

CAPÍTULO V PLAN DE MONITOREO

INDICE

| | Pág. |
|--|-----------|
| 1 CONSIDERACIONES GENERALES..... | 2 |
| 1.1 OBJETIVO DEL MONITOREO | 2 |
| 1.2 MEDIOS A MUESTREAR | 4 |
| 1.2.1 <i>Producto Libre</i> | 4 |
| 1.2.2 <i>Suelos</i> | 5 |
| 1.2.3 <i>Aguas Subterráneas</i> | 6 |
| 1.2.4 <i>Flora y Fauna</i> | 6 |
| 1.3 TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN | 6 |
| 1.4 ETAPAS DE MUESTREO | 7 |
| 1.5 NÚMERO DE MUESTRAS | 7 |
| 1.6 CONTROL DE CALIDAD | 8 |
| 2 PREPARACIÓN DEL MUESTREO | 9 |
| 2.1 EQUIPOS PARA EL MUESTREO | 9 |
| 2.2 EQUIPOS PORTÁTILES DE MEDICIÓN | 9 |
| 2.3 MATERIALES DE TERRENO | 9 |
| 2.4 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL | 9 |
| 2.5 OTROS..... | 10 |
| 3 LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO | 11 |
| 3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA | 11 |
| 3.2 EXTENSIÓN DEL ÁREA DE IMPACTO DIRECTO ("LA FUENTE") | 11 |
| 3.2.1 <i>Derrame Superficial, de Baja Extensión y Profundidad (< 1 m)</i> | 12 |
| 3.2.2 <i>Derrames de Mayor Extensión y Poca Profundidad</i> | 13 |
| 3.2.3 <i>Derrames de Mayor Profundidad (hasta 5 m)</i> | 14 |
| 3.2.4 <i>Infiltración al Subsuelo</i> | 14 |
| 3.3 VÍAS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES | 15 |
| 3.3.1 <i>Contacto Directo</i> | 15 |
| 3.3.2 <i>Aire</i> | 15 |
| 3.3.3 <i>Agua Superficial</i> | 15 |
| 3.3.4 <i>Agua Subterránea</i> | 16 |
| 3.4 IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE | 17 |
| 3.4.1 <i>Calidad de Aire</i> | 17 |
| 3.4.2 <i>Calidad de Suelos</i> | 17 |
| 3.4.3 <i>Calidad de Aguas Superficiales</i> | 18 |
| 3.4.4 <i>Calidad de Aguas Subterráneas</i> | 18 |
| 3.4.5 <i>Flora y Fauna</i> | 18 |
| 3.5 MUESTRAS DE REFERENCIA | 19 |
| 3.6 CONTROLES Y BLANCOS | 19 |
| 3.7 COMENTARIO | 19 |
| 4 TOMA DE MUESTRAS..... | 21 |
| 4.1 PRODUCTO LIBRE | 21 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.2 | MUESTREO DE SUELOS..... | 21 |
| 4.2.1 | <i>Técnicas de Prospección</i> | 21 |
| 4.2.2 | <i>Profundidad del Muestreo</i> | 22 |
| 4.2.3 | <i>Tamaño de la Muestra</i> | 22 |
| 4.2.4 | <i>Otras Consideraciones</i> | 22 |
| 4.3 | MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS | 23 |
| 4.3.1 | <i>Técnicas de Prospección</i> | 23 |
| 4.3.2 | <i>Muestreadores de Aguas Subterráneas</i> | 23 |
| 4.3.3 | <i>Tamaño de la Muestra</i> | 24 |
| 4.3.4 | <i>Otras Consideraciones</i> | 24 |
| 4.4 | MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES | 24 |
| 4.4.1 | <i>Muestreadores de Agua</i> | 24 |
| 4.4.2 | <i>Tamaño de la Muestra</i> | 24 |
| 4.4.3 | <i>Otras Consideraciones</i> | 25 |
| 4.5 | MUESTREO DE FLORA..... | 25 |
| 4.5.1 | <i>Técnicas de Prospección</i> | 25 |
| 4.5.2 | <i>Toma de Muestras</i> | 25 |
| 4.5.3 | <i>Tamaño de la Muestra</i> | 25 |
| 4.6 | MUESTREO DE FAUNA..... | 26 |
| 4.7 | OTRAS COMPONENTES | 26 |
| 5 | ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS | 27 |
| 5.1 | ENVASADO DE LA MUESTRA | 27 |
| 5.2 | PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA | 28 |
| 5.3 | PRECAUCIONES PARA EL TRANSPORTE | 28 |
| 5.4 | ENVÍO DE LAS MUESTRAS..... | 29 |
| 6 | PARÁMETROS DE ANÁLISIS | 30 |
| 6.1 | ANÁLISIS QUÍMICOS | 30 |
| 6.2 | PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN (TCLP)..... | 32 |
| 6.3 | GRANULOMETRÍA..... | 32 |
| 6.4 | MICROSCOPIA | 32 |
| 6.5 | PRUEBAS DE TOXICIDAD | 33 |
| 6.6 | OTROS PARÁMETROS | 33 |

CAPÍTULO V PLAN DE MONITOREO

El presente Capítulo tiene por propósito definir los objetivos, alcances y el nivel de detalle del Plan de Monitoreo, que sustenta a la evaluación de riesgos de detalle, el diseño de las medidas de contingencia y/o restauración.

Entre otros, el Plan de Monitoreo abarca los siguientes aspectos:

- Consideraciones generales
- Preparación del muestreo
- Localización de los puntos de muestreo;
- Número y representatividad de las muestras;
- Toma de muestras;
- Almacenamiento, transporte y preservación de la muestra; y
- Parámetros de análisis.

El diseño del plan de monitoreo depende de los objetivos específicos que se plantean, sea la cuantificación de la fuente de contaminación, la identificación de las vías de transporte o del impacto ambiental. Por lo tanto, puede que algunos de los temas que se mencionen a continuación no sean relevantes (por ejemplo, porque se conocen el volumen y las características del contaminante).

Para efectos del presente Manual se distinguen tres fases de la investigación, con sus respectivos objetivos y alcances (ver también Figura I-1, Capítulo I):

| | FASE 1: INVESTIGACIÓN PRELIMINAR | FASE 2 INVESTIGACIÓN DETALLADA | FASE 3: EVALUACIÓN FINAL |
|-----------------------------|--|--|---|
| Fuente de Peligro | Identificar la Sustancia Contaminante | Caracterizar y cuantificar la fuente de contaminación | Verificar la remoción del producto contaminante y suelo contaminado |
| Medio de Propagación | Identificar las posibles vías de propagación: - contacto directo - aire - agua superficial - infiltración al suelo | Cuantificar el transporte de contaminantes (pronosticar los eventuales impactos) | - |
| Componente Ambiental | Identificar los componentes afectados: suelo, agua superficial, agua subterránea, flora y fauna silvestre, agricultura y ganadería | Caracterizar el componente ambiental (niveles basales), las concentraciones de contaminantes y la extensión del impacto. | Verificar el cumplimiento de la meta de saneamiento |

Como ya se señaló, es posible que después de la fase de muestreo preliminar no se requiera una investigación detallada. Ciertamente se descartan en ese momento aquellos componentes ambientales que tengan un bajo o muy bajo riesgo de ser afectados.

Otros aspectos del Plan de Monitoreo dependen de la caracterización del área impactada (vías de propagación y componentes ambientales afectados). Estos temas y la priorización del componente ambiental están descritos en el Capítulo IV.

Además, en el Capítulo III se adjuntan fichas de resumen por tipo de emergencia de las sustancias químicas a monitorear.

1 CONSIDERACIONES GENERALES

El monitoreo ambiental se realizará en diferentes instantes de la emergencia ambiental; en el momento del análisis preliminar (en la visita inicial por parte del SAG), en la evaluación de los riesgos y eventuales impactos ambientales (por parte del responsable de la emergencia) y, una vez efectuada la restauración del lugar, en la evaluación final.

Cada fase de la evaluación tiene objetivos, alcances y un nivel de detalle diferente; asimismo se distinguen los diferentes tipos de emergencia ambiental.

1.1 Objetivo del Monitoreo

El monitoreo tiene por objetivo cuantificar los eventuales impactos ambientales a los recursos naturales (suelos, aguas, flora y fauna silvestre), cultivos agrícolas o actividades ganaderas.

