

PRESENTACIÓN

La “Metodología para la Identificación de Cuerpos de Agua y Suelos Contaminados que Representen Peligro a la Población” tiene como propósito principal establecer la información básica y los criterios para determinar si un sitio donde existen sustancias químicas o residuos puede representar una fuente de peligro para la población de los alrededores. Para esto se indica y describe la información necesaria sobre el sitio contaminado y la manera en que dicha información puede obtenerse, para posteriormente realizar un análisis y determinar el posible peligro a la población. En esta guía se establecen dos tipos de identificación que se pueden llevar a cabo en un sitio contaminado en cuerpos de agua y en suelo, así mismo, se describen los principales procedimientos para realizar el muestreo de suelo y agua, cuyo análisis permite determinar el grado de contaminación del sitio, estos se encuentran en anexos para hacer la lectura más ágil.

Cabe aclarar que la información se tomó de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Químicos, del capítulo II titulado *Identificación y Evaluación de Sitios Contaminados* elaborado por el área de Riesgos Químicos en el año 2006, la cual fue reestructurada y actualizada.

METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUA Y SUELOS CONTAMINADOS QUE REPRESENTEN PELIGRO A LA POBLACIÓN

1.1 MARCO LEGAL

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, establece en el punto 1.6.1 la Política estratégica para la prevención de desastres, cuyas líneas de acción comprenden promover y consolidar la elaboración de un Atlas Nacional de Riesgos (ANR) a nivel federal, estatal y municipal, asegurando su homogeneidad.

Por otra parte la Ley General de Protección Civil señala que los atlas de riesgo constituyen el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del Riesgo y establece que el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Centro Nacional) es la institución técnica-científica de la Coordinación Nacional de Protección Civil que tiene entre sus atribuciones la integración del ANR.

En el artículo 15 de la misma Ley se presenta: “El objetivo general del Sistema Nacional es el de proteger a la persona y a la sociedad y su entorno ante la eventualidad de los riesgos y peligros que representan los agentes perturbadores y la vulnerabilidad en el corto, mediano o largo plazo, provocada por fenómenos naturales o antropogénicos, a través de la gestión integral de riesgos y el fomento de la capacidad de adaptación, auxilio y restablecimiento en la población”.

El artículo 86 se refiere al Atlas el cual dice a la letra, “**En el Atlas Nacional de Riesgos y en los respectivos Atlas Estatales y Municipales de Riesgos, deberán establecerse los diferentes niveles de peligro y riesgo,** para todos los fenómenos que influyan en las distintas zonas. Dichos instrumentos deberán ser tomados en consideración por las autoridades competentes, para la autorización o no de cualquier tipo de construcciones, obras de infraestructura o asentamientos humanos”.

Por otra parte Ley General de Protección Civil, 2012 define el concepto de Fenómeno Sanitario-Ecológico, como agente perturbador que se genera por la acción patógena de agentes biológicos que afectan a la población, a los animales y a las cosechas, causando su muerte o la alteración de su salud. Las epidemias o plagas constituyen un desastre sanitario en el sentido estricto del término. En esta clasificación también se ubica la contaminación del aire, agua, suelo y alimentos”.

Por lo que, es atribución de las Unidades Estatales y Municipales de Protección Civil realizar estudios encaminados a determinar los peligros a la población debido a la contaminación del suelo y agua.

1.2 MARCO LEGAL EN RELACIÓN A LA CONTAMINACIÓN

Para la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la prevención y control de la contaminación de suelo, agua y aire tiene como propósito fundamental la protección del ambiente (Art. 1; fracción VI de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente), para ello ha dictado en la misma Ley algunos artículos relacionado con la prevención de la contaminación.

En el capítulo 2, artículo 4º, de la Ley no dice que: “La Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios ejercerán sus atribuciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales.

Así, el artículo 39 de la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos establece que la SEMARNAT integrará inventarios de tiraderos de residuos o sitios donde se han abandonado clandestinamente residuos de diferente índole en cada entidad, en los cuales se asienten datos acerca de su ubicación, el origen, características y otros elementos de información que sean útiles a las autoridades, para desarrollar medidas tendientes a evitar o reducir riesgos. La integración de inventarios se sustentará en criterios, métodos y sistemas informáticos, previamente acordados, estandarizados y difundidos. Adicionalmente, el artículo 75 de la misma ley indica que la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales será responsable de llevar a cabo las acciones para identificar, inventariar, registrar y jerarquizar los sitios contaminados con el objeto de determinar si procede su remediación.

1.3 ANTECEDENTE DE CONTAMINACIÓN

Para comprender el alcance de este fenómeno se debe conocer el término ecosistema, los cuales se definen como la unidad del “eco” (casa) de los seres vivos el cual está integrado por elementos bióticos (plantas, animales, bacterias, algas, protozoos, hongos, etc.) y abiótico (entorno físico, químico y energético) estableciendo una interdependencia entre todos los miembros, creando así un equilibrio.

