de celda, se platinizen los electrodos o exista alguna causa para dudar de la precisión de las lecturas, se deberá repetir la calibración conforme al manual del fabricante.

Las celdas deberán ser enjuagadas con porciones de la disolución patrón antes de realizar la calibración para evitar contaminación por electrolitos retenidos o depositados en los electrodos.

Las celdas deberán ser sumergidas en la disolución patrón, cubriendo los orificios de ventilación, con agitación vertical para expulsar las burbujas de aire.



Seleccionar el intervalo adecuado de medición en el instrumento, si la lectura no es la correspondiente a la disolución patrón, ajustando con el control de calibración hasta que la lectura del instrumento corresponda al valor de la disolución.

Todos los datos de la calibración deben quedar asentados en la bitácora.

### **3.20.3 Oxímetro**

#### **3.20.3.1 Calibración del Oxímetro.**

Si se utiliza el método electrométrico, calibrar el medidor de oxígeno disuelto de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

El ajuste cero de oxígeno disuelto consiste en la inmersión del electrodo en la disolución estándar de concentración nula de oxígeno. La lectura debe estar en cero mg/l de oxígeno disuelto, de no ser así, ajustar el instrumento a cero.

Ajustar el instrumento a la presión barométrica.

Todos los datos de calibración deben quedar asentados en la bitácora. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2005)

### **3.21 Control de Calidad Programa de Muestreo.**

La calidad de los datos finales de análisis de un programa de muestreo se ve afectado por las actividades de terreno (muestreo) y de laboratorio (análisis).

La operación de toma de muestras no sólo implica obtener una fracción representativa del lugar a analizar, sino que la misma debe ser manipulada de forma que no haya pérdida de información o sea ésta minimizada.

Un programa de control de calidad tiene como objetivo determinar las medidas de control necesarias para minimizar los errores de los resultados finales. Para conseguirlo, todos los aspectos del programa de muestreo deben ser planeados con detalle, siendo necesario documentar todas las etapas del mismo.

Los registros del proceso de toma de muestras deben establecer claramente los pasos realizados, quién los realizó y las circunstancias en las que se llevaron a cabo. De esta forma, la calidad del proceso puede ser evaluada a partir de la documentación generada.



Los objetivos del control de calidad en la etapa de muestreo, son los siguientes:

- Asegurar la integridad de las muestras, o de los analitos, durante el proceso de muestreo y transporte.
- Garantizar la existencia de una documentación completa de todos los pasos llevados a cabo durante el muestreo, que permite comprobar el cumplimiento de los protocolos establecidos, las posibles desviaciones y la justificación de las mismas.

### **3.21.1 Errores del Programa de Muestreo en Campo**

Las principales fuentes de error en el proceso de obtención de la muestra se pueden agrupar en tres apartados:

#### **3.21.1.1 Proceso de toma de muestra**

Abarca todo lo relacionado con el proceso de obtención de la muestra en sí. Los aspectos más relevantes a controlar son los siguientes:

- Actividades previas al trabajo de campo, como la comprobación y calibrado de equipos, limpieza y embalaje de los envases entregados por el laboratorio.
- Origen de la muestra. La determinación del lugar, período de toma, y demás condiciones de muestreo se realizará de acuerdo con un protocolo establecido, y basándose en las hipótesis de trabajo del proyecto a realizar.
- Metodología de muestreo. Las técnicas y el equipamiento de toma de muestras deben ajustarse, tanto a los objetivos del muestreo, como a las características de las matrices a estudiar. Las desviaciones en este aspecto pueden hacer que la muestra sea inútil para el fin previsto.
- Conservación de la muestra. El lapso de tiempo que implica el traslado de la muestra hasta el laboratorio exige, en numerosas ocasiones, que se garantice la conservación de la muestra mediante el establecimiento de un ambiente adecuado (aditivos químicos, baja temperatura, oscuridad).



### **3.21.1.2 Transporte y preparación.**

El proceso de traslado de la muestra desde el campo hasta el laboratorio de análisis debe de garantizar, no sólo la integridad de la muestra, sino también la continuidad de los mecanismos de control. Para ello es preciso elaborar protocolos acerca de las características de los recipientes de transporte, la forma de identificación de los mismos y las condiciones de transporte.

### **3.21.1.3 Documentación**

Es imprescindible que, en cualquier momento, se pueda reconstruir la historia de las muestras analizadas. Por ello, los protocolos de todas las operaciones realizadas deben especificar claramente la información de la misma que debe ser registrada, así como la forma de hacerlo. De esta manera, cualquier anomalía podrá ser rastreada hasta su origen. Otro aspecto importante de la documentación es su papel como garante de la identidad de la muestra y su conservación, especialmente en lo referente a la cadena de custodia.

### **3.21.2 Control de Calidad en el Proceso de Toma de Muestras**

Las principales precauciones a tomar durante el proceso de toma de muestra son las siguientes:

- a) El material necesario para la operación debe ser limpiado y comprobado cuidadosamente antes de la salida a terreno. Los equipos empleados para la medida de parámetros en campo deberán de ser previamente comprobado su funcionamiento y calibración.
- b) La localización del punto de muestreo debe ser registrada en un GPS o en un mapa, tomando referencias visuales para su ubicación.
- c) Los criterios de eliminación de materiales extraños (vidrio, piedras, materia orgánica) deberán ser claros y decididos con antelación.
- d) Los recipientes que contienen las muestras deben ser etiquetados con claridad, de forma indeleble, con el código de identificación de la muestra, la fecha y el punto de muestreo. Deben evitarse las notaciones difíciles de descifrar, o que puedan llevar a confusión.
- e) Las muestras en matrices ambientales no son inertes, por lo que la demora hasta el momento del análisis debe ser reducida al mínimo. En todo caso, los analitos más sensibles serán preservados de acuerdo a los protocolos de conservación de muestras.

e) La información asociada a cada muestra debe ser recolectada y consolidada en un registro de campo, los antecedentes mínimos a considerar son los siguientes:

- Proyecto en el que se enmarca la muestra.
- Localización del punto de toma de muestra.
- Identificación del punto de muestreo.
- Código de identificación de la muestra.
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Parámetros de toma de muestra (profundidad, dimensiones).
- Referencia del instrumental y método empleado.
- Nombre del personal que ha participado en la operación.
- Incidentes producidos durante el proceso de toma de muestra.
- Información de interés relacionado con la muestra o el proceso de toma de la misma.

### **3.21.3 Control De Calidad Del Transporte De Las Muestras**

El transporte y manipulación de las muestras de suelo se llevará a cabo de forma que se mantenga su integridad y se evite cualquier pérdida o alteración de la misma. Para ello deben tomarse las siguientes precauciones:

- En las muestras que precisan tratamiento especial (refrigeración o aditivos) se garantizará la continuidad del tratamiento durante todo el período que dura el transporte.
- Los envases con las muestras individuales serán introducidos en recipientes mayores de forma que se impida cualquier pérdida, contaminación o alteración durante el transporte.
- Los recipientes en los que se lleva a cabo el transporte deben ser estancos y resistentes.
- Dentro del recipiente, las muestras deben ir separadas entre sí con algún material o relleno que las inmovilice y amortigüe posibles golpes.
- Los recipientes en los que se realiza el traslado deberán estar clara y visiblemente identificados, de forma indeleble.

### **3.21.4 Control de Calidad de la Documentación**

Para un control estricto de la calidad, o en casos en los que puede haber connotaciones legales, es necesario que se mantenga la integridad de la cadena de custodia. Esta se define como el procedimiento, y la documentación resultante, que demuestra la existencia de un control ininterrumpido, de la muestra desde su toma hasta su entrega final en el laboratorio.



De esta forma se puede verificar, no sólo el origen de la muestra, sino también que no ha sido alterada o manipulada durante el proceso de obtención y transporte.

La cadena de custodia de la muestra asegura la integridad y continuidad de la muestra, de forma que los responsables de la misma se encuentran identificados y la muestra se mantiene bajo vigilancia, o en lugar controlado, hasta su entrega al siguiente eslabón de la cadena. De otra forma, los datos proporcionados por la muestra pueden carecer de validez legal.

La cadena de custodia se inicia en el campo con el responsable del equipo de muestreo, y debe ser lo más corta posible. Cuando se transfiere la custodia de la muestra, el responsable precedente y el nuevo firmarán los registros necesarios, con fecha y hora, al tiempo que comprueban la continuidad de la cadena. Cualquier posible irregularidad debe ser registrada al momento.

La documentación que registra la entrega final al laboratorio debe contener la siguiente información:

- Proyecto en el que se enmarca la muestra.
- Código de identificación de la muestra.
- Identificación del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Información acerca del origen y características de la muestra.
- Método de toma de muestra.
- Tipo de embalaje, condiciones de transporte y fecha de entrega.
- Nombre y firma de los responsables de entrega y recepción.



### 3.22 Referencias Bibliográficas

CARDENAS León, J.A., 2002. *Curso de Aguas para Estudiantes de Ciencias Ambientales*, Bogotá, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2005. *Proyecto Norma Mexicana PROY-NMX-AA-121-SCFI-2005: Aguas Naturales Epicontinentales, Costeras Y Marinas – Muestreo*, México D.F., México, 32-36P.

EPA. 1999a. *Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites, Directive 9200.4-17P*. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington. DC., 22-23P.

IHOBE, 1998. *Guía Metodológica para la Investigación de la Contaminación del Suelo*. España, Gobierno Vasco,. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. Sociedad de Gestión Ambiental S.A., Vol 1-3.

IHOBE, 1999. *Manual Práctico para la investigación de la contaminación del suelo*. España, Gobierno Vasco,. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. Sociedad de Gestión Ambiental S.A., 21-45P.

JACKSON, M.L., 1964. *Análisis Químicos de Suelos*. Barcelona, España, Ediciones Omega, 29-30, 48P.

LÓPEZ Geta, J. A., 1997. *Guía Operativa para Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Agua Subterráneas Destinadas al Análisis Químico y Bacteriológico, GOAS 1*. España, Ministerio del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico Geominero de España. 7-10, 26-27P.

ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, 1993. *A Guide to the Collection and Submission of Samples for Laboratory Analysis*. Seventh Edition. Customer Services Unit. Laboratory services Branch. Ontario, Canadá, Ministry of Environment and Energy.

RHOADES, J.D. 1993. *Electrical Conductivity Methods for Measuring and Mapping Soil Salinity*. 201-251P. En: D.L. Sparks (eds.) *Advances in Agronomy*, Vol. 49. Academic Press, Inc., San Diego, CA.

SERMANAT, 2003. NOM-138-SERMANAT/SS-2003. *Limites Permisibles de Hidrocarburos en Suelos as Especificaciones para su Caracterización y Remediación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 4-10P.



**ASESORÍA SAG**  
**MONITOREO FRENTE DERRAMES DE HIDROCARBUROS**

USDA, 1999. *Guía de para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. EE.UU., United States Department of Agriculture, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Instituto de Calidad de Suelos, 30-42P.



***CAPITULO 4***  
***NORMATIVA DE REFERENCIA***

---

#### **4 Normativas de Referencia**

En nuestro país la presencia de hidrocarburos esta regulada para las aguas continentales y marinas a través de normas de emisión y normas secundarias de calidad ambiental. En tanto para las matrices suelos y sedimentos no hay un marco legislativo aplicable. Los hidrocarburos de referencia usados en la medición de la calidad de las aguas por contaminantes orgánicos son los hidrocarburos totales de petróleo (HCT) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Es importante mencionar que no todas las cuencas hidrográficas del país incorporan estos parámetros en sus planes de vigilancia y monitoreo.