Según sea el caso, los objetivos específicos del monitoreo son:

- Identificar el tipo de sustancias o contaminantes involucrados;
- Determinar el volumen del derrame, de los suelos o aguas directamente afectadas;
- Comprobar el transporte de contaminantes a través de una determinada vía de propagación;
- Cuantificar el impacto a los componentes ambientales;
- Verificar el cumplimiento de las normas de calidad o de una meta de saneamiento.

En muchos casos, el evaluador parte con información insuficiente sobre los parámetros contaminantes o componentes ambientales a analizar.

Para optimizar los recursos disponibles, es recomendable que el encargado de la evaluación defina en cada etapa de monitoreo un **objetivos prioritario**. Por ejemplo, en la etapa de Investigación Preliminar, el objetivo prioritario sería una caracterización de la fuente y el análisis de los eventuales riesgos que estén presentes, es decir la propagación de la contaminación por distintas vías de transporte.

Muchas veces, es eficiente efectuar un monitoreo en etapas y/o contar con equipos portátiles en terreno para orientar la toma de las muestras, que posteriormente se analizarán en laboratorio.

Una vez confirmado la existencia de un riesgo de contaminación, se puede realizar una investigación detallada del componente afectado (lo que permite que los mayores esfuerzos de monitoreo se enfoquen en los sectores realmente impactados).

Basado en las características de la sustancias química involucrada, es posible definir los aspectos más relevantes de los diferentes tipos de emergencia (ver Tabla V-1).

**TABLA V-1:
OBJETIVOS DEL MONITOREO SEGÚN TIPO DE EMERGENCIA**

| Nº | TIPO DE EVENTO | TIPO DE SUSTANCIA | VOLUMEN O EXTENSIÓN DE LA FUENTE | TRANSPORTE | COMPONENTE AMBIENTAL IMPACTADA |
|----|--|---|----------------------------------|------------|--------------------------------|
| 1 | Derrame de Hidrocarburos y Derivados de Petróleo | - (solo compuestos volátiles o solubles) | X | X | X |
| 2 | Derrames de Ácidos y Básicos Corrosivos | - | X | - | X |
| 3 | Error de Aplicación de Plaguicidas y Pesticidas | (X) | X | - | X |
| 4 | Derrame de Relaves | X | (X) | (X) | X |
| 5 | Derrame de Concentrados de Mineral | X | (X) | (X) | X |
| 6 | Derrame de Otros Productos Químicos | (X) | (X) | (X) | X |
| 7 | Incendio de Bodegas de Productos Químicos | X | - | (X) | X |
| 8 | Incendio de Vertederos Clandestinos (c/ RS Peligrosos) | X | - | (X) | X |
| 9 | Derrame de Lixiviados en Rellenos Sanitarios | X | (X) | X | X |
| 10 | Otros | (X) | (X) | (X) | X |

Fuente: Elaboración propia.

En la mayoría de los casos, se supone que la sustancia contaminante es conocida (ácido, básico corrosivo, químicos, combustibles).

En algunos casos no se conocen todos los compuestos contaminantes o sus características físicas, por ejemplo: hidrocarburos antiguos (descompuestos), relaves, concentrados y lixiviados.

En el caso de un incendio se desconoce por completo la generación de compuestos secundarios de la combustión (algunos de ellos dioxinas, furanos).

En general, se tiene que evaluar el impacto a componentes ambientales: aire, suelo, agua superficial y subterránea, flora y fauna, cultivos, etc.

1.2 Medios a Muestrear

Como regla general, el efecto de la contaminación es más fácil de detectar en su origen (por ejemplo una mancha de aceite en el suelo); de ahí su propagación hacia otras componentes ambientales puede ser rastreado a través del monitoreo de los medios de transporte respectivos: aguas superficiales, subterráneas, sedimentos.

A falta de información sobre los medios afectados, es conveniente realizar un “rastreo” más amplio de los componentes afectados (con equipos portátiles de análisis o parámetros indicadores de una contaminación, de más bajo costo).

Entre otros, puede ser necesario muestrear todos o algunos de los siguientes medios:

- Producto “libre”;
- Suelos;
- Aguas superficiales;
- Aguas subterráneas;
- Aire (del suelo o de la atmósfera);
- Flora y fauna.

Dependiendo del análisis de riesgos y de los resultados del muestreo preliminar (si los hubiera), es posible acotar los alcances de monitoreo de la etapa de investigación detallada.

1.2.1 Producto Libre

En el caso de algunos tipos de emergencias (por ejemplo derrames de hidrocarburos) y cuando la presencia de contaminante supera la solubilidad en el agua, puede formarse una capa de producto flotante sobre la napa subterránea¹. Es lo que se denomina contaminación en “fase libre”.

¹ En el caso de una sustancia más pesada que el agua, esta capa se forma en la parte inferior de la napa (ver también Capítulo II).

La medición del espesor real de la fase libre suele efectuarse con sondas de interfase, complementadas con la aplicación de fórmulas o ensayos empíricos (por ejemplo el denominado “bail-down”).

1.2.2 Suelos

La estrategia de muestreo de suelos está directamente relacionada con la hipótesis acerca de la distribución de la contaminación, y, por lo tanto, es específica para cada fase de investigación. En todo caso, debe confirmar o matizar dicha hipótesis, así como determinar la existencia y concentración de los contaminantes implicados.

En primer lugar, se distinguen dos métodos de localización de los puntos de muestreo: el muestreo simple (homogéneo en toda la extensión) o estratificado, con sub-áreas caracterizadas por hipótesis diferentes de distribución espacial.

En el presente caso, hemos propuesto el método estratificado, considerando tres áreas de interés: fuente de contaminación (incluyendo los suelos directamente impactados por el derrame), medio de transporte y componente ambiental impactado.

En segundo lugar, existen diferentes modelos de distribución de los puntos de muestreo dentro del área:

- Distribución sistemática
 - Sistemática al azar (división en sub-áreas similares, con localización aleatoria)
 - Sistemática regular (con una malla de división regular)
 - Sistemática en gradiente (distribución heterogénea en dirección del gradiente)
- Distribución al azar (*en forma aleatoria*)

En la Figura V-1 se presenta una ilustración del tipo de muestreo y modelo de localización de los puntos de muestreo.

En la etapa de investigación preliminar un muestreo puntual suele ser suficiente (dado que en muchos incidentes se trata de derrames de menor volumen).

En la mayoría de los casos, el Plan de Monitoreo propuesto considera una distribución sistemática en gradiente de los puntos de muestreo, es decir se supone que hay una distribución heterogénea en gradiente en la toma de las muestras las que serán tomadas a lo largo de ejes trazados en dirección de la máxima variación de la concentración de contaminantes (basado en la dirección de viento, red de drenaje, estratigrafía del subsuelo, entre otros).

La distribución aleatoria o sistemática regular de los puntos de muestreo solo se recomienda para el análisis de parámetros indicadores de bajo costo (por ej. pH, conductividad) o cuando la representatividad de la muestra obliga a investigar un área mayor (por ejemplo la aplicación área de pesticidas sobre una superficie muy extensa).

1.2.3 Aguas Subterráneas

En la investigación de la calidad de aguas subterráneas se deben tomar en cuenta no sólo las características de los focos de contaminación sino también el previsible comportamiento de los distintos contaminantes implicados en el contexto hidrogeológico del emplazamiento y de su entorno. En el Anexo F se presenta una introducción al tema de la contaminación hídrica.

1.2.4 Flora y Fauna

La estrategia de muestreo de flora y fauna está directamente relacionada con la distribución de la sustancia contaminante y la vulnerabilidad de la flora y la fauna existente en el sitio del incidente, y, por lo tanto, es específica para cada caso. Esta vulnerabilidad dependerá si existe otro componente que pueda ser utilizado como vía de transporte al estar contaminado (por ejemplo, suelo, agua).

Para determinar la componente ambiental Flora; se debe caracterizar la zona en unidades homogéneas independientes. En ella se deben clasificar y caracterizar las unidades existentes (formaciones de vegetación) según criterios de dominancia y fisonomía. La abundancia (cobertura) de las especies se estimará en forma visual.

Para determinar las especies de la Fauna potencialmente presentes en el sector, se debe realizar una revisión bibliográfica, en la que se identificaran aquellas especies cuya distribución geográfica incluya el área del siniestro. El listado debe ser corroborado en la visita a terreno y debe incluir tanto las especies de fauna silvestre nativas como las introducidas.