El rápido crecimiento poblacional y los patrones de consumo son factores que han propiciado la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental que, aunados al desarrollo industrial y económico, han ocasionado que se incremente la contaminación ambiental.

Según Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en el artículo 3 fracción VI la contaminación se define como la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

La contaminación es básicamente un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente natural, producido sobre todo por la actividad humana. La contaminación en un sentido práctico es el resultado de la ineficiencia de los procesos desarrollados por el hombre, ya que la extracción de materias primas, la fabricación de un producto, la energía necesaria para el proceso de fabricación, la distribución de productos, los envases y empaques para su comercialización y el producto mismo generan una considerable cantidad de desperdicios que ya no son útiles (aguas residuales, emisiones a la atmósfera, residuos sólidos y residuos peligrosos), y la naturaleza no tiene la capacidad de degradar a muchos de estos residuos, debido a sus características químicas complejas, permaneciendo en el ambiente durante años.

Un sitio se puede contaminar principalmente debido a una disposición inadecuada de sustancias y residuos, contaminando el suelo con residuos de la actividad minera como metales pesados, los basureros y sitios de disposición final también contaminan el suelo, la industria también contaminan sus predios por la actividad que realizan en ellos, por otra parte los accidentes con materiales peligrosos pueden contaminar el suelo ya que la sustancia es adsorbida por el suelo y puede representar peligro para la población.

1.4 IDENTIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

El propósito de identificar la contaminación del suelo y los cuerpos de agua de un ecosistema es decidir las acciones a tomar cuando éste se encuentra contaminado con sustancias peligrosas que puedan ser un riesgo para la población.

La metodología tiene como objetivo realizar mapas de peligro y riesgo para la población del suelo y agua contaminada con sustancias peligrosas, para ello es necesaria:

- Determinar el grado de contaminación y de peligrosidad para la población del suelo o cuerpo de agua.
- Establecer medidas de protección para la población y el ambiente.

La evaluación preliminar permite determinar la presencia y extensión de la contaminación. En la evaluación detallada del sitio se realiza un estudio completo identificando los contaminantes y sus concentraciones; para después evaluar riesgo a la salud de la población aledaña.

De manera general para evaluar un suelo o cuerpo de agua contaminado es necesario coleccionar, clasificar y analizar los datos sobre el sitio; para esto se requiere una planeación adecuada de las actividades que satisfagan los objetivos del estudio. Las actividades de evaluación comprenden la

colección de datos, identificación de los principales efectos sobre las personas y el ambiente, diseño del programa de muestreo, colección y análisis de muestras, evaluación de resultados y elaboración del reporte.

1.5 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR CONTAMINACIÓN

En capítulo 2 fracción XXXVII de la Ley General de Protección Civil define al Peligro como la Probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado.

Para comprender el concepto de peligro relacionado a la contaminación es necesario enfocarnos en la interacción entre los residuos y los medios abióticos que se contaminan, lo cual constituyen una amenaza para la salud humana, es principalmente la presencia de sustancias potencialmente tóxicas, en condiciones que puedan dar lugar a su liberación o movilización hacia otros lugares, y puedan ejercer sus efectos adversos a la salud humana.

En capítulo 2 fracción LVIII de la Ley General de Protección Civil define a la Vulnerabilidad como La susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales. En el caso de la contaminación del agua y suelo la afectación es al ambiente y la salud de la población por la interacción con éste.

En capítulo 2 fracción XLIX de la Ley General de Protección Civil define al Riesgo como daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador.

El riesgo de una sustancia o residuo tóxico está en función de la exposición, este factor se vuelve sumamente relevante al tratar de caracterizar un sitio contaminado para determinar el grado de riesgo que representa y establecer medidas de prevención, para reducir dicha exposición. Es importante señalar que el riesgo de un contaminante no es el mismo si la exposición ocurre a través de la piel (exposición dérmica), inhalación o ingesta.

En esto radica la importancia de realizar estudios e investigación sobre los cuerpos de agua y suelo contaminados para determinar el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo de estos sitios a la población aledaña.

1.6 PROCESO DE EVALUACIÓN DE UN SITIO

Pasos a seguir para determinar peligro

- Identificar los agentes perturbadores relacionados con la contaminación en el municipio o estado.
- Identificar los lugares contaminados
- Ubicar fuentes de contaminación
- Analizar si existen sustancias potencialmente tóxicas o proliferación de organismos patógenos
- Ubicar sistemas expuestos, por ejemplo población cercana
- Determinar grado de contaminación o peligro

El proceso de evaluación inicia con la ubicación de sitios contaminados, en el cual se sospecha la existencia de sustancias o materiales peligrosos; una vez ubicados, se procede a la evaluación preliminar en la cual se recopila toda la información existente sobre el sitio con el propósito de determinar si existe una probable amenaza o riesgo para las personas o el ambiente.