A nivel internacional existen normas de referencia para la actuación por contaminación de hidrocarburos en suelos, sedimentos y aguas de países como España, Holanda, Panamá y México. Siendo esta última norma de más fácil interpretación y aplicación.

Toda intervención de un matriz ambiental por contaminación de hidrocarburos requiere de una investigación detallada del sitio contaminado para determinar el daño real y potencial en las diferentes matrices ambientales afectadas, de esta forma determinar las medidas correctivas a implementar para controlar y disminuir los niveles de hidrocarburos en el ambiente orientados a la protección y preservación de los recurso naturales.

##### **4.1 Normativa Nacional**

La legislación nacional en materia de hidrocarburos esta compuesta por normas de emisión, normas de calidad para diferentes usos y normas de calidad secundaria para aguas superficiales.

###### **4.1.1 Normas de Emisión**

Las normas de emisión regulan las descargas de residuos líquidos a aguas marinas, continentales, subterráneas y alcantarillado.

###### **4.1.1.1 DS N°90/00**

Norma la emisión de residuos líquidos a aguas continentales superficiales y marinas (ver Tabla N°8).

**Tabla N°8. Valores Máximos de Emisión Hidrocarburos en Aguas Continentales y Marinas**

Parámetro	Límite Máximo Cuerpos de Aguas Fluviales	Límite Máximo Cuerpos de Aguas Lacustres	Límite Máximo Cuerpos de Agua Marino (1)	Límite Máximo Cuerpos de Agua Marino (2)
Hidrocarburos totales	NE	50 mg/L	10 mg/L	20 mg/L
Hidrocarburos fijos	10 mg/L	NE	NE	NE
Hidrocarburos volátiles	NE	NE	1 mg/L	2 mg/L
Tolueno	0,7 mg/L	NE	NE	NE
Xileno	0,5 mg/L	NE	NE	NE

(1) Dentro de la Zona de Protección Litoral

(2) Fuera de la Zona de Protección Litoral

NE: No Específica

Fuente: Tomado de DS N°90/00.

#### 4.1.1.2 DS N°46/03

Norma la emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas(ver Tabla N°9).

**Tabla N°9. Valores Máximos de Emisión Hidrocarburos en Aguas Subterráneas**

Parámetro	Límite Máximo Vulnerabilidad Media	Límite Máximo Vulnerabilidad Baja
Benceno	0,01 mg/L	0,01 mg/L
Tolueno	0,7 mg/L	0,7 mg/L
Xileno	0,5 mg/L	0,5 mg/L

Fuente: Tomado de DS N°46/03

#### 4.1.1.3 DS N° 609/98

Norma la emisión residuos líquidos a sistemas de alcantarillado (ver Tabla N°10).

**Tabla N°10. Valores Máximos de Emisión Hidrocarburos en la Red de Alcantarillado**

Parámetro	Límite Máximo Descarga sin PTAS	Límite Máximo Descarga con PTAS
Hidrocarburos totales	20 mg/L	20 mg/L

Fuente: Tomado de DS N°609/98.



#### **4.1.2 Norma Calidad del Agua para Diferentes Usos**

En la norma chilena "NCh1333.Of87 *Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos*". No se establecen parámetros normativos cuantitativos para hidrocarburos en aguas para riego y consumo humano. No obstante, el parámetro se encuentra descrito en forma cualitativa en los estándares para aguas destinados a la vida acuática en aguas dulces, en la cual se establece que no debe haber olor perceptible, detección visual o cubrimiento de fondo, orilla o rivera.

#### **4.1.3 Norma de Calidad Secundaria**

Las normas de calidad secundaria de calidad ambiental para las aguas de una cuenca están destinadas a la protección y conservación de las comunidades acuáticas y los usos prioritarios del recurso agua. Este tipo de norma está dirigido a las aguas continentales y marinas.

La contaminación de las aguas continentales superficiales está directamente asociado a los núcleos urbanos, estudios muestran que la mayor parte del crecimiento demográfico se presenta en las cuencas del Elqui, Aconcagua, Maipo, Mapocho, Rapel, Maule, Bio-Bío, Valdivia, etc., y por ello son los ríos que presentan un mayor grado de contaminación.

Las aguas marinas y estuarinas son afectadas directamente por la descarga de aguas residuales domésticas e industriales y las derivadas de actividades agrícolas o forestales (descargas no puntuales), que llegan directamente al mar sin tratamiento adecuado en las principales ciudades costeras, o en forma directa a través de las 27 hoyas hidrográficas que reciben a su paso el mismo tipo de descargas.

La elaboración de las normas secundarias de calidad ambiental para las aguas, se encuentra regido por una guía marco. Este documento contiene los valores los valores máximos y mínimos a considerar como referencia.

##### **4.1.3.1 Aguas Continentales Superficiales**

Los valores a considerar para la elaboración de las normas secundarias de calidad tendrán por objetivo general proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y ambientales.



Asimismo, los valores a considerar para la elaboración de las normas secundarias de calidad tendrán por objetivo específico:

- a) Proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas destinadas a la producción de agua potable.
- b) Proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas para proteger y conservar las comunidades acuáticas.
- c) Proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas para la conservación de especies hidrobiológicas de importancia para la pesca deportiva y recreativa y para la acuicultura.
- d) Proteger la calidad de las aguas para la bebida de animales sea que vivan en estado silvestre o bajo el cuidado y dependencia del hombre.
- e) Proteger la calidad de las aguas para riego de manera de conservar los suelos y las especies vegetales.
- f) Mantener o recuperar el estado trófico de los cuerpos lacustres.
- g) Proteger cuerpos o cursos de agua de extraordinaria calidad como componentes únicos del patrimonio ambiental.

Los valores de referencia para el parámetro hidrocarburos son resumidos en la Tabla N°11.

**Tabla N°11. Valores de Concentración de Hidrocarburos por Clase de Calidad**

Grupo de Elementos o Compuestos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Hidrocarburos	mg/L	<0,4	0,05	0,2	1,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	ug/L	<0,16	0,2	1	1
Tolueno	mg/L	*	0,3	0,3	>0,3

\* La determinación de estos compuestos o elementos deberá estar bajo el límite de detección del instrumental analítico más sensible.

Fuente: Tomado de CONAMA, 2004.

Las normas secundarias de calidad asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales, para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios, deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican:

- Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la Clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República. Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta Clase.
- Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las Clases 2 y 3.
- Clase 2: Buena calidad. Indica un agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la Clase 3.
- Clase 3: Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

Las metodologías de muestreo son mostradas en la Tabla N°12.

**Tabla N°12. Metodologías de Muestreo para Aguas Continentales Superficiales.**

Identificación	Título de la Norma
NCh411/1.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.
NCh411/2.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
NCh411/4.Of97	Calidad del agua – Muestreo – Parte 4: Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.
NCh411/6.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.

Fuente: Tomado de CONAMA, 2004.

El proyecto definitivo de norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del Río Aconcagua, no considera el parámetro hidrocarburos dentro de su programa de vigilancia y monitoreo.

#### 4.1.3.2 Aguas Marinas

Para efectos de la elaboración de las normas secundarias de calidad ambiental para las aguas marinas y estuarinas aptas para la conservación de las comunidades acuáticas, y para los usos prioritarios, los valores máximos de concentración o rango de los elementos o compuestos a considerar, serán los señalados en la Tabla N°13.

**Tabla N°13. Valores de Concentración de Hidrocarburos por Clase de Calidad**

Grupo de Elementos o Compuestos	Unidad	Expresión	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Hidrocarburos	Mg/L	HCT	<0,02	0,02-0,05	0,05-1,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	Mg/L	HAP	<0,0002	<0,002	0,0002-0,001

Fuente: Tomado de CONAMA, 2004.

Las normas secundarias de calidad para la protección de las aguas marinas y estuarinas deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican:

- Clase 1: Muy buena calidad. Indica agua apta para la conservación de comunidades acuáticas, para la desalinización de agua para consumo humano y demás usos definidos, cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta Clase.
- Clase 2: Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura y actividades pesqueras extractivas y para los usos comprendidos en la Clase 3.
- Clase 3: Regular calidad. Indica un agua apta para actividades portuarias, navegación u otros usos de menor requerimiento en calidad de agua.

Las metodologías de muestreo son mostradas en la Tabla N°14.

**Tabla N°14. Metodologías de Muestreo para Aguas Marinas.**

Identificación	Título de la Norma
NCh411/1.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.
NCh411/2.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
NCh 411/9.Of 98	Calidad del agua – Muestreo – Parte 9: Guía para el muestreo de aguas marinas.

Fuente: Tomado de CONAMA, 2004.

Las metodologías de preservación y manejo de las muestras son indicadas en la Tabla N°15. Los métodos son válidos para las aguas continentales superficiales y aguas marinas.

**Tabla N°15. Metodologías de preservación y manejo de muestras de aguas**

Identificación	Titulo de la Norma
NCh411/3.Of96.	Calidad del agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
Standard Methods-1060/98	“Collection and Preservation of Samples” descrita en el número 1060 del “Standard Methods” for Examination of Water and Wastewater. 20th edition, 1998. APHA-AWWA-WPCF.

Fuente: Tomado de CONAMA, 2004.

Los métodos de análisis de laboratorio para las muestras de hidrocarburos son especificados en la Tabla N°16.

**Tabla N°16. Métodos de análisis de hidrocarburos en muestras de aguas**

Identificación	Titulo de la Norma
Hidrocarburos	5520 F. Hydrocarbons
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	6440 B. Liquid-Liquid Extraction Chromatographic Method 6440 C. Liquid-Liquid Extraction Gas Chromatographic/Mass Spectrometric Method
Tolueno	6200 B Purge and Trap Capillary-Column Gas Chromathographic/Mass Spectrometric Method. 6200 C Purge and Trap Capillary-Column Gas Chromathographic Method with PID only.

Fuente: Tomado de CONAMA, 2004.

## 4.2 Normativa Internacional

A continuación es presentado un resumen con la normativa internacional de mayor relevancia para la contaminación por hidrocarburos a nivel de país.

### 4.2.1 España

Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

En la Figura N°30 se muestra un resumen de los contaminantes para el parámetro hidrocarburos en suelos y los niveles genéricos de referencia para protección de los ecosistemas. Sigla "NE" significa No Específica.

Sustancia	Número CAS	Organismos del suelo	Organismos acuáticos	Vertebrados terrestres
		(mg/kg peso seco)		
Antraceno	120-12-7	NE	0,01*	22
Benzo(a) antraceno	56-55-3	NE	3,8	0,01
Benceno	71-43-2	1	0,2	0,11
Clorobenceno	108-90-7	1	0,03	7,66
Etilbenceno	100-41-4	NE	0,08	4,6
Fenol	108-95-2	0,27	0,03	23,7
Naftaleno	91-20-3	0,1	0,05	0,06
Benzo(a)pireno	50-32-8	0,15	0,01*	NE
Tolueno	108-88-3	0,3	0,24	13,5
Xileno	1330-20-7	NE	0,07	NE

**Figura N°30. Niveles de Referencia Hidrocarburos en Suelos para Protección de los Ecosistemas**

#### 4.2.2 Holanda

La norma holandesa de remediación de sitios contaminados define niveles de referencia y de intervención para sitios contaminados en sus matrices suelos, sedimentos y aguas subterráneas. Los valores para suelos y sedimentos están descritos para un suelo tipo compuesto por un 10% de materia orgánica y 25% de arcilla (ver Figura N°31).