1.3 Técnicas de Prospección

En la Tabla V-2 se presenta un resumen de las técnicas de prospección más adecuadas para suelos y aguas subterráneas.

TABLA V-2:
TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS

| MÉTODO DE PROSPECCIÓN | PROF. (m) | PROD. "LIBRE" | SUELO | AGUA SUBT. | COMENTARIO |
|---|-----------|---------------|-------|------------|----------------------------------|
| Superficial (a mano) | < 10 cm | X | X | - | |
| Muestreador manual (tipo "auger") | 1 – 5 m | - | X | - | |
| Muestreador para muestras no alteradas ("Core Sampler") | 1- 2 m | X | X | - | |
| Calicata manual | < 1 m | X | X | - | |
| Excavación con maquinaria | 5 – 7 m | X | X | (X) * | * Depende de la prof. de la napa |
| Sondaje | > 100 m | X | X | X | |
| Pozo existente | > 100 m | (X) | - | X | |

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de muestreo de flora y fauna existen distintas técnicas de prospección, las más comunes en el caso de flora es la de transectos lineales, la de parcelas; o la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT); en el caso de la fauna es posible determinar presencia de ciertas especies empleando trampas, o mediante estaciones de observación y escucha, o mediante observaciones indirectas (presencia de fecas, madrigueras y huellas), en cada caso debe definirse la metodología de toma de muestras.

1.4 Etapas de Muestreo

En la planificación del Monitoreo es importante definir el número de campañas de muestreo:

- **Muestreo en una etapa:** Cuando el objetivo y los alcances del muestreo están definidos (sin posibilidad de modificación basado en los resultados);
- **Muestreo en etapas sucesivas:** Permite modificar el diseño del muestreo en función de los resultados obtenidos en las etapas anteriores.

Aún cuando la investigación preliminar tenga solo una etapa de muestreo, es posible analizar algunas pocas y dejar un mayor número de muestras para el análisis posterior (una vez que se conozcan los primeros resultados).

Por otra parte, en la etapa de investigación detallada se recomienda el muestreo en etapas sucesivas (IHOBE, 1998).

Finalmente, puede ser necesario un muestreo de seguimiento (a tres, 6 o 12 meses después de la emergencia). Por ejemplo, un elemento importante en el monitoreo de las aguas subterráneas es la variación temporal de la distribución de contaminantes, es decir el avance del frente de contaminación. En este caso, será necesario efectuar varias campañas de muestreo.

Otro caso, es el de la Flora y Fauna, en que inicialmente se realizará un análisis de muestra compuesta cuyo resultado puede ser indicativo para realizar un análisis más detallado de las muestras individuales.

1.5 Número de Muestras

Además de las muestras de suelo y agua que se analizan en laboratorio, es recomendable tomar muestras adicionales: duplicados y/o puntos adicionales de monitoreo (que pueden ser analizados según necesidad y una vez conocidos los primeros resultados).

En el caso de la flora y fauna, aun cuando la priorización del riesgo resulte como “bajo” en la etapa de pre- evaluación de impacto, es recomendable que frente a alguna duda se recojan algunas muestras a criterio del profesional a cargo.

1.6 Control de Calidad

El material utilizado en la toma de muestras debe ser limpiado y revisado antes de la salida a terreno.

La localización de los puntos de muestreo debe ser registrada en un plano (escala mínima 1:2.000).

En la extracción de las muestras se debe seguir el protocolo de muestro, en particular respecto a la limpieza de los equipos utilizados en el muestreo.

Es necesario establecer criterios para la eliminación de materiales extraños: piedras, trozos de otro material (vidrio, madera, etc.).

El procedimiento de muestreo debe ser rigurosamente documentado (descripción de las muestras, ubicación de los puntos de muestreo con coordenadas, observaciones sobre circunstancias que pudieran alterar el resultado).

Los recipientes de las muestras deben ser etiquetados en forma clara e indeleble (con lápiz resistente al agua).

El tiempo de almacenamiento y transporte de las muestras a laboratorio debe ser mínimo (en general menos de 48 horas).

Es necesario la toma de “blancos” de campo, para comprobar que los métodos o materiales utilizados en las muestras no interfieren con el análisis de las mismas. Se distinguen los siguientes tipos de blancos:

- Blanco de viaje;
- Blanco de campo;
- Blanco de calibración o comprobación;
- Blanco de reactivos o de métodos.

2 PREPARACIÓN DEL MUESTREO

En la fase de preparación de la campaña de muestreo se debería asegurar la disponibilidad de los siguientes elementos:

2.1 Equipos para el Muestreo

Los equipos de muestreo a utilizar dependen del estado físico del medio, de la sustancia química y de la profundidad del muestreo (ver punto 3). Para materiales en estado sólido/pastoso se utilizan paletas o espátulas.

2.2 Equipos Portátiles de Medición

- Peachímetro;
- Conductivímetro;
- Equipo de Geoposicionamiento Satelital GPS;
- Cámara fotográfica;
- Reloj.

2.3 Materiales de Terreno

Se recomienda llevar el siguiente material a terreno:

- Envases plásticos o de vidrio (para muestras de agua);
- Bolsas plásticas o frascos (para muestras de suelo, flora y fauna);
- Hieleras (plásticas o de plumavit);
- Icepack, hielo
- Etiquetas para la identificación de las muestras;
- Palas, picotas, tijeras de podar, u otra herramienta;
- Material quirúrgico (bisturí, pinzas, guantes de latex, tijeras, etc)
- Lápiz resistente al agua;
- Cinta adhesiva (para sellar las bolsas plásticas);
- Estacas;
- Cinta en rojo/blanco (para demarcar calicatas).

En general, es útil contar con huaipes, agua destilada, alcohol para limpiar y esterilizar los muestreadores.

2.4 Equipos de Protección Personal

(ver Capítulo II, punto 3)

2.5 Otros

Previo a la salida a terreno, se deberían indicar los puntos de monitoreo en un mapa o plano del sector, en el cual se realizará el muestreo (escala mínima 1:2.000). También se deberían indicar las zonas que se caracterizan por la presencia de flora y la fauna potencialmente presente en el lugar del incidente, lo cual puede ser reforzado con listados que se encuentran publicados, por ejemplo en www.sinia.cl.

Cuando las muestras no sean entregadas en forma personal, se debería organizar el transporte y los medios para asegurar la preservación de las muestras (hielo, "ice-pack").

3 LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

El análisis preliminar de riesgos por parte del SAG permite definir los siguientes aspectos:

- Contaminantes críticos;
- La extensión eventual de una contaminación (su área de influencia);
- Las posibles vías de propagación; y
- Componentes Ambientales más vulnerables (que se monitorean).

Como ya se mencionó, se propone un muestreo estratificado en diferentes sub-áreas, con una distribución sistemática en gradiente (ver punto 1.2). Éste debe abarcar por lo menos las áreas de mayor importancia, según los criterios definidos en el análisis preliminar de riesgos: la fuente contaminante, los medios de transporte y las principales componentes ambientales (ver Capítulo IV).

En general, la definición de los puntos de monitoreo está basada en observaciones de terreno, información entregada por el responsable del evento o Jefe de Operaciones de la emergencia.

Cuando no sea posible delimitar el área impactada en forma visual, es posible verificar la extensión de un derrame a través de la medición de pH y conductividad.

3.1 Identificación de la Sustancia

La identificación de la sustancia química involucrada, de sus compuestos principales o impurezas (contaminantes secundarios) es prioritaria, para poder definir los parámetros del programa de monitoreo.

En general, es suficiente una (1) muestra de la sustancia pura para conocer su composición. Ejemplo: Combustible, plaguicidas y pesticidas, sustancias químicas.

En el caso de una muestra heterogénea, se recomienda la toma de un mínimo de tres (3) muestras. Ejemplo: lixiviados, relaves, concentrados.

Por otra parte, no se requiere un análisis en el caso de un producto conocido (con un compuesto y concentración determinada).

3.2 Extensión del Área de Impacto Directo (“La Fuente”)

En lo posible, los derrames de productos químicos deberían ser removidos en forma inmediata, incluso antes de efectuar una evaluación más detallada de la contaminación (para evitar una propagación mayor que pudiera producirse en ese lapso de tiempo). Aún así, es necesario delimitar el área y la profundidad de suelos directamente impactados por el derrame para estimar el volumen de material por disponer.