La evaluación preliminar es un análisis sistemático de planos, mapas, documentos e información diversa tomados de registros y archivos existentes en dependencias públicas, para determinar si un sitio está o puede estar contaminado, y para determinar la probable naturaleza y localización de la posible contaminación. La evaluación preliminar no involucra muestreo ni análisis y consta de dos partes: el estudio del material de documentación y el reconocimiento del sitio.

Cuando se determina que el sitio presenta una posibilidad de afectación importante y se requiere de mayor información, se desarrolla una evaluación detallada; esta evaluación permite confirmar si existe contaminación, y definir la naturaleza y grado de contaminación a través de un programa de muestreo y análisis. La evaluación detallada consiste de tres etapas:

- Etapa de planeación
- Etapa de muestreo y análisis químico
- Etapa de interpretación y evaluación de resultados.

Para efecto de esta metodología se tendrán 2 capítulos, una para contaminación del agua y otra para contaminación del suelo.

2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR PELIGROS A LA POBLACIÓN POR CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA

2.1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida, se encuentra distribuida en aguas superficiales (que incluyen ríos, arroyos, lagos, estuarios) y en agua subterránea, es decir aquella que llena los poros o grietas de las rocas que están por debajo de la superficie terrestre, formando los llamados acuíferos, este recurso es indispensable para lograr un cierto nivel de desarrollo de cualquier país, empleándose para:

- Consumo humano
- Riego agrícola
- Elaboración de alimentos
- Acuicultura
- Recreación
- Producción de energía eléctrica
- Actividades industriales
- Navegación

En México el uso consuntivo predominante se da en el sector agrícola, 78% de agua se utiliza para riego, público urbano 11.5%, industrial 8.5% y otros usos como el pecuario o el destinado a la acuicultura consumen 2.2%.

México cuenta con suficientes volúmenes de agua para satisfacer las demandas de abastecimiento de todos los sectores, pero el creciente deterioro en la calidad de este recurso, debido a la contaminación, limita sus posibilidades de uso e incrementa sustancialmente el riesgo de afectar la salud de la población y el equilibrio ecológico del ecosistema acuático.

Las principales fuentes de agua son las siguientes:

Aguas Superficiales

Las aguas superficiales incluyen ríos, lagos, lagunas y presas; las cuales han sido fuentes primarias de abastecimiento de agua en virtud de las altas tasas de extracción que soportan normalmente.

Aguas Subterráneas

Son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia abajo por los poros del suelo y rocas; el suelo y las rocas que se han saturado de agua forman ríos subterráneos, los cuales se conocen como depósitos de agua subterránea o acuíferos. El agua se extrae normalmente de estos depósitos por medio de pozos.

Las aguas subterráneas y superficiales son vulnerables a la contaminación, la sobreexplotación, los procesos de salinización y el colapso de sus espacios naturales por hundimientos, entre otros, por lo que es necesario purificarlas a través de plantas de tratamiento.

El agua se contamina por el ingreso de sustancias (contaminantes) ajenas a ésta, las cuales modifican sus propiedades fisicoquímicas. Cuando los contaminantes se incorporan a un cuerpo de agua en exceso, se inicia un proceso de degradación del ecosistema mismo que puede llegar a niveles tales que sea necesario suspender su consumo humano y todo tipo de actividad productiva y recreativa relacionada con ella.

2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

La mayor parte de la contaminación se origina en los usos doméstico, industrial y agrícola, sin olvidar el impacto de la contaminación natural del agua, que afecta principalmente a las aguas subterráneas próximas a las costas debido a la intrusión salina, la cual normalmente es provocada por la extracción excesiva de agua para consumo humano. Existen dos tipos de contaminación: la difusa o dispersa y la puntual.

Las fuentes de contaminación difusa o fuentes no localizadas, son el resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cuerpos de agua que los reciben. Es claro que la contaminación de fuentes no localizadas es mucho más difícil de identificar, medir y controlar. Por lo general los tipos de prácticas agrícolas y forestales por el uso de plaguicidas e insecticidas, así como el aporte de residuos de insumos agrícolas y las formas de utilización de la tierra, entre las que se encuentran las actividades de alimentación animal (engorda), que producen contaminantes con cargas de nutrientes.

Las fuentes localizadas están asociadas a las actividades en que el agua residual va directamente a las aguas receptoras y se puede fácilmente cuantificar y controlar. Las principales fuentes de contaminación son: fábricas, refinerías, descargas de agua residuales, gasolineras, lixiviado de rellenos sanitarios, disolución de minerales, entre otras.