	EARTH/SEDIMENT (mg/kg dry matter)		GROUNDWATER (µg/l in solution)	
	target value	intervention value	target value	intervention value
<b>III Aromatic compounds</b>				
benzene	0.01	1	0.2	30
ethyl benzene	0.03	50	4	150
toluene	0.01	130	7	1000
xylenes	0.1	25	0.2	70
styrene (vinyl benzene)	0.3	100	6	300
phenol	0.05	40	0.2	2000
cresols (sum)	0.05	5	0.2	200
catechol(o-dihydroxybenzene)	0.05	20	0.2	1250
resorcinol(m-dihydroxybenzene)	0.05	10	0.2	600
hydroquinone(p-dihydroxybenzene)	0.05	10	0.2	800

**Figura N°31. Niveles de Referencia e Intervención por Compuestos Aromáticos**

#### 4.2.3 Panamá

En el anteproyecto de la "Norma Primaria de Calidad Ambiental de las Aguas Marinas y Costeras" de Panamá, son establecidos los requisitos de calidad permisibles para las aguas marinas y costeras destinadas para uso recreativo mediante contacto directo o indirecto para contaminantes orgánicos, indicados en la Tabla N°17.

**Tabla N°17. Límite Máximo de Hidrocarburos en Aguas Marinas y Costeras**

Grupo de Elementos o Compuestos	Unidad	Límite Máximo Permitido
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	<0,05

Fuente: Tomado de ANAM, 2006

Es considerado una situación de emergencia cuando los requisitos de calidad de las aguas marinas y costeras, para el parámetro hidrocarburos tenga un valor mayor a 5 mg/L durante un año.



#### 4.2.4 México

La norma mexicana "NOM-138-SERMANAT/SS-2003. *Limites Permisibles de Hidrocarburos en Suelos y las Especificaciones para su Caracterización y Remediación*" determina los niveles permisibles de hidrocarburos en los suelos según el tipo específico de hidrocarburos y el uso predominante del suelo. Valores mayores a los expuestos en la Figura N°32, obligan a realizar una remediación del sitio contaminado.

Hidrocarburos específicos	Uso de suelo predominante <sup>1</sup> (mg/kg base seca)		
	Agrícola <sup>2</sup>	Residencial <sup>3</sup>	Industrial
Benceno	6	6	15
Tolueno	40	40	100
Etilbenceno	10	10	25
Xilenos (suma de isómeros)	40	40	100
Benzo[a]pireno <sup>4</sup>	2	2	10
Dibenzo[a,h]antraceno <sup>4</sup>	2	2	10
Benzo[a]antraceno <sup>4</sup>	2	2	10
Benzo[b]fluoranteno <sup>4</sup>	2	2	10
Benzo[k]fluoranteno <sup>4</sup>	8	8	80
Indeno (1,2,3-cd)pireno <sup>4</sup>	2	2	10

Figura N°32. Valores Máximos Permisibles para Hidrocarburos en Suelos

Nomenclatura:

- 1.- Para usos de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados.
- 2.- Agrícola incluye suelo forestal, recreativo y de conservación.
- 3.- Industrial incluye comercial.
- 4.- La determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares deberá realizarse únicamente en los casos que se pretende demostrar que se está cumpliendo con los límites máximos permisibles.



### 4.3 Referencias Bibliográficas

AUTORIDAD NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, 2005. "Anteproyecto de Normas de Calidad de Aguas Marinas y Costeras". Dirección de Calidad Ambiental, Gobierno de Panamá.

CONAMA, 2004. "Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas". Departamento de Control de la Contaminación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. 4-18P.

CONAMA, 2007. "Proyecto Definitivo de Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua". Comisión Nacional del Medio Ambiente, 4, 7P.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2005. "Real Decreto 9/2005. Establece Relación de Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo y los Criterios y Estándares para la Declaración de Suelos Contaminados". España, A6.

MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND ENVIRONMENT. 2000. DBO/1999226863 "Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation". Directorate-General for Environmental Protection, Department of Soil Protection. Holanda.

NCh1333.Of87 Mod. 1987 Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.

NCh410.Of96 Calidad del Agua – Vocabulario.

NCh411/1.Of96 Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el Diseño de Programas de Muestreo.

NCh411/2.Of96 Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre Técnicas de Muestreo.

NCh411/3.Of96 Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la Preservación y Manejo de las Muestras.

NCh411/4.Of97 Calidad del agua - Muestreo - Parte 4: Guía para el muestreo de Lagos Naturales y Artificiales.

NCh411/6.Of98 Calidad del agua - Muestreo - Parte 6: Guía para el Muestreo de Ríos y Cursos de Agua.

NCh411/10.Of05 Calidad del agua - Muestreo - Parte 10: Guía para el Muestreo de Aguas Residuales.



**ASESORÍA SAG**  
**MONITOREO FRENTE DERRAMES DE HIDROCARBUROS**

NCh411/11.Of98 Calidad del agua - Muestreo - Parte 11: Guía para el Muestreo de Aguas Subterráneas.

SERMANAT, 2003. "NOM-138-SERMANAT/SS-2003. *Limites Permisibles de Hidrocarburos en Suelos y las Especificaciones para su Caracterización y Remediación.* Secretaria Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.



***ANEXO I***  
***GLOSARIO DE TÉRMINOS***

---

## **GLOSARIO**

---

Aguas Residuales	: Aguas de composición variada provenientes de las descargas del uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario, o doméstico, incluyendo fraccionamientos y en general cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.
Contaminante	: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones y periodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental (LBGMA, Art. 2 letra d, Título I).
Daño Ambiental	Toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes (LBGMA, Art. 2 letra e, Título I).
Derrame de Hidrocarburos	Accidente que puede originarse en instalaciones petroleras durante las actividades de explotación, transformación, comercialización o distribución de petróleo y sus derivados. Los derrames de hidrocarburos se pueden presentar en tierra, aguas continentales o en el mar.
Ductos	Tuberías destinadas para transportar productos petrolíferos a terminales de almacenamiento, embarque y distribución, o bien de una planta o refinería a otra.
Estándar de Remediación	: Concentración de referencia hasta la cual los sitios deberían ser remediados o una concentración establecida como objetivo a largo plazo.
Exposición	: Es el contacto de un individuo o población o biota con un agente físico o químico crítico.
Fuga	Salida o escape de un líquido o gas, causado por algunos efectos de la corrosión a la estructura metálica. También existen algunos factores internos o externos que provocan las fugas tales como laminaciones, grietas, fisuras, golpes o defectos de fabricación, entre otros.
Hidrocarburos	: Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.



**ASESORÍA SAG**  
**MONITOREO FRENTE DERRAMES DE HIDROCARBUROS**

Ingesta	: Cantidad de sustancia que penetra en el cuerpo por vía oral, independientemente de que sea o no absorbida (pase a la sangre); la ingesta diaria total es la suma de todas las cantidades de esa sustancia que penetra en el individuo a través de los alimentos, del agua e incluso del aire.
Muestra	Porción de materia seleccionada de una cantidad representativa del todo.
Peligro	: Es el origen del riesgo, el cual se refiere a la capacidad intrínseca de las sustancias a causar daño. El término "Peligros" define la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos.
Petróleo	: Mezcla compleja formada esencialmente por hidrocarburos, también contiene pequeñas cantidades de otros elementos que se combinan con ellos, tales como azufre, oxígeno, nitrógeno, níquel, vanadio, arsénico y cromo.
Punto de Exposición	: Cualquier contacto potencial entre receptores o bienes a proteger con un medio contaminado. Los puntos de exposición más importantes son aquellos dónde la concentración que va a ser contactada sea la más alta y dónde el receptor se clasifique como un grupo sensible.
Remediación	: Reducción del riesgo a la salud humana y/o medio ambiente a niveles aceptables. La forma e intensidad de la intervención quedará establecida en función del tipo y detalle de la evaluación de riesgo realizada en el sitio.
Riesgo	: Probabilidad de ocurrencia de un daño, de una pérdida o de un evento peligrosos en un sitio contaminado o potencialmente contaminado y su entorno.
Riesgo Ecológico	Probabilidad de que se produzcan efectos negativos que se pueden generar en los ecosistemas como consecuencia de la implementación de alguna actividad productiva.
Ruta de Exposición	: La trayectoria que sigue un tóxico desde la fuente de emisión hasta el contacto con el receptor. Una ruta está completa si hay una liberación de una sustancia desde una fuente, un escenario de exposición donde pueda ocurrir un contacto y una vía de exposición o ingreso.
Sedimentos	: Partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de las rocas, por precipitación química de las soluciones acuosas o por secreciones de organismos, transportadas por el agua o el viento.





***ANEXO II***  
***ESTUDIO CASO PILOTO***  
***“VERTEDERO DE QUILPUÉ”***

---

---

# INFORME RESULTADOS MUESTREO ESTUDIO DE CASO VERTEDERO QUILPUE

---

**Versión Final**



**Elaborado por el Consultor  
Sr. Gustavo Castro Varela  
Ing. Ambiental**

**Quillota, Junio del 2007.**



## INDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>Marco del Estudio</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Antecedentes Caso Piloto</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Procedimiento de Muestreo</b>	<b>5</b>
<b>4.1</b>	<b>Tranques con Aguas Crudas.</b>	<b>8</b>
<b>4.2</b>	<b>Fondo de Quebrada con Aguas Crudas y Residuales.</b>	<b>8</b>
<b>4.3</b>	<b>Interior Vertedero con Aguas Residuales.</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Información Puntos de Muestreo</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Análisis de Laboratorio</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Resultado Laboratorio</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Discusiones</b>	<b>12</b>
<b>9</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>17</b>
<b>10</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>20</b>
<b>11</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>21</b>
<b>12</b>	<b>Anexos</b>	<b>23</b>
<b>12.1</b>	<b>Anexo 1: Autorización Ingreso Vertedero</b>	<b>23</b>
<b>12.2</b>	<b>Anexo 2: Cartografía Temática Programa Muestreo 2007</b>	<b>23</b>
<b>12.3</b>	<b>Anexo 3: Registros Resultado Análisis de Laboratorio</b>	<b>23</b>



## **1 MARCO DEL ESTUDIO**

El Servicio Agrícola Ganadero V Región contrató a PRASA Ltda. – Proyectos y Asesorías Ambientales, una asesoría para diseñar y aplicar un procedimiento de monitoreo frente a derrames de hidrocarburos. En el marco del estudio se llevó a cabo un caso piloto de muestreo en un sitio con a) evento de contaminación por hidrocarburos y b) datos de análisis de laboratorio para el parámetro hidrocarburos totales, que permitan evaluar la evolución en el tiempo de la contaminación en las matrices ambientales aguas y sedimentos.

El procedimiento de muestreo fue realizado los días 15 y 30 de marzo del presente año, el sitio del caso piloto elegido corresponde al Vertedero de Quilpué y su área de influencia aguas debajo de la cuenca, lugar donde se ubican una serie de tranques que alimentan el estero de Quilpué.