Por otra parte, en algunas situaciones no es posible remover el producto libre en forma inmediata, sea debido al volumen, la extensión superficial, dificultad de acceso u otras razones logísticas. Estos casos incluyen:

- Derrames de hidrocarburos y combustibles;
- Soluciones ácidas y básicas corrosivas;
- Derrames de relaves; y
- Derrames de concentrados.

Muchas veces, la contaminación ya ha migrado a mayor profundidad, cambió su estado físico (a través de la volatilización o disolución), o químico (a través de la descomposición biológica). **Mientras se trate de un área delimitada de producto libre o suelos contaminados, lo tratamos como fuente de una eventual contaminación hacia otras componentes.**

En estos casos puede haber alternativas de restauración, que no involucren la remoción completa (sino su inmovilización, encapsulación o bioremedicación *in-situ*). Debido a los costos involucrados se requiere de un análisis más detallado de los riesgos o impactos asociados.

En el caso de error de aplicación de plaguicidas y pesticidas no hay un sector directamente impactado factible de delimitar, como en el caso de un derrame de otros productos químicos (en caso que lo haya, habría que priorizar las medidas de remoción y contención).

En el caso de incendios de bodegas químicas o vertederos clandestinos, no suele haber producto restante (ver puntos 2.3 y 2.4, respecto al transporte e impacto de las sustancias).

3.2.1 Derrame Superficial, de Baja Extensión y Profundidad (< 1 m)

La cuantificación de estos derrames puede realizarse en la visita a terreno, o etapa de medidas de contingencia:

- A través de observaciones (manchas, color, olores);
- Medición de parámetros indicadores con equipos portátiles (pH, conductividad, hidrocarburos);
- Toma de muestras puntuales de suelos superficiales o calicatas manuales;

En la Figura V-2 se presentan varios ejemplos de derrames de aceites, concentrados y relaves. En estos casos no es necesario un muestreo muy extenso, ya que se observa la extensión en forma visual. Por otra parte, el área directamente impactada por un derrame de ácidos y básicos corrosivos, de relaves y concentrados puede ser delimitado a través de la medición de pH y conductividad con equipos portátiles.

En todos estos casos es suficiente la toma de un máximo de tres (3) muestras:

- M-1: Muestra superficial en el centro del derrame;
- M-2: Muestra superficial en el límite del sector impactado; y
- M-3: Muestra de baja profundidad (justo por debajo del derrame).

En la Figura V-3 se presenta un ejemplo de muestreo superficial y de una calicata manual.

3.2.2 Derrames de Mayor Extensión y Poca Profundidad

En el caso de un derrame de mayor envergadura (sobre 10 m^3), se puede suponer una cierta propagación por escurrimiento y que el área directamente impactada se propagó sobre una mayor superficie.

Contempla el muestreo de suelos superficiales ($< 10 \text{ cm}$), cuando el derrame tenga una extensión mayor (y por las características de la sustancia química o del subsuelo) se presume que no haya infiltrado a mayor profundidad.

Como mínimo, se debería considerar cuatro (4) muestras de suelos superficiales y 1 de profundidad:

- S-1: Muestra superficial de suelos en el sector directamente impactado;
- S-2: Muestras superficial de suelos en dirección de pendiente del terreno, dentro del área impactada;
- S-3: Muestra superficial de suelos en dirección de la pendiente del terreno, fuera del área impactada;
- S-4: Muestra de suelos fuera del área impactada, aguas arriba y/o lateral (posible control);
- P-1: Muestra de baja profundidad, por debajo del área impactada;

En la Figura V-4 a) se presenta un ejemplo de la ubicación de puntos de muestreo de suelo; se supone que el derrame escurrió en dirección del drenaje superficial. Para obtener una estimación del volumen de suelos que deben ser removidos, se determinará el largo (L), el ancho promedio (A) y profundidad del derrame (H).

Cuando la sustancia química sea difícil detectar, puede ser necesario tomar varias muestras en dirección lateral. En estos casos se consideran entre 5 y 10 muestras de suelos (es posible tomar un mayor número de muestras y analizar solamente algunas de ellas).

3.2.3 Derrames de Mayor Profundidad (hasta 5 m)

El volumen del área impactada podrá ser determinado a través de calicatas; con maquinaria es posible llegar a una profundidad de 5 m (o incluso 7 – 8 m si la excavadora trabaja con un nivel intermedio).

Como mínimo se contemplan tres muestras en diferentes profundidades:

- S-1: Muestra Superficial;
- P-1: Muestra en el límite de la contaminación;
- P-2: Muestra profunda, por debajo del sector contaminado;

En la Figura V-4 b) se presenta un ejemplo de muestreo en profundidad; el volumen de suelos directamente impactados se estima basado en la superficie y la profundidad promedia del derrame ($[H_1+H_2]/2$).

En el caso de derrames mayores ($> 10 \text{ m}^3$) y para certificar que la contaminación haya sido removido en forma completa, sería necesario la toma de muestras en las paredes y en el fondo de la excavación (entre 5 y 10 muestras).

3.2.4 Infiltración al Subsuelo

En el caso de una infiltración al subsuelo (hidrocarburos, combustibles u otras sustancias químicas orgánicas no miscibles con el agua), los contaminantes suelen estar presentes en diferentes fases:

- Sobre la superficie del suelo, una mancha de producto libre;
- En la zona no-saturada, producto libre, adherido a los suelos y contaminantes volátiles en la fase de vapor;
- Sobre la napa subterránea, una capa flotante de producto libre; y
- En la zona saturada, contaminantes disueltos.

El volumen de derrame superficial y de la zona no-saturada se cuantifica de la manera ya descrita (puntos 2.2.2 y 2.2.3). Para estimar el volumen de la capa flotante de producto sobre la napa subterránea se requiere la ejecución de varios sondajes (Figura V-5):

- P-1: En el sector directamente impactado por el derrame;
- P-2: En dirección del flujo de aguas subterráneas, cerca de la fuente;
- P-3: En dirección del flujo de aguas fuera del sector, alejado de la fuente;
- C-1: Pozo de Control, aguas arriba del derrame;

Los pozos P-1, P-2 permiten estimar la superficie del área impactado (S), y medir el grosor del producto flotante (h_1 y h_2).

En lo posible la fase libre debe ser recuperada, contenida o neutralizada de alguna forma, lo que es parte de las Medidas de Contingencia (ver Capítulo VI).

3.3 Vías de Transporte de Contaminantes

En muchos casos puede transcurrir un tiempo desde el incidente, la toma de medidas de contingencia y el momento de la evaluación de los impactos ambientales (varios días o semanas). A veces el derrame y el sector directamente afectado ya han sido removidos.

Dado que en ese momento las vías de propagación de la contaminación ya no son evidentes, puede ser necesario efectuar muestreos de aguas, suelos, sedimentos o biota. En términos concretos, se considerarán las siguientes vías de propagación:

- Emisiones de Vapores, aire;
- Arrastre con el aire (como partícula);
- Arrastre con escurrimientos de aguas lluvia (disuelto o como sólido suspendido); e
- Infiltración al subsuelo.

Mientras que el monitoreo de los componentes ambientales pretende detectar y cuantificar los eventuales impactos ambientales, **el monitoreo de algunos medios de propagación permite establecer la relación causa-efecto (es decir un elemento importante de la evidencia).**

3.3.1 Contacto Directo

En el caso de contacto directo, el medio de transporte es también componente ambiental: vegetación, fauna silvestre, cultivos agrícolas y ganadería (ver punto 2.5).

3.3.2 Aire

Los contaminantes pueden ser transportados como un gas volátil o como una partícula (caso en el cual se debería producir una sedimentación de la partícula en algún punto). Dependiendo del caso, se debería considerar el monitoreo de:

- Medición de Gases Volátiles, con Equipo Portátil;
- Material Particulado PM-10 (y análisis de su contenido de metales pesados);

La ubicación de los puntos de monitoreo se deben orientar en la dirección y velocidad del viento.

3.3.3 Agua Superficial

En algunos casos (cuando no es posible controlar la fuente y se prolonga la emergencia), será posible monitorear en forma directa los efectos de la propagación de contaminantes:

- Escurrimientos de producto;

- Afloramientos de lixiviados;
- Aguas lluvia en canaletas o zanjas de drenaje; y
- Escurrimiento de aguas superficiales en quebradas.