Los participantes del estudio fueron la Sra. Ninoska Guilardes, Encargada Departamento Protección Recursos Naturales, la Sra. Ema Martínez, Encargada Gestión Ambiental y el Sr. Cristián Urzúa, Encargado de Fauna, pertenecientes al Servicio Agrícola y Ganadero V Región, en adelante SAG. La contraparte técnica del estudio fue el Sr. Gustavo Castro, Ingeniero Ambiental de PRASA.

El informe detalla los antecedentes del sitio utilizado como caso piloto, los procedimientos de muestreo, las metodologías de análisis de laboratorio utilizadas en la determinación de los niveles de hidrocarburos, resultados, discusiones, conclusiones y recomendaciones para el sitio. A partir de estos antecedentes, el presente informe expone los requerimientos del SAG para velar por la protección de los recursos naturales del sector afectado, conocer la evolución de la contaminación causada por el vertedero de Quilpué y determinar los controles ambientales necesarios para su monitoreo y seguimiento.

## **2 OBJETIVO**

El objeto principal del muestreo es aplicar un procedimiento de monitoreo frente a un derrame de hidrocarburos, a un caso piloto de contaminación por hidrocarburos en las matrices ambientales aguas y sedimentos.

Los objetivos secundarios son evaluar el estado actual de las matrices ambientales afectadas por derrame de hidrocarburos, ocurrido en julio del año 2005, y determinar los controles ambientales pertinentes para su monitoreo y seguimiento durante el proceso de cierre del vertedero Quilpué, asegurando la protección oportuna de los recursos naturales del sector.

### 3 ANTECEDENTES CASO PILOTO

El sitio elegido para el caso piloto corresponde al vertedero de Quilpué, administrado por la empresa Demarco S.A.. La instalación esta ubicada en el área norte de la comuna de Quilpué, sus coordenadas UTM son N 274273 y E 6342975, medidas con *Datum PSAD 56*, a una altura aproximada de 230 m.s.n.m. (ver figura N°1).



Figura N°1. Vista aérea ubicación del vertedero y tranques

El vertedero esta emplazado en la parte más alta de un lomaje que desciende en dirección oriente hacia un humedal formado por una serie de tranques conectados entre si por un canal de rebalse (ver figura N°2). La ubicación de los tranques en forma descendiente es "Raab", "El Álamo" y "El Sauce".



Figura N°2. Vista aérea del sector de los tranques

Los tranques están comunicados con el vertedero a través de una quebrada (ver figura N°3) que corre desde la parte más alta de la cuenca donde está emplazado el vertedero hasta la parte baja donde se ubican los tranques. Las aguas que bajan tienen influencia directa por aporte superficial a los tranques "El Álamo" y "El Sauce".



**Figura N°3. Vista aérea del fondo de quebrada**

En base a la información recabada entregada por el SAG V Región, son expuestos los principales antecedentes sobre el evento de contaminación por hidrocarburos:

- 28/07/2005, primer informe de fiscalización, inspección ocular del lugar por profesionales del SAG ante denuncia de contaminación, encontrándose presencia visible de material viscoso de color negro, potencialmente correspondiente a hidrocarburos en tres cuerpos de agua.
- 04/08/2005, primer informe de fiscalización, toma de muestras en tranques, fondo de quebrada y al interior del vertedero. Muestras son enviadas a laboratorio para determinar presencia de hidrocarburos.
- 18/08/2005, primer informe de fiscalización, los principales impactos detectados son daño a la fauna (población de coipos), ecosistemas de vida silvestre (tranques) y aguas de riego (producción local de flores). Se expone la necesidad de analizar solicitud de intervención del Consejo de Defensa del Estado por Daño Ambiental.
- 30/08/2005, antecedentes del evento de contaminación por hidrocarburos son remitidos al Director Regional de CONAMA.
- 26/09/2005, segundo informe de fiscalización, el resultado de los análisis indican presencia de hidrocarburos en los tranques, fondo de quebrada y al interior del vertedero, superando el punto testigo determinado para el sector, con una alta concentración de hidrocarburos en la salida de percolados del vertedero y en su interior en la torta de residuos.



Los resultados de los análisis de laboratorio realizados el año 2005 para el parámetro hidrocarburos totales, ahora en adelante HCT, son mostrados en la tabla N°1.

**Tabla N°1. Resultados Análisis Laboratorio HCT año 2005**

N°	Nombre	HCT en Agua [mg/L]	HCT en Sedimentos [mg/K]
1	Tranque Raab (Testigo)	0,52	0,5
2	Tranque El Álamo	0,54	58,8
3	Tranque El Sauce	0,83	22,2
4	Tranque La Cantera	1,8	60,8
5	Pozos Parcela 8	0,41	31,9
6	Cuenca Próxima Vertedero	0,84	25,4
7	Salida Percolados Vertedero	14,07	67,2
8	Acopio Vertedero	14,34	19,7

Fuente: Laboratorio Toxicología UPA, 2005.

El punto testigo usado para comparar las concentraciones de HCT en el sector, corresponde al Tranque Raab, la selección del testigo se fundamenta en que el cuerpo de agua no recibe aporte directo por aguas superficiales desde la quebrada que baja desde el vertedero.

En el caso de las aguas, el comportamiento de la concentración de HCT es directamente proporcional a la distancia del punto al vertedero para las aguas con escorrentía superficial. El agua subterránea presenta un valor más bajo de HCT que el punto testigo.

Los sedimentos, presentan una heterogénea distribución con una alta concentración de HCT en la salida de percolados del vertedero y en los tranques "La Cantera" y "El Álamo". Ningún punto de muestreo presentó un valor inferior al punto testigo.

#### **4 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO**

El programa de muestreo en aguas y sedimentos, fue desarrollado utilizando los puntos propuestos al SAG en "Informe de Reconocimiento Terreno". El programa de muestreo fue ejecutado en dos fechas, en virtud de la necesidad de coordinar autorización de ingreso al vertedero para la toma de muestras con la empresa Demarco S.A., responsable de su administración (ver anexo 1).

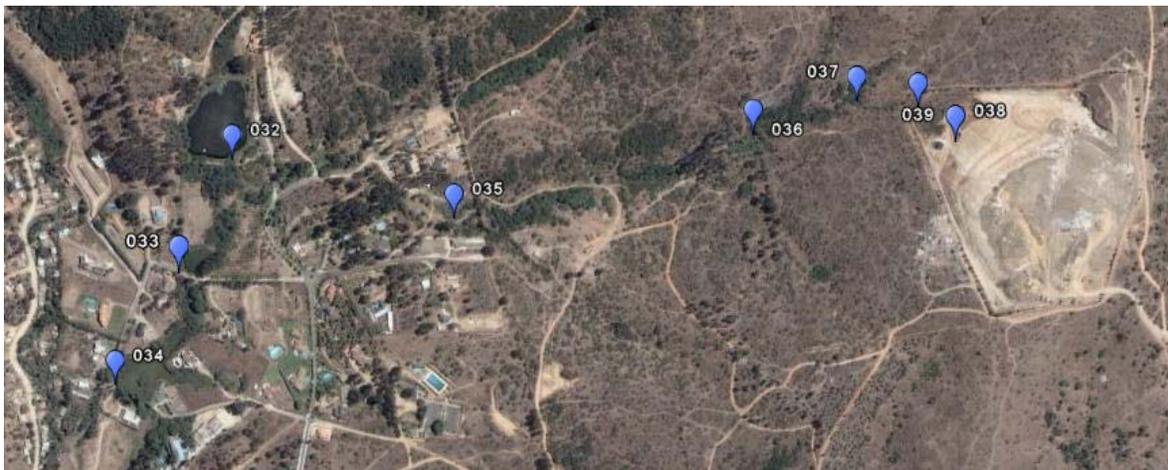
En la primera salida (fecha 15-03-07), se cubrió los sectores aledaños al vertedero, tomándose dos (2) puntos en la quebrada que baja desde la cuenca donde se ubica el vertedero hasta el sector de los tranques, un (1) punto en pozo de agua subterránea y tres (3) puntos en los tranques del sector.

En la segunda salida (fecha 30-03-07), se abarcó el interior del vertedero, tomándose un (1) punto en el acopio de lixiviados y un (1) en la salida de los percolados. Ambos puntos ubicados en el codo nororiente de la instalación, lugar donde se forma la quebrada que corre aguas abajo hacia el sector de los tranques.

En la matriz ambiental aguas se tomaron un total de ocho (8) muestras, conformada por cuatro (4) muestras de aguas crudas y cuatro (4) muestras de aguas residuales. Para la matriz ambiental sedimentos se tomó un total de siete (7) muestras, totalizada por tres (3) muestras de sedimentos de los tranques, tres (3) muestras de sedimentos en el lecho de escurrimiento del fondo de quebrada y una (1) muestra de sedimento al interior del vertedero en la zona de acumulación de lixiviados.

Los puntos fueron georreferenciados con equipo de posicionamiento satelital *GARMIN GPSmap 60 CS* en coordenadas UTM utilizando *Datum PSAD56*, en anexo 2 se muestra cartografía temática levantada del programa de muestreo 2007.

En las siguientes figuras se pueden observar la ubicación de los puntos de muestreo para aguas (ver figura N°4) y sedimentos (ver figura N°5). Las vistas de fondo corresponden a imagen *Quick Bird* del programa *Google Earth* con captura de vuelo del 11-01-07 y vista de altura de 500 metros, donde se aprecia el área del vertedero de Quilpué y la quebrada que corre hasta el humedal, donde están localizados los tranques.



**Figura N°4. Puntos de Muestreos en Aguas Crudas y Residuales**



**Figura N°5. Puntos de Muestreos en Sedimentos**

La ubicación geográfica de los puntos de muestreo en aguas y sedimentos son indicados en la tabla N°2.

**Tabla N°2. Puntos de Muestreo en Aguas y Sedimentos**

Registro GPS	Nombre	Ubicación UTM	Altura [m]	Fecha
032	Tranque Raab (Testigo)	E 0273285 N 6343453	151	15-03-07
033	Tranque El Álamo	E 0273243 N 6343311	138	15-03-07
034	Tranque El Sauce	E 0273109 N 6343133	129	15-03-07
035	Pozo Parcela 8	E 0273588 N 6343358	148	15-03-07
036	Cuenca I Próxima Vertedero	E 0274000 N 6343479	163	15-03-07
037	Cuenca II Próxima Vertedero	E 0274140 N 6343537	173	15-03-07
039	Salida Percolados Vertedero	E 0274225 N 6343531	181	30-03-07
038	Acopio Vertedero	E 0274275 N 6343488	188	30-03-07

Fuente: Elaboración Propia sobre registro de GPS, 2007.

El proceso de muestreo se realizó acorde a las consideraciones técnicas y precauciones de seguridad establecidas en procedimiento muestreo de aguas y sedimentos, desarrollado en el marco del estudio.



El programa de muestreo utilizado es del tipo dirigido<sup>1</sup>. La elección se fundamenta en la evidencia de contaminación del sitio por hidrocarburos, los resultados de laboratorio del año 2005 así lo confirman. Por otra parte, es de interés del SAG conocer la evolución que ha tenido la contaminación causada por los hidrocarburos derramados en las matrices ambientales afectadas, recopilando información sobre la concentración del parámetro HCT, movimiento y distribución.

Las muestras tomadas corresponden al tipo simple. En virtud de la necesidad de recolectar información sobre la concentración de los hidrocarburos en un punto de muestreo y momento particular.

Para efectos del programa de muestreo el sitio fue dividido en tres sectores:

- a. Tranques con aguas crudas.
- b. Fondo de Quebrada con aguas crudas y residuales.
- c. Interior vertedero con aguas residuales.

#### **4.1 Tranques con Aguas Crudas.**

En el sector de los tranques fueron tomados tres puntos; uno en Tranque Raab (032), uno en Tranque El Álamo (033) y uno en Tranque El Sauce (034). En este sector se tomaron muestras de aguas y sedimentos.

Para el muestreo de aguas crudas se recolectaron muestras simples con un volumen aproximado de 1 litro de agua extraída de los tranques a una distancia de 2 metros de la orilla con una profundidad de 0,2 metros. El procedimiento se efectuó dos veces para muestra y contramuestra con preservante.

Para el muestreo de sedimentos se obtuvieron muestras simples con pala manual, en el mismo punto de muestreo donde se recolectaron las muestras de agua, el sedimento fue limpiado retirando objetos extraños mayores y la materia orgánica presente, posteriormente fue homogenizado y colocado en envase de muestreo.

#### **4.2 Fondo de Quebrada con Aguas Crudas y Residuales.**

En el sector del fondo de quebrada fueron tomados tres puntos; uno en pozo de agua (035), uno en cuenca I próxima al vertedero (036) y uno en cuenca II próxima al vertedero (037). En el punto pozo de agua se tomó muestra de aguas subterráneas, considerando una eventual contaminación de la napa subterránea, no se realizó muestreo de sedimento. En los puntos cuenca I y II se tomaron muestras de aguas y sedimentos.

---

<sup>1</sup> Muestreo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, existe conocimiento sobre el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación.



Para las muestras de aguas residuales se recolectaron muestras simples con un volumen aproximado de 1 litro de agua extraída desde el fondo de quebrada, en razón del bajo caudal existente en el lecho se procedió a tomar serie de muestras en el mismo punto hasta alcanzar el volumen requerido. El procedimiento se efectuó dos veces para muestra y contramuestra con preservante.

Para el muestreo de sedimentos se obtuvieron muestras simples con pala manual, en el mismo punto de muestreo donde se recolectaron las muestras de agua, el sedimento fue limpiado retirando objetos extraños mayores y la materia orgánica presente, posteriormente fue homogenizado y colocado en envase de muestreo.

### **4.3 Interior Vertedero con Aguas Residuales.**

En el interior del vertedero se tomaron dos puntos, uno en la piscina acopio lixiviados (039) y uno en fondo quebrada ubicado en el codo nororiente del vertedero (038).

Para el muestreo de aguas residuales se recolectaron muestras simples con un volumen aproximado de 1 litro de agua extraída desde la piscina de acopio de lixiviados, desde su orilla con una profundidad de 0,1 metros. El procedimiento se efectuó dos veces para muestra y contramuestra con preservante.

Para el muestreo de sedimentos se obtuvieron muestras simples con pala manual, en el mismo punto de muestreo donde se recolectaron las muestras de agua, el sedimento fue limpiado retirando objetos extraños mayores, posteriormente fue homogenizado y colocado en envase de muestreo.

## **5 INFORMACIÓN PUNTOS DE MUESTREO**

En cada punto se efectuaron las siguientes actividades; georreferenciación con GPS, registro fotográfico y observaciones asociadas al sitio y procedimiento de muestreo. La información recolectada se consolidó en registro de campo preparado por el consultor.

En la tabla N°3 es señalada el tipo de agua de los puntos de muestreo para efecto de los análisis de laboratorio.

**Tabla N°3. Puntos de Muestreo Caso Piloto 2007**

Nombre	Tipo de Agua
Tranque Raab (Testigo)	Cruda
Tranque El Álamo	Cruda
Tranque El Sauce	Cruda
Pozo Parcela 8	Cruda
Cuenca I Próxima Vertedero	Residual
Cuenca II Próxima Vertedero	Residual
Salida Percolados Vertedero	Residual
Acopio Vertedero	Residual

Fuente: Elaboración Propia sobre registro de campo, 2007.

En la tabla N°4 es descrito el tamaño de las partículas (textura) de los suelos en los puntos de muestreos, dicha clasificación está basada en el análisis granulométrico que proporciona el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). La identificación de las texturas se realizó por prueba de plasticidad.

**Tabla N°4. Tamaño de Partículas del Suelo en los Puntos de Muestreo**

Nombre	Tamaño Partículas Sedimentos
Tranque Raab (Testigo)	Limo - Arcilla
Tranque El Álamo	Limo - Arcilla
Tranque El Sauce	Limo - Arcilla
Pozo Parcela 8	No
Cuenca I Próxima Vertedero	Arena - Limo
Cuenca II Próxima Vertedero	Arena - Limo
Salida Percolados Vertedero	Arena - Limo
Acopio Vertedero	Arena

Fuente: Elaboración Propia sobre registro de campo, 2007.

## 6 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras fueron enviadas para su análisis al Laboratorio de Toxicología de la Universidad de Playa Ancha, los métodos utilizados para determinar HCT en la diferentes matrices ambientales son señalados en la tabla N°5.

**Tabla N°5. Métodos Analíticos Determinación HCT**

Matriz	Método
Aguas Crudas	Standard Methods 5520F
Aguas Residuales	NCh 2313/7 Of.97
Sedimentos	Standard Methods 5520F

Fuente: Laboratorio Toxicología UPA, 2005.

Las aguas residuales fueron analizadas mediante técnica de gravimetría para determinar hidrocarburos fijos (NCh 2323/7 Of97). Para la cuantificación de residuos de hidrocarburos en las aguas crudas y los sedimentos se utilizó ensayo 5520 F según *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* publicado por las organizaciones APHA<sup>2</sup>, AWWA<sup>3</sup> y WEF<sup>4</sup>.

## 7 RESULTADO LABORATORIO

Los resultados de laboratorio del programa de muestreo realizado en el mes de marzo del presente año, para el parámetro hidrocarburos totales, son resumidos en la tabla N°6. Los registros de los análisis del laboratorio son adjuntados en el anexo 3.

**Tabla N°6. Resultados Análisis Laboratorio HCT año 2007**

Nº	Nombre	HCT en Aguas [mg/L]	HCT en Sedimentos [mg/K]
1	Tranque Raab (Testigo)	0.91	39.5
2	Tranque El Álamo	1.13	90
3	Tranque El Sauce	1.16	189.5
4	Pozos Parcela 8	0.96	
5	Cuenca I Próxima Vertedero	0.85	59.0
6	Cuenca II Próxima Vertedero	0.73	21.8
7	Salida Percolados Vertedero	0.074	1
8	Acopio Vertedero	0.064	1

Fuente: Laboratorio Toxicología UPA, 2007.

El punto testigo de comparación de las aguas y sedimentos del sector corresponde al Tranque Raab, cuerpo de agua artificial fuera del área de influencia directa por aporte superficial de las aguas que bajan por la quebrada desde el vertedero.

El programa de muestreo se realizó en dos etapas, con similares condiciones meteorológicas sin presencia de precipitaciones entre las fechas de muestreo, que pudieran alterar la concentración de HCT en las matrices ambientales aguas y sedimentos.

<sup>2</sup> APHA: American Public Health Association.

<sup>3</sup> AWWA: American Water Works Association

<sup>4</sup> WEF: Water Environment Federation.

## 8 DISCUSIONES

La distribución del parámetro hidrocarburos en la zona cubierta bajo el monitoreo es heterogénea (ver tabla N°6). Se observa un incremento en los niveles de HCT en el sector de los tranques y la sección media de la quebrada, tanto en aguas como sedimento, con relevancia de éste último. Por el contrario, la concentración de hidrocarburos al interior del vertedero presenta una considerable disminución en comparación a los valores registrados en programa de monitoreo del año 2005, especialmente en la matriz aguas.

Para comprender la distribución y la evolución en el tiempo de la concentración de los hidrocarburos en el sector muestreado, el consultor considera necesario efectuar una descripción y análisis detallado por cada punto de muestreo, con especial interés de dos puntos (1) Tranque Raab (Testigo) y (2) Pozo Parcela 8 (Aguas Subterráneas).

Para el análisis de los puntos de muestreo, el sector fue dividido en tres sectores en función de la pendiente y la textura de los suelos en los puntos de muestreos: (a) tranques con aguas crudas, (b) fondo de quebrada con aguas crudas y residuales y (C) interior vertedero con aguas residuales.

El sector de Tranques con aguas crudas esta compuesto por los puntos "Raab" (testigo), "El Álamo" y "El Sauce".

El punto tranque Raab o testigo, esta situado en una propiedad privada sin intervención de terceros, dicho cuerpo de agua se utilizó para comparar la calidad de las aguas y sedimentos del sector con los resultados de los análisis de laboratorio del programa de muestreo 2007. El tranque mostró un importante aumento de HCT en sus aguas con una concentración de 0,91 mg/l y en sedimentos un valor de 39,5 mg/k, lo que se traduce en un incremento en la concentración de hidrocarburos respecto de la campaña de monitoreo del año 2005 en un 75% y 7800% respectivamente. Los niveles de HCT en el punto testigo son mayores a los puntos muestreados en la parte alta de la cuenca y al interior del vertedero. Por tanto, la calidad de sus aguas y sedimentos no son representativos para futuros monitoreos en el sector. Aguas arriba del Tranque Raab (1,3 kilómetros) existe un tranque artificial, visitado en terreno de reconocimiento, usado como respaldo para el regadío de parras viníferas, que puede ser usado como punto testigo en futuros monitoreos.

El punto tranque El Álamo, esta situado entre los tranques Raab y El Sauce. Los valores de HCT en sus aguas registran una concentración de 1,13 mg/l y en sus sedimentos de 90 mg/K, lo que representa un incremento en los niveles de hidrocarburos respecto del muestreo del año 2005 en un 109% y un 53% respectivamente.



El punto tranque El Sauce es el cuerpo de agua con la menor cota de altura, sus aguas rebalsan al Estero Quilpué. Los valores de HCT en aguas es de 1,16 mg/l y en sedimentos de 189,5 mg/k, lo que implica un aumento en la concentración de hidrocarburos respecto del monitoreo del año 2005 en un 40% y un 754% respectivamente. La concentración de 189,5 mg/k de HCT es el valor más alto detectado en la matriz de sedimentos.

El tranque La Cantera, no fue muestreado en virtud de no contar con aguas ni evidencia visual de contaminación por hidrocarburos en el perfil de su lecho. El sitio en cuestión no corresponde a un tranque propiamente tal. Su ubicación y forma perpendicular a la quebrada, permiten la acumulación natural de las aguas en forma temporal de las aguas que bajan por la quebrada en período de precipitaciones intensas.

En este primer sector la pendiente de los puntos de muestreo es plana (0 a 1%), el agua se encuentra detenida en los tranques, solo es desplazada por rebalse natural de los cuerpos de aguas cuando sobrepasan el nivel máximo de almacenamiento. Los valores para la sección en orden descendente son; Tranque Raab (Testigo), HCT en agua 0,91 mg/l y en sedimentos 39,5 mg/k; Tranque El Álamo, HCT en aguas 1,13 mg/l y en sedimentos 90 mg/k y; Tranque El Sauce, HCT en aguas 1,16 mg/l y en sedimentos 189,5 mg/k. La pendiente plana de los puntos muestreados facilita el proceso de decantación de la fracción fija o pesada del hidrocarburo permitiendo su acumulación en los sedimentos, el menor diámetro de las partículas de limo (menor a 0,05 mm.) y arcilla (menor a 0,002 mm.) ofrecen una mayor área de contacto para retener la fracción fija de hidrocarburos en su matriz con un área específica de 45,4 m<sup>2</sup>/Kg y 1,130 m<sup>2</sup>/Kg respectivamente. Condiciones que explican la alta concentración de hidrocarburos existente en los tranques.