Dependiendo del tiempo transcurrido entre la ocurrencia del incidente y la campaña de monitoreo, puede que haya solo evidencias indirectas:

- Agua retenida en estanques u otras obras de contención;
- Acumulaciones, “charcos” de agua lluvia en depresiones del terreno;
- Materia flotante, espuma en el agua;
- Sedimentos de un cuerpo de agua; y
- Materia adherida a la vegetación, al suelo; entre otros.

En la Figura V-6 se presenta un ejemplo de una canaleta de aguas lluvia, la cual recibió las aguas de combate y derrames durante el incendio de una fabrica (Figura V-6).

Según sea el caso, se deberían tomar por lo menos algunas muestras puntuales de aguas, suelos o sedimentos. Éstos serán analizados para detectar los parámetros indicadores del producto contaminante de manera de establecer una relación causa-efecto.

3.3.4 Agua Subterránea

Antes de que se produzca una contaminación de la napa subterránea, el producto químico o los contaminantes tienen que percolar por la zona no-saturada del suelo (ver Figura V-5).

En la zona no-saturada del suelo la contaminación puede estar presente en tres formas:

- Adherida al suelo o como producto libre (factible de detectar por su aspecto u olor);
- Disuelta en el agua que percola por el subsuelo; o
- Como vapor.

Cuando se pretende descartar la propagación de los contaminantes hacia mayor profundidad, es útil tomar una muestra en un estrato intermedio de suelo, por debajo de los niveles menos permeables o hasta donde se presume haya percolado el contaminante (ver Figura V-4 a).

Por otra parte, cuando se presume una contaminación de la napa subterránea es importante comprobar que el derrame haya efectivamente entrado en contacto con ella y percolado por los niveles intermedios (ver Figura V-5). En estos casos es útil tomar muestras de suelo de diferentes profundidades (ver Figura V-4 b): P-1 y P-2.

3.4 Impactos al Medio Ambiente

El muestreo de los componentes ambientales afectados tiene por objetivo cuantificar los eventuales impactos, y verificar si se superan los niveles permisibles de contaminantes (estándares de calidad). Basado en el análisis preliminar de riesgos o monitoreos previos (si hubiera), es posible identificar los componentes ambientales relevantes:

- Sectores expuestos a la depositación de contaminantes atmosféricos (volátiles o material particulado);
- Suelos, aguas debajo y en dirección del escurrimiento de aguas lluvia;
- Cuerpos de agua superficial, que reciban aportes de escurrimientos, de canaletas de aguas lluvia o quebrada; y
- Aguas subterráneas, vulnerables a la infiltración de productos químicos (en la fase “libre”), contaminantes disueltos o difusión de compuestos volátiles.
- Flora y Fauna afectada por el incidente

El muestreo debe realizarse tanto dentro como fuera del área impactada, de manera de descartar o comprobar la posibilidad de que la contaminación dentro del sitio haya impactado los ambientes vecinos.

3.4.1 Calidad de Aire

Debido a la rápida dispersión y dilución de los contaminantes atmosféricos por el viento, no se considera un monitoreo de calidad de aire en la mayoría de los casos. Donde puede ser relevante es en el entorno inmediato de la fuente contaminante o cuando la emergencia se prolonga, por ejemplo:

- Vapores de orgánicos volátiles (extraídos del suelo);
- Polvo proveniente de caminos, tranques de relaves u otros depósitos; y
- Gases de monóxido de carbono, metano e hidróxido de sulfuro en un relleno sanitario.

También puede ser relevante en el caso de algunos contaminantes específicos: dioxinas y furanos, asbestos, vapores ácidos, etc.

Por otra parte, se considera más útil monitorear los suelos y aguas sujetos a la depositación de contaminantes atmosféricos (ver Figura V-7 a).

3.4.2 Calidad de Suelos

Como mínimo, el muestreo de los suelos superficiales debe considerar los siguientes puntos:

- SC-1: Punto de control, aguas arriba del derrame;
- S-1 : En el área directamente impactada por el derrame;
- S-2 : Directamente aguas abajo del derrame;

- S-3: Aguas abajo del derrame (por ejemplo en zonas donde se presume que podrían sedimentar las partículas de suelo).

En la Figura V-7 b) se presenta un ejemplo de la ubicación de los puntos de monitoreo en suelos sujetos al escurrimiento de aguas lluvia.

En el caso de derrames de mayor volumen o de una red de drenaje más grande, es necesaria la toma de muestras adicionales: tanto en puntos laterales, como también en dirección del drenaje de aguas (entre 5 y 10 muestras).

3.4.3 Calidad de Aguas Superficiales

Como mínimo, el muestreo del cuerpo receptor de aguas superficiales debe considerar los siguientes puntos:

- RC: Aguas arriba del aporte de contaminantes;
- R-1: En la confluencia las aguas contaminadas con el cuerpo receptor;
- R-2: Aguas abajo, una vez que se haya producido una mezcla suficiente;
- R-3: Aguas abajo, en una distancia suficiente (unos 500 m);

Eventualmente, se debería considerar la toma de sedimentos (en aquellos tramos del cuerpo receptor donde se presume que haya sedimentación). En la Figura V-7 c) se presenta un ejemplo de la ubicación de los puntos de monitoreo.

3.4.4 Calidad de Aguas Subterráneas

En general, la napa de aguas subterráneas más vulnerable corresponde al acuífero libre o superior, directamente por debajo de la zona de derrame. Por lo tanto, el muestreo de aguas subterráneas debe considerar los siguientes puntos como mínimo:

- PC : Pozo de Control, aguas arriba del derrame
- P-1 : Directamente aguas abajo de la zona de derrame
- P-2 y 3: Aguas abajo de la zona de derrame en una distancia mayor (con ello se pretende monitorear la velocidad de avance del frente de contaminación)

Además, se tienen que considerar los acuíferos confinados, inferiores al acuífero directamente afectado.

3.4.5 Flora y Fauna

El muestreo en terreno de la flora debe hacerse de acuerdo con las distintas zonas homogéneas identificadas en etapas previas. Cada zona homogénea debe ser muestreada en forma independiente, considerando muestras de los distintos estratos presentes:

- Estrato herbáceo: muestras de hojas, tallos, semillas y plantas completas
- Estrato arbustivo y arbóreo: Muestras de frutos, hojas, ramas y corteza

En el caso de la fauna silvestre es más complejo dado que ésta componente tiene la posibilidad de desplazarse del sitio del incidente. No obstante, como primera aproximación, y el caso que sea necesario (por ejemplo, toma de evidencias) se debieran tomar muestras de:

- Fauna Silvestre: animales muertos, agónicos (que deben ser sacrificados) o heridos (deben ser llevados a centros de recuperación);
- Animales domésticos: Muestras de sangre y/o leche, muestras de tejido (si hubiere animales muertos de gran tamaño), animales muertos o agónicos.

Si los análisis de las evidencias o muestras tomadas confirman un efecto sobre el componente, se debería solicitar la ejecución de una segunda etapa de muestreo con cargo al responsable del incidente, que puede considerar métodos más exactos como la instalación de trampas o mallas para la captura de fauna silvestre para su posterior análisis.

3.5 Muestras de Referencia

En todos los casos, es importante obtener muestras de los niveles basales de los parámetros contaminantes. Éstas corresponden a muestras tomadas gradiente arriba y en contra de la dirección predominante de los vientos del foco contaminante.

3.6 Controles y Blancos

Como medida de control de calidad se recomienda tomar uno o dos duplicados (y analizarlas en el mismo laboratorio como muestra “ciega”).

El blanco de campo corresponde a una muestra de agua bidestilada que se transporta al campo y se manipula como una muestra real, por ejemplo: se abre, se vierte sobre el equipo de muestreo previamente limpio o se trasvasija de un frasco a otro.

3.7 Comentario

Sin perjuicio de las recomendaciones generales sobre la localización de los puntos de muestreo, cada Plan de Monitoreo debe ser diseñado tomando en cuenta las condiciones particulares del lugar de emplazamiento y la interacción entre medios de transporte y componentes ambientales.

En particular se debe considerar el contexto hidro-geológico de emplazamiento del derrame:

- La topografía;
- El tipo y permeabilidad del subsuelo;
- La existencia de fallas o grietas;

- El tipo y la profundidad del acuífero subterráneo (ver Anexo F).

En la Figura V-8 se presenta el ejemplo de un plan de monitoreo de suelos, aguas superficiales y subterráneas. Corresponde al caso de un derrame en un valle o una quebrada, con un afloramiento de aguas, aguas abajo.

En la Figura V-9 se muestra el ejemplo de una contaminación en un terreno de alta permeabilidad:

- En este caso hay dos acuíferos, separados por un estrato de roca impermeable;
- La napa más vulnerable corresponde al acuífero libre o superior;
- Una característica especial es que la dirección de flujo de las aguas subterráneas es opuesta al drenaje de aguas superficiales; por esta razón se tienen que monitorear las aguas que afloran en el lado opuesto del cerro.

Finalmente, en la Figura V-10 se presenta un ejemplo de un derrame en suelos impermeables. A pesar de la baja permeabilidad del suelo, el estudio de las condiciones hidrogeológicas arrojó la existencia de una falla, a través de la cual pudiera propagarse la contaminación hacia estratos más profundos.

4 TOMA DE MUESTRAS

4.1 Producto Libre

El muestreo de residuos líquidos abandonados en bidones o contenedores puede realizarse con un muestreador tipo “bailer” o, en su defecto, un tubo de vidrio que se introduce en el líquido y cuyo extremo superior se cierra (efecto pipeta).

4.2 Muestreo de Suelos

4.2.1 Técnicas de Prospección

La elección de las técnicas de prospección de suelos depende de:

- Accesibilidad del terreno;
- Medios a muestrear;
- Profundidad;
- Columna estratigráfica del subsuelo; y
- Tamaño de la muestra.

En la Tabla V-3 se presenta un resumen de las técnicas de prospección más comunes para la toma de muestras de suelos.

TABLA V-3:
PRINCIPALES SISTEMAS DE PERFORACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

| SISTEMA | APLICABILIDAD | VENTAJAS | LIMITACIONES | OBSERVACIONES |
|--|---------------------------------------|---|--|---|
| Calicatas | Delimitación superficial y horizontal | Costos reducidos, rapidez de investigación | Prof. (hasta 5 m), representatividad de la muestra | Utilizada como herramienta previa o complementaria |
| Sondeos manuales (c/ muestreador tipo “auger”) | Suelos cohesivos y no cohesivos | Cortes medios, posibilidad de acceso a zonas difíciles para equipos mecánicos | Profundidad hasta 1 m. Suelos duros, rocas | Presentan multitud de diseños ante distintos suelos a muestrear |
| Sondeos ligeros | Suelos cohesivos y no cohesivos | Costos medios, posibilidad de acceso a zonas difíciles para equipos mecánicos | Profundidad (hasta 8-10 m) Suelos rocosos o arenosos | |
| Sondeos mecánicos | Todo tipo de suelo | Grandes profundidades, versatilidad, diámetros variables de perforación, instalación pozos de control | Costos elevados, Dificultades en lugares c/ problemas de acceso, requiere personal experimentado | Agrupar numerosas técnicas de perforación (en continua evolución) |

Fuente: IHOBE, 1998

En la Figura V-11 se presentan diferentes tipos de muestreadores de suelo, para el sondeo manual (hasta 1 m).

Para la toma de muestras de mayor profundidad (hasta sobre 5 m), el método más factible suele ser la excavación de calicatas (ver Figura V-3).

4.2.2 Profundidad del Muestreo

La elección de las muestras de suelo debe considerar la distribución de los contaminantes tanto en el plano horizontal, como el vertical. En la Tabla V-4 se presentan las profundidades:

**TABLA V-4:
PROFUNDIDAD DE MUESTREO DE SUELOS**

| Uso del Suelo | Objeto a proteger / Profundidad de muestreo | | |
|--|---|---|---------|
| | Organismos del suelo | Plantas | Agua |
| Cultivos hortícolas | 0 – max. 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 urbanas y de recreo con vegetación | 0-5 cm 5-10 cm | | |
| Huertas | 0-10 cm | | |

Fuente: IHOBE, 1998

En general, en el muestreo de suelos superficiales consideramos el estrato 0-10 cm.

4.2.3 Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra de suelos depende de dos consideraciones: la composición debe ser representativa y la cantidad debe satisfacer las exigencias del análisis específico. Se debería tomar una cantidad mayor a lo estrictamente necesario (unos 2 a 3 kg de suelo).

4.2.4 Otras Consideraciones

- La toma de muestras de suelo debería partir en los sectores menos contaminados hacia los sectores más contaminados, de manera de evitar una contaminación cruzada. Los blancos se deben tomar primero;
- Cuando en el perfil de un mismo sondeo haya niveles o estratos bien diferenciados, deberán tomarse muestras separadas de cada estrato;

- El tiempo de contacto de la muestra con el instrumento de perforación o muestreo debe ser mínimo; y
- Se debe evitar el arrastre de material desde niveles superiores.

Es preferible que la preparación de muestras mixtas o compuestas se realice en laboratorio, y no en terreno.

4.3 Muestreo de Aguas Subterráneas

4.3.1 Técnicas de Prospección

La toma de muestras de aguas subterráneas requiere de la instalación de un pozo de monitoreo (o uso de un pozo existente). En el muestreo de las aguas subterráneas se deberían considerar los siguientes procedimientos:

- **Medición del nivel de la napa**
- **Purgado/Limpieza del pozo:** para que la muestra de agua sea representativa, se debería extraer al menos un volumen de 3 veces la columna de agua contenida en el pozo.

Se habrá logrado la limpieza del pozo una vez que se estabilice el pH y la conductividad eléctrica (medidos en terreno con los equipos portátiles).

En lo posible, la muestra de agua debería ser tomada una vez que el acuífero haya recuperado su equilibrio (varios días después de la limpieza).

4.3.2 Muestreadores de Aguas Subterráneas

Los equipos de muestreo de aguas subterráneas utilizados con mayor frecuencia son los siguientes:

- Muestreadores tipo “bailer”, desechable (de PVC);
- Bailers de acero inoxidable;
- Botellas “Kemmerer”;
- Muestreadores tipo Van “Dorn”; y
- Bombas sumergibles, operadas con aire comprimido.

En la Figura V-12 se presentan varios tipos de muestreadores de aguas subterráneas. Considerando el alto costo de los equipos (y los riesgos de pérdida en terreno, o en el pozo), estimamos que el uso de “bailers” desechables de PVC sea suficiente en la mayoría de los casos.

4.3.3 Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra de agua depende de la cantidad de análisis; como mínimo 1 Litro de agua.

4.3.4 Otras Consideraciones

Para evitar el riesgo de una contaminación cruzada, el instrumental que haya permanecido en contacto con la muestra debe ser limpiado exhaustivamente.

Siempre, se debería muestrear en orden de menor a mayor contaminación: primero en el pozo de control, luego en los puntos más alejados y al final, cerca de la fuente de contaminación.

Filtración: Las muestras de agua deberían ser filtradas en el campo a través de un filtro de 0,45 μm , en condiciones anaeróbicas.

En el caso de un muestreo por bombeo, el dispositivo de extracción debe ser purgado con una cantidad de agua suficiente (tres veces el volumen de agua contenido en el dispositivo de extracción).

Cuando se pretende monitorear compuestos volátiles (hidrocarburos volátiles), es necesario minimizar la turbulencia (evitar muestreo por bombeo).

4.4 Muestreo de Aguas Superficiales

4.4.1 Muestreadores de Agua

Los equipos de muestreo de aguas superficiales utilizados con mayor frecuencia son los siguientes:

- Botella con peso;
- Muestreadores tipo “bailer” (desechables o acero inoxidable);
- Botellas “Kemmerer”;
- Muestreadores tipo Van Dorn; y
- Muestreadores tipo “Bacon”.

En la Figura V-12 y V-13 se presentan varios tipos de muestreadores de aguas superficiales (y producto libre).

4.4.2 Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra de agua depende de la cantidad de análisis; como mínimo 1 Litro de agua.

4.4.3 Otras Consideraciones

Filtración: Las muestras de agua deberían ser filtradas en el campo a través de un filtro de 0,45 µm, en condiciones anaeróbicas.