El sector de fondo de quebrada con aguas crudas y residuales esta formado por los puntos "Pozo Parcela 8", "Cuenca I" y "Cuenca II".

El punto pozo parcela 8, es representativo de la calidad de las aguas subterráneas del sector, presenta un aumento del nivel de HCT en sus aguas con un valor de 0,96 mg/l, lo que constituye un incremento respecto del monitoreo del año 2005 de un 134%. Cercano al pozo (10 metros) se ubicada una segunda instalación, en la actualidad clausurada. Según lo expuesto por trabajadores del sector el cierre del pozo se debió a la mala calidad y olor de sus aguas. Aún cuando los niveles de HCT en las aguas subterráneas son relativamente bajos, pero mayores al testigo (0,91 mg/l). El consultor manifiesta su inquietud por el aumento en la concentración de HCT con respecto al monitoreo del año 2005.

La presencia de hidrocarburos en la napa subterránea puede estar asociada a la infiltración de combustible del tipo gasolina, capaz de desplazarse verticalmente en el terreno (infiltración) por advección<sup>5</sup>. No es posible contar con mayores análisis químicos para determinar o caracterizar el tipo de contaminante.

El punto cuenca I, corresponde al lecho de drenaje de la sección media de la quebrada donde el flujo de agua que baja es intermitente, los valores de HCT en aguas indican una concentración en aguas de 0,85 mg/l y en sedimentos de 59,0 mg/k, lo que representa un aumento respecto del año 2005 del 1% y 132 % respectivamente. El valor actual de los hidrocarburos en la matriz aguas es menor al punto testigo.

El punto cuenca II, corresponde al lecho de drenaje de la sección alta de la quebrada donde el flujo de agua es bajo y constante, la concentración de HCT en aguas registra un valor de 0,73 mg/l y en sedimentos de 21,8 mg/k, ambos valores son menores al punto testigo. Este punto de muestro fue incluido en la campaña de monitoreo 2007, para tener un seguimiento sobre una eventual presencia de hidrocarburos en el flujo de agua que baja por el lecho de drenaje de la quebrada en forma continua.

En la segunda sección se observa la calidad de las aguas subterráneas (cruda) y superficiales (residuales) que bajan por la línea de drenaje de la quebrada. Las aguas subterráneas muestreadas en pozo situado cercano al lecho de escorrentía, mostraron un incremento en la concentración de HCT en sus aguas, coincidente con el aumento del punto testigo, ubicado fuera del área de influencia por aporte superficial de las aguas que bajan por la quebrada desde el vertedero. Cualquier relación entre los puntos mencionados debe ser precisada con estudios de calidad de aguas subterráneas más detallados, considerando un mayor número de puntos de muestreos a lo largo de la cuenca. Por otra parte, las aguas superficiales del sector tienen una pendiente suavemente inclinada (2 a 3%) y continua, la escorrentía superficial a lo largo de la quebrada es intermitente y los sedimentos muestreados tienen una textura del tipo arcilla arena. Los valores para la sección en forma ascendentes son; Cuenca I, HCT en agua 0,85 mg/l y en sedimentos 59,0 mg/k; Cuenca II, HCT en agua 0,73 mg/l y en sedimentos 21,8 mg/k. La pendiente suavemente inclinada facilita el desplazamiento de las aguas y la presencia de arenas con un diámetro de las partículas del orden de 0,1 mm. (fracción fina) y hasta 1 mm. (fracción gruesa), ofrecen una baja área específica de contacto y una alta permeabilidad, lo que se traduce en una baja capacidad de retención de elementos orgánicos como los hidrocarburos. Además, las precipitaciones facilitan el arrastre de elementos y sustancias en las aguas hasta la parte baja de la cuenca donde están emplazados los tranques. Estas condiciones explican el desplazamiento del derrame de hidrocarburos ocurrido el año 2005.

---

<sup>5</sup> Movimiento de partículas de un contaminante debido a la velocidad del fluido, en suelos y acuíferos el flujo casi siempre es laminar.



En la actualidad, el factor limitante en el transporte (movilidad) de los contaminantes en esta sección es el bajo caudal de aguas que transporta la quebrada. Esta hipótesis es corroborada con el punto de muestreo cuenca I, flujo intermitente de aguas hasta desaparecer, donde el valor de HCT en sedimentos es de 59,0 mg/k correspondiente al nivel más alto detectado en la parte alta de la cuenca. Los sectores donde la velocidad de circulación del agua es lenta se observa una fuerte coloración rojiza atribuible a la presencia de aguas con presencia de lixiviados.

El sector interior vertedero con aguas residuales esta compuesto por los puntos "Salida de Percolados" y "Acopio de Lixiviados".

El punto salida de percolados desde el vertedero, corresponde al lugar de formación de la quebrada que baja por la cuenca hacia el sector de los tranques. El valor de HCT en la matriz aguas es de 0,074 mg/l y en sedimentos de 1 mg/k, lo que representa una disminución en comparación a la campaña de muestreo del año 2005 de un 99,47% y un 98,51% respectivamente. Los niveles de hidrocarburos detectados son considerablemente menores al punto testigo.

El punto acopio de lixiviados, corresponde a piscina de acumulación de lixiviados ubicada en el límite inferior del depósito de residuos, registró un valor de HCT en la matriz aguas de 0,064 mg/l y en sedimentos de 1 mg/k, lo que implica una disminución en relación al muestreo del año 2005 en un 99,55% y un 94,92% respectivamente. Las concentraciones de hidrocarburos registradas son ampliamente menores al punto testigo.

En la tercera sección se observa una baja concentración de HCT, tanto en aguas como en sedimentos, cercanas al límite de detección de los métodos. Los antecedentes recabados en el terreno de muestreo dan cuenta del mejoramiento existente en el manejo de los lixiviados ejecutados por la administración del vertedero, así como un mayor control en el tipo de residuos que recibe. Los puntos de muestreos señalados en el párrafo anterior presentan una disminución en la concentración de HCT cercanas al 100%. En contraste al año 2005, donde la salida de percolados y acopio lixiviados presentaban los valores más altos en aguas con 14,07 mg/l y 14,34 mg/l respectivamente. En el caso de los sedimentos alcanzaron concentraciones de 67,2 mg/k y 19,7 mg/k correspondientemente, superando ampliamente el punto testigo. En la actualidad la situación es inversa los valores registrados son considerablemente menores al punto testigo.

En términos generales, el movimiento de los fluidos se ve afectado en gran medida por la presencia de regiones caracterizadas por permeabilidad diferentes (resistencias al flujo). El movimiento se acelera entre regiones de baja permeabilidad o conductividad hidráulica como lo son las arenas (partículas más gruesas) y los contaminantes son acumulados en regiones de permeabilidad media y alta, como los limos y arcillas respectivamente.

Dicho proceso permite entender la distribución de los valores de HCT en el programa de muestreo 2007 considerando la variable textura. La pendiente acelera la velocidad del flujo a lo largo de la cuenca, permitiendo un arrastre de elementos y sustancias en las aguas que bajan por la quebrada. Al nivelar la pendiente, estabilización del terreno, los materiales transportados en las aguas comienzan a sedimentar siendo retenidos en los sedimentos de los tranques, que poseen una gran área específica en razón al pequeño diámetro de sus partículas.

Con el objeto de contribuir a la gestión ambiental del vertedero, en los párrafos siguientes es abordado el control operacional del manejo de los lixiviados y la planificación del cierre vertedero. Las recomendaciones expuestas no son obligatorias ni impositivas. Los antecedentes expuestos fueron recopilados en terreno de muestreo ejecutado el 15-03-07.

El manejo de los lixiviados en el vertedero es manual y consta de los siguientes elementos; impermeabilización basal en las piscinas de acumulación del lixiviado, ubicadas en la parte baja del vertedero, con una geomembrana de polietileno de alta densidad, protección con una baja permeación<sup>6</sup>. Sin embargo, existe un visible deterioro en su estado presentado rasgaduras, pinchaduras, pérdida de plasticidad y evidencia de abrasión. En algunos puntos la altura de los lixiviados supera el límite superior de la barrera. El retiro de los lixiviados es efectuado con motobomba hacia otras piscinas u camión aljibe para su recirculación en el vertedero, el camino de acceso para el retiro de los lixiviados esta en malas condiciones de tránsito, situación que sumada a precipitaciones podrían anegar la vía e impedir el paso del camión aljibe para el retiro de los lixiviados con riesgo superar la capacidad de almacenamiento de las piscinas, vaciando los lixiviados por la quebrada aguas abajo. La administración del vertedero debiera considerar un sistema automático de recirculación de lixiviados para evitar episodios críticos con peligro de derrames.

Considerando las condiciones de operación del vertedero, la topografía, redes de drenaje y precipitaciones invernales que podrían colapsar el vertedero con el consecuente peligro de derrames de lixiviados. La administración debiera establecer un plan de monitoreo interno que asegure un correcto plan de cierre, considerando parámetros de control sobre las aguas superficiales, subterráneas y lixiviados. Conforme a la experiencia obtenida de programas de monitoreo implementado en otros países en la tabla N° 7 son resumidos los parámetros de monitoreo de referencia utilizados en la vigilancia ambiental de operación del vertedero.

---

<sup>6</sup> Migración normal del lixiviado a través de las capas impermeables.

**Tabla N°7. Parámetros de Control de Rellenos Sanitarios en Matrices Ambientales**

Parámetro	Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas	Lixiviados
pH	✓	✓	✓
Potencial Redox	✓	✓	
Oxígeno Disuelto	✓	✓	
Conductividad Específica	✓	✓	
Temperatura	✓		
Nitrógeno Amoniacal		✓	
Nitritos			✓
Cloruros		✓	✓
Demanda Química de Oxígeno		✓	✓
Sulfatos			✓
Cianuros			✓
Metales: Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Te, Ag, Ta, V y Zn		✓	

Fuente: Solid Waste Association of North America, 1991.

El monitoreo en aguas superficiales debe ser realizado cuando se sabe o se sospecha que el lixiviado está impactando las aguas superficiales de los alrededores o cuando se tiene una preocupación fundada sobre la calidad del agua subterránea. La frecuencia mínima de monitoreo sugerida por la Waste Association of North America, es de 6 a 8 veces por año. Para el monitoreo de aguas subterráneas, el muestreo trimestral de rutina es suficiente para establecer algún cambio significativo en la calidad de las aguas. Para los lixiviados se contempla un muestreo de 6 a 8 veces por año.

## 9 CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de laboratorio y los antecedentes recopilados en los terrenos de reconocimiento y muestreo, permiten entender el proceso de acumulación actual de los hidrocarburos en la zona aledaña al vertedero de Quilpué. Las conclusiones del estudio para el caso piloto de muestreo de hidrocarburos en las matrices ambientales aguas y sedimentos son expuestas a continuación:

(1) El punto testigo (Tranque Raab), tiene un importante incremento en la concentración de hidrocarburos en relación al programa de muestreo del año 2005, alcanzando un valor de HCT en aguas de 0,91 mg/l y en sedimentos de 39,5 mg/k, lo que representa un aumento del 75% y 7800% respectivamente. El alto valor registrado no permite el uso del tranque Raab como testigo en futuros programas de monitoreo. Los puntos de muestreo bajo el valor testigo para aguas son Cuenca I (0,85 mg/l), Cuenca II (0,73 mg/l), Salida de Percolados (0,074 mg/l) y Acopio de Lixiviados (0,064 mg/l). En sedimentos son Cuenca II (21,8 mg/k), Salida de Percolados (1 mg/k) y Acopio de Lixiviados (1 mg/k).

(2) En la matriz aguas las concentraciones de HCT más altas corresponden al Tranque El Sauce (1,16 mg/l) y Tranque El Álamo (1,13 mg/l). Los valores más bajos fueron Salida de Percolados (0,064 mg/l) y Acopio de Lixiviados (0,074 mg/l). Para el caso de la matriz sedimentos los niveles más altos de HCT se registraron en Tranque el Sauce (189,5 mg/k) y Tranque El Álamo (90 mg/kg). Los menores valores corresponden a Salida de Percolados (1 mg/k) y Acopio Lixiviados (1 mg/k).

(3) Los valores máximos y mínimos de HCT dan cuenta de una acumulación progresiva en las aguas y sedimentos de los tranques, ubicados en la parte baja de la cuenca. Por el contrario, en la parte alta en el interior del vertedero los valores indican una baja presencia, observando una correcta operación y manejo de los lixiviados al momento del muestreo.

(4) Existe un aumento en la concentración de HCT en las aguas subterráneas extraídas en pozo situado en la parcela 8. La presencia de HCT puede estar vinculada a la infiltración de un combustible como la gasolina, para evaluar esta posibilidad es necesario realizar muestreo de Hidrocarburos Aromáticos del grupo BTEX<sup>7</sup>, compuesto característico en la bencina.

(5) En general los valores de HCT en las matrices aguas y sedimentos han experimentado un comportamiento disímil, en la parte baja de la cuenca registran un aumento en la concentración de HCT, en especial los sedimentos. En la parte alta de la cuenca los valores son bajos con presencia casi nula de HCT. Esta distribución es inversamente proporcional a la campaña de monitoreo del año 2005. La no intervención oportuna del derrame, es decir su contención y obras de limpieza, permitieron un arrastre del material contaminante desde el vertedero a la parte baja de la cuenca donde están situados los tranques, facilitado por la pendiente y textura de los sedimentos del sector de la quebrada, acumulando la carga contaminante en sus sedimentos. En este sentido las precipitaciones son un factor preponderante en la desestabilización de los controles operacionales del vertedero para el manejo de los lixiviados. En el caso del rebalse de las piscinas de acumulación de lixiviados, producto del aumento en la infiltración de las aguas lluvias, son evacuados del vertedero aguas abajo por la quebrada. El mecanismo manual para el manejo de lixiviados y el aumento de las precipitaciones invernales, son elementos que actúan en forma sinérgica aumentando la posibilidad de episodios críticos con peligro de derrames por la quebrada aguas abajo.

---

<sup>7</sup> Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno, son hidrocarburos aromáticos volátiles, de importancia en la composición de la gasolina debido a su solubilidad y toxicidad.

(6) En forma complementaria a los monitoreos internos efectuados por la administración del vertedero, el SAG debe considerar realizar muestreo propio o independiente a la instalación en el período invernal, posterior a un evento de fuertes precipitaciones, para evaluar el comportamiento de los lixiviados en el vertedero. De esta forma actuar en forma oportuna en la protección de los recursos naturales en caso de un episodio crítico de contaminación por derrame de lixiviados aguas abajo por la quebrada en dirección a los tranques. Los parámetros a monitorear son pH, potencial redox, conductividad específica, temperatura y oxígeno disuelto. Estos parámetros son suficientes para dar una indicación de cambio en la calidad inorgánica del agua. La presencia de contaminantes orgánicos es factible de detectar por HCT. Es indispensable el monitoreo de este parámetro en razón del evento de contaminación ocurrido el año 2005.

(7) En la actualidad el ecosistema entorno a los tranques no ha podido ser recuperado en forma natural, la capacidad de restauración de los cuerpos de agua como hábitat de fauna silvestre esta mermada por la presencia de hidrocarburos acumulados en sus sedimentos. La población de coipos que había en los tranques, con anterioridad al derrame de hidrocarburos, no ha sido devuelta a su hábitat natural y la presencia de avifauna se remite a aves de paso sin nidificación. Además, se ha perdido el abastecimiento de aguas de regadío, antes extraída desde los tranques para su utilización en sistemas productivos locales como flores.

(8) La calidad del ecosistema de los tranques y sus relaciones ecológicas son factibles de recuperar mediante aplicación de alguna técnica de remediación. Los hidrocarburos son compuestos orgánicos biodegradables bajo condiciones controladas. Aún cuando no existe evidencia analítica de nuevos episodios de contaminación por hidrocarburos, existe un proceso de acumulación paulatina en la parte baja de la cuenca donde están los tranques. Es necesario evaluar un programa de restauración en los tranques para subsanar el daño ambiental, que permita recuperar el hábitat acuático y sus relaciones ecológicas de la fauna silvestre. La evaluación debe comprender opciones para el mejoramiento de la calidad de las aguas y los sedimentos de los tranques, así como la reinscripción de las especies afectadas a su medio natural.

## 10 RECOMENDACIONES

El actual punto testigo presenta altos valores de HCT en sus aguas y sedimentos, en razón a lo expuesto es aconsejable cambiar el punto testigo, en terreno de reconocimiento fue visitado un tranque ubicado 1,3 kilómetros aguas arriba del Raab, el cuerpo de agua se ubica al interior de una propiedad privada y presenta buen estado de conservación. Son entregadas las coordenadas de ubicación N 0272843 y E 6344801, georreferenciado con *Datum PSAD56*.

El aumento en la concentración HCT en las aguas subterráneas, tomadas desde pozo situado en la parcela 8, podría estar vinculada a la infiltración de un combustible como la gasolina. Es recomendable realizar muestreo de Hidrocarburos Aromáticos del grupo BTEX en los pozos del sector ubicados aguas abajo del vertedero.

Se debiera realizar un monitoreo de control en el punto salida de percolados, posterior a un evento de precipitaciones intensas, considerando los parámetros pH, potencial redox, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y HCT.

El daño ambiental, causado por el derrame del año 2005, debiera ser abordado en forma conjunta por las partes involucradas para lograr una recuperación de los recursos naturales afectados. Dentro del plan de cierre del vertedero, la administración del vertedero debiera considerar la recuperación del sector afectado por el derrame de hidrocarburos. El éxito de dicha iniciativa esta sujeto a la comunicación entre las partes para desarrollar un programa de restauración en conjunto con la autoridad, a objeto de evitar nuevos episodios críticos de contaminación por hidrocarburos, lixiviados u otros elementos o sustancias que puedan sobrepasar los controles operacionales del vertedero.

Los puntos a cubrir en trabajo de restauración debieran ser monitoreo de parámetros orgánicos e inorgánicos, frecuencia de los muestreos, comunicación de los resultados, recuperación de la calidad de las aguas y sedimentos en los tranques y reinserción de las especies afectadas a su hábitat natural.



## 11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CREA - Universidad de Antofagasta. *Contaminación por hidrocarburos en la zona costera de Antofagasta*, 2005.

CUCHACOVICH Rider, Juan Carlos. *Manual Monitoreo Calidad de Aguas*, 2002, SAG V Región.

EWEIS, Juana B. & ERGAS, Sarina J.. *Principios de Biorremediación (Bioremediation)*, 1999, 1ra Edición, Editorial Mc Graw Hill, España.

FUNDACIÓN CHILE. *Identificación y Confirmación de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes*, 2006.

IAL Ltda.. *Evaluación Ambiental Derrame de Combustible en la Caja de Río Aconcagua*, 2002.

IAL Ltda.. *Evaluación Ambiental Derrame de Combustible IFO-380 en el sector vertientes del Mauco*, 2002.

IGSA Consultores. *Plan Integral de Remediación Contingencia en el oleoducto ConCón-Maipú*, 2001.

IHOBE. *Investigación de los Suelos Contaminados, Guía Técnica: Planes de actuación en vertederos abandonados*, 1999, España.

IHOBE. *Investigación de los Suelos Contaminados, Manual Práctico*, 1999, España.

INE-SEMARNAT. *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*, 2004, México.

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. *Medidas de Mitigación para uso de Suelos Contaminados por Derrames de Hidrocarburos en Infraestructura de Transporte Terrestre*, 2004, Publicación técnica N°257, México.

ITURBE, A.R., Castro, R.A, Madrigal, M.I.. *Técnicas de rehabilitación de suelos y acuíferos*. Series del instituto de Ingeniería, 1998, N° 612. UNAM, México.

JONGE, F, J., VERSTRATEN J.M., & WESTERVELD J., 1997, *Relation between Bioavailability and Fuel Oil Hydrocarbon Composition in Contaminated Soils*. Environ. Sci. Technol.

LINARES-RIVAS DE EGUIBAR, Álvaro & HERRERA RODRÍGUEZ, Fernando *Emplazamientos Contaminados por Hidrocarburos*. 2003, IGME, Madrid.

JACKSON, M.L.. *Análisis Químico de Suelos*, Ediciones Omega. 1964, Barcelona.

NCh1333.Of87 *Requisitos de calidad del agua para diferentes usos*.

NCh410.Of96 *Calidad del agua – Vocabulario*.



NCh411/1.Of96 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.*

NCh411/10.Of05 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.*

NCh411/11.Of98 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 11: Guía para el muestreo de aguas subterráneas.*

NCh411/2.Of96 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo.*

NCh411/3.Of96 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.*

NCh411/4.Of97 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 4: Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.*

NCh411/6.Of98 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.*

NOM-138-SERMANAT/SS-2003. *Limites permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación, 2003, México.*

OPS/CEPIS. *Métodos de Evaluación de Riesgos para la salud Generados por la Exposición a Sustancias Peligrosas Liberadas por Rellenos Sanitarios, 2001.*

RIHM S, Alfredo. & ANACONA B, Claudia. *Proyecto FDI "Riesgos Ambientales Asociados a Sitios Contaminados, Etapa 2", 2004, INTEC-SAG.*

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA BOOK SERIES (SSSA), *Methods of soil analysis, part 2: Microbiological and biochemical properties.* 1994, USA, Wisconsin.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, *Toxicological Profile For Gasoline, 1995.*

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. *Toxicological Profile For Total Petroleum Hydrocarbons (TPH), 1999.*



## **12 ANEXOS**

### **12.1 ANEXO 1: AUTORIZACIÓN INGRESO VERTEDERO**

### **12.2 ANEXO 2: CARTOGRAFÍA TEMÁTICA PROGRAMA MUESTREO 2007**

### **12.3 ANEXO 3: REGISTROS RESULTADO ANÁLISIS DE LABORATORIO**



SANTIAGO, 21 DE MARZO DE 2007

**SRA. GRISEL MONJE VILDOSOLA  
DIRECTORA REGIONAL  
S.A.G. Vª REGION DE VALPARAISO**

**PRESENTE**

Ref. Solicita Autorización que Indica de fecha 20-03-2007

Junto con saludarla y en respuesta a su solicitud de autorización, para ingresar al vertedero de Quilpue a tomar dos muestras puntuales en el interior de dicho vertedero, le comunico lo siguiente:

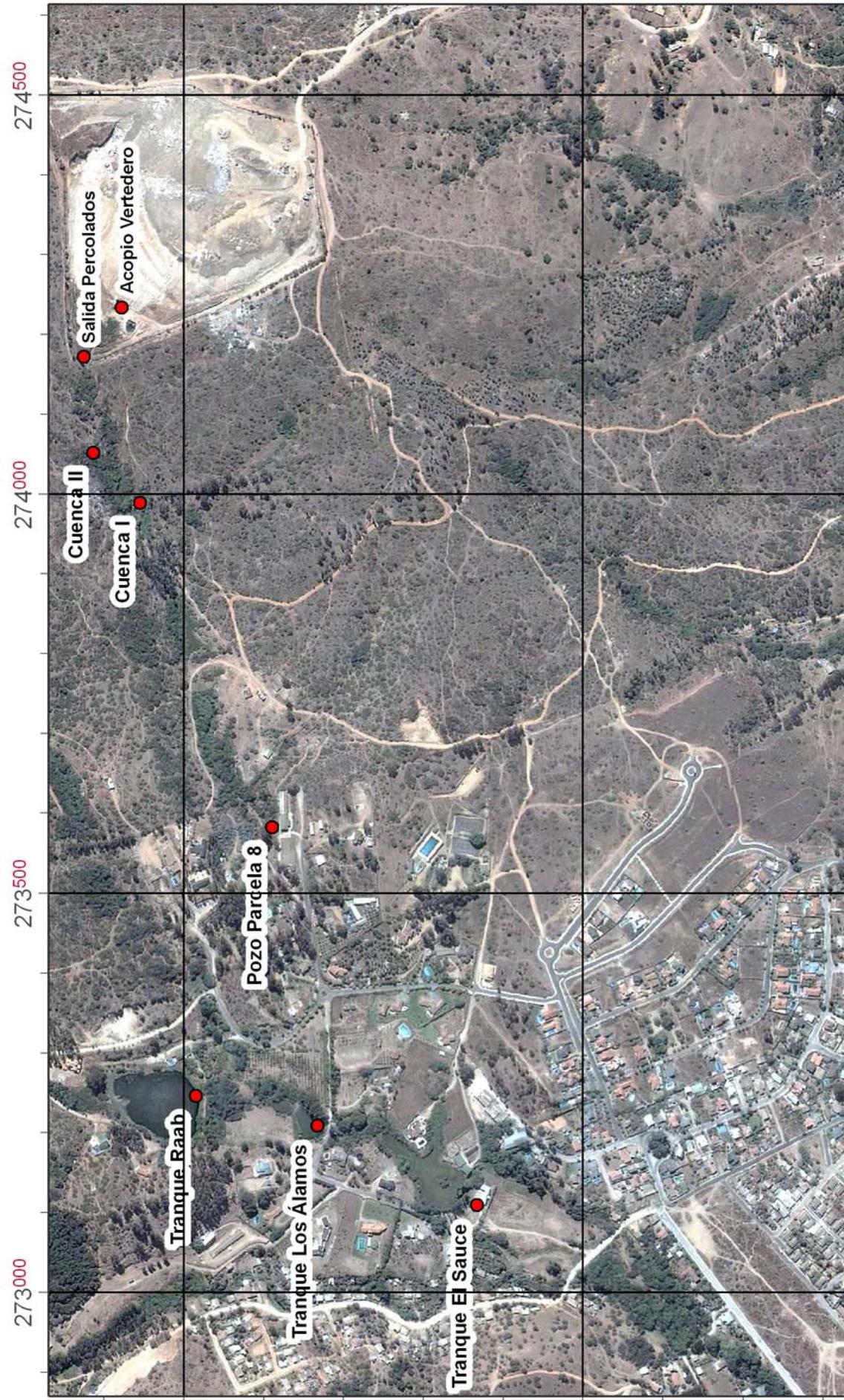
Dado algunos trabajos de movimientos de tierra que se están desarrollando en el interior de nuestro vertedero, nos vemos forzados en modificar la fecha propuesta por Usted del 22 de Marzo al Viernes 30 de Marzo del presente año.

Sin embargo en el ínter tanto nos gustaría interiorizarnos del objetivo del estudio, cuales podrían ser los efectos de dicho análisis y si los resultados serán de conocimiento nuestro. Todo lo anterior, es por que actualmente el vertedero cuenta con un plan de cierre, el cual comienza inmediatamente después de terminada la operación de dicho vertedero y cuya fecha de termino es el próximo 30 de Abril de 2007, como consta en resolución nº 183 de la Autoridad Sanitaria.

Esperando vuestra comprensión, entendimiento y respuesta,  
saluda atentamente a Usted,

**Patricio Villarroel A.**  
Jefe Operaciones  
Área Recolección Comercial e Industrial  
Demarco S.A.





6343500

6343000

6342500

274500

274000

273500

273000

**DISEÑO MONITOREO DE HIDROCARBUROS**

CONTENIDO  
Puntos de muestreo HCT

PREPARADO POR



PARA



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA  
S.A.G

**FUENTE CARTOGRAFICA**

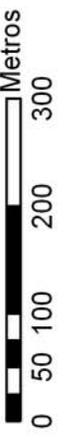
Elaboración propia por georeferenciación de imagen color verdadero QuickBird (enero 2007)

DATOS GEODESICOS  
Elipsoide de referencia Int. 1924  
Datum:PSAD 1956

DATOS CARTOGRAFICOS  
Coordenadas UTM Huso 19 S



ESCALA 1:7.000



**INFORME DE ANÁLISIS N° 0132 /07**  
**LdT-14-01-01 - RP**

<b>CLIENTE</b>	:	<b>Servicio Agrícola y Ganadero V Región</b>
<b>DIRECCIÓN</b>	:	Freire N° 765 Quillota
<b>ATENCIÓN SEÑOR (A)</b>	:	<b>Sra. Ninoska Guilardes M</b> Encargada Regional Depto. Recursos Naturales
<b>TIPO DE MUESTRAS</b>	:	Agua Cruda, Agua Residual y Sedimentos.
<b>SOLICITANTE</b>	:	<b>Sra. Ninoska Guilardes M</b>
<b>MUESTREO POR</b>	:	SAG
<b>NORMATIVA DE MUESTREO APLICADA</b>	:	No Procede
<b>LUGAR DE MUESTREO</b>	:	Vertedero Quilpué
<b>ENSAYOS SUBCONTRATADOS</b>	:	Hidrocarburos Volátiles
<b>FECHA Y HORA DE MUESTREO</b>	:	15/03/2007      11:18 a 16:57 hrs.
<b>FECHA Y HORA DE INGRESO</b>	:	15/03/2007      18:45 hrs.
<b>FECHA Y HORA DE COMIENZO DE ANÁLISIS</b>	:	17/03/2007      14:00 hrs.
<b>FECHA DE TÉRMINO</b>	:	27/03/2007
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	:	27/03/2007
<b>MÉTODOS UTILIZADOS :</b>		

Análisis	Matriz	Método	Estado de Acreditación
Hidrocarburos Totales	Agua Cruda	Standard Methods 5520 F	----
Hidrocarburos Totales	Agua Residual	NCh 2313/7	----
Hidrocarburos Totales	Sedimentos	Standard Methods 5520 F	LE 266

RESULTADOS

ANÁLISIS	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN MUESTRA		
		Pto 32 Muestra N° 08 Tranque Raab	Pto 33 Muestra N°07 Tranque el alamo	Pto 34 Muestra N°06 Tranque el Sauce
Agua Cruda				
Hidrocarburos Totales	mg/L	0,91	1,13	1,16

ANÁLISIS	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN MUESTRA
		Pto 35 Muestra N° 05 El Pozo
Agua Cruda		
Hidrocarburos Totales	mg/L	0,96

ANÁLISIS	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	
		Pto 36 Muestra N° 04 Cuenca I	Pto 37 Muestra N° 03 Cuenca II
Agua residual			
Hidrocarburos Totales	mg/L	0,85	0,73

INFORME DE ANÁLISIS N° 0132 /07  
LdT-14-01-01 - RP

ANÁLISIS	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN MUESTRA			
		Pto 32 N° 08 Raab	Muestra Tranque	Pto 33 Muestra N° 07 Tranque el Alamo	Pto 34 Muestra N° 06 Tranque el sauce
Sedimentos					
Hydrocarburos Totales	mg/Kg	39,5	90,0	189,5	

ANÁLISIS	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	
		Pto 36 N°04 Cuenca I	Muestra N°03 Cuenca II
Sedimentos			
Hydrocarburos Totales	mg/Kg	59,0	21,8

Los resultados se refieren sólo a las muestras analizadas.  
Este informe no debe ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
La información aquí contenida será almacenada en el laboratorio por un período de 2 años.

Observaciones

G. ANDREA MONTENEGRO M.  
Técnico Universitario en Química Analítica  
Supervisora  
Laboratorio de Toxicología Humana y Ambiental

LAC/GMM/gcf

LEANDRO AGULLO GID  
Químico  
Director Técnico  
Laboratorio de Toxicología Humana y Ambiental

SERVICIO AGRICOLA Y GANADERO V REGION  
 FECHA: 30 ABR 2007  
 TAREA: 10-5-29  
 LINEA N°:  
 INFORME DE ANÁLISIS N° 0157 /07  
 LdT-14-01-01 - RP  
 Ninoska  
 0-2 MAY 2007

CLIENTE : Servicio Agrícola y Ganadero V Región  
 DIRECCIÓN : Freire N° 765  
 Quillota  
 ATENCIÓN SEÑOR (A) : Sra. Ninoska Guilardes M  
 Encargada Regional Depto. Recursos Naturales  
 TIPO DE MUESTRAS : Agua Residual y Sedimentos  
 SOLICITANTE : Sra. Ninoska Guilardes M  
 MUESTREO POR : SAG  
 NORMATIVA DE MUESTREO APLICADA : No Procede  
 LUGAR DE MUESTREO : Vertedero Quilpué  
 ENSAYOS SUBCONTRATADOS : Hidrocarburos Volátiles  
 FECHA Y HORA DE MUESTREO : 30/03/2007 15:15 a 15:50 hrs.  
 FECHA Y HORA DE INGRESO : 30/03/2007 18:00 hrs.  
 FECHA Y HORA DE COMIENZO DE ANÁLISIS : 03/04/2007 15:00 hrs.  
 FECHA DE TÉRMINO : 10/04/2007  
 FECHA DE EMISIÓN : 16/04/2007  
 MÉTODOS UTILIZADOS :

Análisis	Matriz	Método	Estado de Acreditación
Hidrocarburos Totales	Agua Residual	NCh 2313/7	----
Hidrocarburos Totales	Sedimentos	Standard Methods 5520 F	----

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	
		Acopio Vertedero	Salida Percolados Vertedero
Agua Residual			
Hidrocarburos Totales	mg/L	0,074	0,064

ANÁLISIS	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	
		Acopio Vertedero	Salida Percolados Vertedero
Sedimentos			
Hidrocarburos Totales	mg/Kg	1,0	1,0

Los resultados se refieren sólo a las muestras analizadas.  
Este informe no debe ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
La información aquí contenida será almacenada en el laboratorio por un periodo de 2 años.

Observaciones



Supervisora  
Técnico Universitario en Química Analítica  
Laboratorio de Toxicología Humana y Ambiental

LAC/GMM/gcf



Director Técnico  
Bióquimico  
Laboratorio de Toxicología Humana y Ambiental