4.5 Muestreo de Flora

4.5.1 Técnicas de Prospección

Visualmente se deben definir las zonas homogéneas, que corresponden a una superficie que presentan las mismas comunidades vegetacionales, tanto en su densidad aparente como en la distribución de las asociaciones que la conforman (por ejemplo, un bosque de eucaliptus, un bosque nativo, pradera, espinal, etc.).

Se debe tomar muestras de los distintos estratos y de cada zona homogénea en forma independiente.

4.5.2 Toma de Muestras

Para la toma de muestra se emplearán tijeras de podar para la colección de hojas, tallos, ramas, trozos de corteza, semillas y frutos y, se emplearán palas para extracción de raíces, tubérculos o plantas enteras.

Las muestras deben ser colocadas en bolsas plásticas individuales, debidamente etiquetadas, mantenidas a una temperatura y humedad adecuadas. Es conveniente también, tomar fotografías destacando el impacto producido en la flora presente en el lugar.

Las hojas serán enviadas a laboratorio para análisis foliares clásicos con énfasis en las sustancias contaminantes, en el caso de frutos y semillas. Se determinará entre otros los Límites Máximos de Residuos (se acuerdo con el Reglamento Sanitario de los Alimentos del MINSAL) y se dará énfasis en los contaminantes que ocasionaron el incidente y en los subproductos de estos.

4.5.3 Tamaño de la Muestra

El número de muestras a tomar esta relacionado con el tamaño de la superficie homogénea potencialmente afectada y la vulnerabilidad de las asociaciones vegetacionales existentes de acuerdo a lo indicado en el Capítulo IV sección 3.4. Como criterio se puede emplear la siguiente fórmula.

$$NM = \frac{\sqrt{SH} * V}{100}$$

Donde:

SH = es el área de la superficie homogénea (m^2);
 V = es la vulnerabilidad (alto = 100; medio= 50; bajo = 10)

Cabe señalar que la muestra final a analizar, puede ser una o dos muestras compuestas por zona homogénea, conformadas por las muestras individuales que indica la ecuación anterior.

En el caso de que se considere necesario efectuar un análisis más detallado de las muestras (muestras individuales) se debe usar como criterio la elección de la muestra más representativa de cada zona homogénea y los recursos económicos disponibles.

4.6 Muestreo de Fauna

Dado que la fauna en general tiene la posibilidad de desplazarse de las zonas afectadas por el incidente, se tomarán muestras de los animales muertos o agónicos encontrados en el área de impacto directo e indirecto. El número de muestras dependerá de la especie que se trate:

- Grandes mamíferos²; Muestras de Tejido (Pulmón, hígado, músculo y tejido adiposo) al menos un kilo;
- Pequeños mamíferos y marsupiales; Animales enteros al menos uno de cada especie encontrada;
- Reptiles y anfibios; animales enteros al menos dos o tres de cada especie;
- Aves; animales enteros el menos dos o tres de cada especie
- Insectos en general los de relevancia y no perjudiciales (abejas, abejorros, madre de la culebra, araña pollito, libélulas, ciervo volante y otros.)
- Para el caso de animales domésticos pueden tomarse muestras de sangre y/o leche en caso de animales vivos y muestras de tejidos en animales muertos especialmente (Pulmón, hígado, músculo y grasa) al menos un kilo.

4.7 Otras Componentes

- **Agua de la Zona No-saturada:** Los equipos utilizados en la toma de muestras del agua de la zona no saturada del suelo incluyen: lisímetros, toma-muestras de succión, etc.
- **Aire Intersticial de Suelo:** En el caso de compuestos volátiles o semi-volátiles (hidrocarburos ligeros, solventes clorados), hay una parte importante de los contaminantes en la fase gaseosa. El monitoreo de los gases permite una aproximación a la distribución de los contaminantes en el suelo. Por esto, se efectúa típicamente en la fase exploratoria de la investigación. Un caso particular son los vertederos clandestinos o rellenos sanitarios; el muestreo y análisis del aire intersticial permite detectar zonas activas y evaluar el riesgo de migración de gases.

² Zorros, Pumas,. Pudú, y otros

5 ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Una vez tomada la muestra, deberá introducirse en un recipiente adecuado y almacenarse para su transporte hasta el lugar donde se vaya a realizar el análisis.

Esta etapa del muestreo requiere una preparación cuidadosa, para evitar que en ella se produzca una contaminación, segregación y/o modificación de la muestra. *Reducción de la Muestra (eventual)*.

En el caso de muestras de suelo muy heterogéneas (y cuando los contaminantes no sean volátiles), es conveniente efectuar una reducción de la muestra de suelo en terreno:

- Eliminación de material extraño (bolones, piedras, vidrio, madera u otro);
- Mezcla del material, formación de un cúmulo o cono;
- División en cuartos de igual tamaño; y
- Selección de dos cuartos (para luego proceder a la mezcla).

Este procedimiento de “cuarteo” permite la toma de muestras grandes (sobre 10 kg); puede ser efectuado varias veces hasta llegar al tamaño de la muestra que se envía a laboratorio (2 – 3 kg). En la Figura V-11 se presenta un ejemplo del procedimiento de disminución de una muestra de suelos.

5.1 Envasado de la Muestra

En cuanto al tipo de envase se deben considerar los siguientes aspectos:

- Como criterio general, las muestras en las cuales se pretende analizar compuestos inorgánicos deben ser envasado en recipientes de material plástico;
- Por otra parte, en el caso de análisis de orgánicos se deben usar envases de vidrio (con tapas metálicas y sello de teflón); y
- En el caso de muestras que puedan tener actividad bacteriana, es necesario usar recipientes estériles (de vidrio).
- Las muestras biológicas serán almacenadas en forma individual en bolsas de polietileno selladas

En el caso de muestras volátiles, se debe minimizar el espacio de aire en el envase (“head space”).

En cada caso, se indicará la siguiente información en la etiqueta:

- Identificación de la Muestra
- Lugar de Muestreo
- Tipo de muestra (suelo, sedimento, agua superficial o subterránea)

- Fecha y Hora en que se tomó
- Preservantes (sí los hubiera)
- Responsable del muestreo

5.2 Preservación de la Muestra

En términos generales, se recomienda mantener las muestras refrigeradas a aproximadamente 4°C. Para tal efecto, se deben considerar hieleras y “ice-pack”.

Además, hay algunas consideraciones específicas según el tipo de muestra:

- **Suelos:** Las muestras sólidas suelen ser relativamente estables; es suficiente la refrigeración a 4°C;
- **Agua:** Las muestras de agua suelen deteriorarse más rápidamente que las sólidas. Por esta razón, se debe considerar la adición de un agente químico estabilizante o preservante en terreno (según el tipo de análisis químico³);
- **Muestras Gaseosas:** Se recomienda el transporte en contenedores metálicos (no requiere otra medida de preservación).
- **Muestras Vegetales:** Deben ser conservadas a una temperatura y humedad adecuadas, serán entregadas a laboratorio para análisis, antes de 48 horas después de ser colectadas
- **Muestras de Tejido o Animales:** Deben ser conservadas en cajas de Plumavit o Cooler con Icepack o hielo a baja temperatura (0 a 4 °C) serán entregadas a laboratorio para análisis, antes de 48 horas después de colectadas
- **Otros:** En algunos casos, cuando se trata de muestras de sedimentos con un gran contenido de humedad puede ser necesario congelarlas para evitar que se produzcan modificaciones en su composición (ITGE, 1995).

Sin perjuicio de parámetros específicos, el tiempo máximo de transporte es de 48 horas.

5.3 Precauciones para el Transporte

Durante el transporte los envases de muestras debieran ser introducidos en recipientes mayores, estancos y resistentes a golpes (preferiblemente de madera, metal o plástico duro).

Dentro del recipiente mayor, las muestras deberán ser empaquetadas con un material de relleno aislante que las inmovilice (manteniendo la misma orientación en la cual fueron tomadas).

Los recipientes de transporte deben ser claramente identificados (en forma indeleble), acompañado por un documento con la información relevante sobre las muestras respectivas.

³ En general, el laboratorio entrega los envases con preservantes para los diferentes parámetros a analizar.

Las condiciones de transporte deberán ser evaluadas con blancos de transporte.

5.4 Envío de las Muestras

El responsable del muestreo debe asegurar que las muestras lleguen al laboratorio y se guarden en condiciones adecuadas (una vez recepcionadas ahí). Lo anterior es importante, sobre todo cuando las muestras no están siendo entregadas en forma personal, sino enviados por otro medio de transporte a Santiago (por ejemplo avión, bus).

6 PARÁMETROS DE ANÁLISIS

En la elección de los parámetros de análisis se debe tener presente el objetivo del muestreo:

- **Identificación de una sustancia:** si la sustancia es conocida se puede emplear un parámetro global para identificarla en un cierto medio (por ej. hidrocarburos totales). Cuando se pretende identificar una sustancia desconocida, puede ser necesario usar una analítica más sofisticada: por ej. cromatografía gaseosa.
- **Cuantificación del Derrame:** Un parámetro indicador del contaminante es suficiente para confirmar o descartar la presencia del contaminante (incluso puede ser visual o con mediciones en terreno, ahorrando costos ya que no se requiere de tanta precisión).
- **Evaluación de las Vías de Transporte:** En cuanto a la movilidad del contaminante es relevante su granulometría.
- **Cuerpo Receptor:** En general, se eligen varios parámetros indicadores de la contaminación; para poder evaluar la extensión del impacto, pudiendo utilizar parámetros globales (por ej. hidrocarburos totales); mientras que para la evaluación dosis/respuesta debe ser un parámetro relevante en cuanto a la información toxicológica (por ej. benceno).

6.1 Análisis Químicos

En términos generales, se distinguen los siguientes parámetros de análisis:

- pH
- Conductividad
- Hidrocarburos fijos Totales
- Hidrocarburos volátiles
- Aceites y grasas
- Metales pesados (Concentraciones totales y disueltas en agua)
- Coliformes totales o fecales

En la Tabla V-5 se presentan los parámetros indicadores para cada tipo de emergencia. Además, en el Capítulo III se adjuntan fichas de resumen por tipo de emergencia de las sustancias químicas a monitorear.

**TABLA V-5:
PARÁMETROS DE ANÁLISIS QUÍMICO, SEGÚN TIPO DE EMERGENCIA**

| Nº | TIPO DE EMERGENCIA | SUSTANCIA QUÍMICA | PARÁMETRO DE ANÁLISIS |
|----|---|--|--|
| 1. | Derrame de Hidrocarburos y Derivados de Petróleo | <ul style="list-style-type: none"> – Crudo – Gasolina – Diesel – Fuel Oil | <ul style="list-style-type: none"> – Hidrocarburos Totales de Petróleo – Hidrocarburos fijos – Hidrocarburos volátiles – Aceites y grasas – BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno) |
| 2. | Derrames de Ácidos y Básicos Corrosivos | <ul style="list-style-type: none"> – Ácido Sulfúrico – Ácido Clorhídrico – Ácido Cianhídrico – Hidróxido de sodio | <ul style="list-style-type: none"> – pH – Conductividad – Cianuro – *) |
| 3. | Plaguicidas y Pesticidas | <ul style="list-style-type: none"> – Paration – Diazinon – Clorpirifos – Malathion – Dimetoato – Antrazina | <ul style="list-style-type: none"> – Azufre – Aceites y grasas – Cobre – *) |
| 4. | Derrame de Relaves | <ul style="list-style-type: none"> – Ácidos – Sólidos – Xantato de sodio – Cal – Barros con metales pesados | <ul style="list-style-type: none"> – pH, conductividad – Sólidos suspendidos – Cianuro / Cianuro WAD – Arsénico, cobre, molibdeno, plomo, cromo, zinc |
| 5. | Derrame de Concentrados de Mineral | <ul style="list-style-type: none"> – Cobre – Molibdeno | <ul style="list-style-type: none"> – pH – Conductividad – Cobre, Molibdeno |
| 6. | Derrame de Otros Productos Químicos | <ul style="list-style-type: none"> – Ácidos y bases – Hidrógeno – Acetileno – Amoniaco – Sales | <ul style="list-style-type: none"> – pH, Conductividad – Nitrógeno Total, amoníaco, TKN, nitrito nitrato – Sólidos Totales disueltos – *) |
| 7. | Incendio de Bodegas de Productos Químicos | – Dioxinas, furanos | |
| 8. | Incendio de Vertederos Clandestinos (con Residuos Peligrosos) | – Dioxinas, furanos | |
| 9. | Derrame de Lixiviados en Rellenos Sanitarios | <ul style="list-style-type: none"> – Ácidos – Fenoles – Sales de cianuro – Metales pesados – Compuestos orgánicos | <ul style="list-style-type: none"> – pH, conductividad – Sólidos Totales Disueltos – Compuestos Fenólicos – Cianuro – Metales pesados: As, Cd, Hg, Pb, Mn, Zn) – Hidrocarburos fijos – Coliformes totales y fecales – DBO₅, DQO |

Nota: *) dependiendo del producto químico involucrado en el incidente
Fuente : Elaboración propia

En el caso de las concentraciones totales de metales pesados en aguas superficiales, es importante considerar si las muestras tienen un contenido muy alto de sólidos suspendidos. Eventualmente habría que analizar concentraciones disueltas, y filtrarlas previamente.

En el caso de las concentraciones totales en suelos, hay que tener presente que éstas no son biodisponibles: hay metales químicamente fijos o adsorbidos en la superficie del suelo. En algunos casos puede ser útil efectuar pruebas de lixiviación con diferentes pH (ver punto siguiente).

6.2 Pruebas de Lixiviación (TCLP)

Se recomienda realizar pruebas de lixiviación en la evaluación de los siguientes materiales:

- residuos sólidos industriales,
- relaves, y
- concentrados.

Cuando se trata de un residuo sólido, lo más común es efectuar un TCLP (“Toxicity Characteristics Leaching Procedure”); éste se realiza con un pH= 4 ya que pretende simular las condiciones ácidas en un relleno sanitario.

Este ensayo puede ser modificado para mejor reflejar las condiciones del problema que se estudia: usando agua destilada, un pH neutro, una lixiviación sucesiva, entre otros.

6.3 Granulometría

La granulometría de un producto contaminante o de los suelos directamente impactados es relevante para evaluar la movilidad de contaminantes adheridos al suelo. Es necesario analizar la granulometría del producto contaminante en los siguientes casos:

- Relaves;
- Concentrados; y
- Cenizas, polvos o cualquier contaminante granular.

Eventualmente, se podrá efectuar un análisis químico de la fracción fina ($< 100\mu\text{m}$).

6.4 Microscopía

En algunos casos puede ser útil identificar los minerales, partículas contaminantes a través de la microscopía. En la Figura V-12 se presenta un ejemplo.

6.5 Pruebas de Toxicidad

La finalidad de un ensayo de toxicidad es valorar el riesgo que una sustancia, un agua o un suelo contaminado tienen para un organismo vivo y los posibles efectos que pueden tener. En el caso de no tener información toxicológica suficiente de la sustancia contaminante, se puede considerar la ejecución de los siguientes ensayos de toxicidad:

- Ensayos normalizados que entregan la concentración letal media CL_{50} , para suelos (con gusanos de tierra);
- Agua (con el crustáceo *Daphia magna*);
- Especies de Peces, y
- Sedimentos.

6.6 Otros Parámetros

El análisis de las vías de propagación de los contaminantes en las aguas requiere una serie de antecedentes:

- **Permeabilidad del subsuelo:** A través de mediciones de permeabilidad *in-situ* (prueba de infiltración), los ensayos Lugeon, “slug test” u otros;
- **Ensayos de bombeo:** Los pozos de monitoreo de aguas subterráneas, instalados durante la investigación de campo, junto con otros pre-existentes pueden ser aprovechados para realizar ensayos de bombeo que permitan determinar los parámetros hidrodinámicos de las formaciones presentes (coeficientes de permeabilidad, de almacenamiento, transmisividad) y la interrelación hidráulica entre las mismas;
- **Profundidad de la napa:** La medición de los niveles de agua subterránea en varios pozos permite establecer la dirección y velocidad de flujo de las aguas subterráneas;
- **Medición de Caudales de Aguas Superficiales:** Podrá estimarse a través de la medición de flujo de las aguas y sección del cauce; permite determinar el factor de dilución de una contaminación y su área de influencia.

Permite cuantificar el flujo y la velocidad de propagación de los contaminantes en los recursos hídricos (ver también Anexo F).