Los contaminantes presentes en las fuentes industriales son por lo general metales pesados, compuestos orgánicos específicos, radionúclidos y que a su vez modifican propiedades físico-químicas del agua. Entre los componentes de las descargas de aguas residuales se encuentran microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico que se encuentran combinados con aceites, grasas y productos químicos derivados de las industrias cuando estos últimos entran en las corrientes de desechos domésticos a través de los sistemas de alcantarillado. Los desechos industriales contienen, además, cantidades altas de materia orgánica provenientes de las plantas procesadoras de alimentos y bebidas y de la industria del cuero y de la madera. Otras actividades que aumentan la descarga de sedimentos son los jales mineros.

Las principales fuentes de contaminación del agua en México son:

Prácticas agrícolas. Los principales contaminantes son los plaguicidas, llevados hasta los ríos por la lluvia y la erosión del suelo, los cuales llega a los cuerpos de agua y los contaminan. Las aguas de retorno agrícola son otra fuente de contaminación importante cuyo impacto se manifiesta en el alto porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutrofización, debido al aporte de nutrientes del exceso de fertilizantes.

Urbanización. Las descargas de residuos de origen doméstico y público constituyen las aguas residuales municipales. Están relacionadas con los servicios de agua potable y alcantarillado. Éstas se incrementan en los grandes asentamientos urbanos, contaminando con microorganismos patógenos responsables de muchas enfermedades diarreicas.

Industrialización. Descargas generadas por las actividades de extracción y transformación de recursos naturales usados como bienes de consumo y satisfactores para la población. Las descargas industriales contienen metales pesados y otras sustancias químicas tóxicas, que no se degradan fácilmente en condiciones naturales. Entre las actividades más contaminantes destacan la industria azucarera, química, petrolera, metalúrgica y, de papel y celulosa.

Sector pecuario. Constituido por los efluentes de las instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado bovino, vacuno y granjas avícolas, entre otras, aportando gran cantidad de nutrientes.

Los principales contaminantes y procesos que afectan negativamente la calidad del agua se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

Contaminantes y Procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutroficación	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutroficación. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (E. coli, protistas, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Origen industrial, dioxinas, plásticos, plaguicidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos aromáticos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (COP).	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Desechos nucleares	Incluye una gama amplia de radionúclidos utilizados en fines pacíficos	Plantas nucleares, ensayos nucleares, desechos hospitalarios, desechos industriales.
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Fuente: Kraemer, Choudhury y Kampa (2001)

2.3 EFECTOS EN LA SALUD POR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Algunas personas pueden ser más vulnerables a los contaminantes presentes en el agua potable que la población en general. Los individuos cuya inmunidad es débil, como aquellos que padecen de cáncer y están bajo un tratamiento de quimioterapia, los que han sido objeto de un trasplante, los portadores del virus VIH u otros desórdenes del sistema inmunológico, así como los ancianos y niños, tienen mayor riesgo de contraer infecciones, debido a los microorganismos presentes en el agua.

Cerca de la mitad de la población de países en desarrollo sufre de una o más de las enfermedades asociadas con una inadecuada provisión de agua potable y servicios de saneamiento; estas enfermedades gastrointestinales se caracterizan por diarreas, por microorganismos como la *Shigela*, *Ascaris*, entre otras.

El agua contaminada es transmisora de enfermedades e infecciones como la tifoidea, disentería y gastroenteritis. No obstante, en México la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años se ha reducido, pasando en 1990 de una tasa nacional de 123 casos por cada cien mil habitantes de este grupo de edad, a 23 casos en el 2000, ubicándose como la cuarta causa de mortalidad infantil en nuestro país.

Por lo general, los efectos del fluoruro sólo se manifiestan tras una exposición prolongada al agua contaminada con esta sustancia. Esta sustancia puede debilitar a las personas, dejarlas gravemente lisiadas o incluso causarles la muerte. Por su parte, la exposición prolongada a bajas concentraciones de arsénico en el agua potable, provoca lesiones graves en la piel y puede derivar en casos de cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón.

De los diversos compuestos químicos encontrados en agua subterránea, los orgánicos representan el mayor riesgo por sus efectos en el ambiente y en la salud humana. Dentro de este grupo de

compuestos, los disolventes industriales y los hidrocarburos policíclicos aromáticos, derivados del petróleo son los más comúnmente encontrados en agua subterránea. Algunos ejemplos son el percloroetileno y tricloroetileno; éstos producen depresión del sistema nervioso central, afectan la función del hígado y riñón, dependiendo de la concentración y tiempo de exposición. Se sospecha que el tetracloruro de carbono y el cloroformo son cancerígenos. Está comprobado que el benceno es un agente cancerígeno en humanos.

Un sistema de agua subterránea se degrada cuando un compuesto orgánico potencialmente tóxico alcanza concentraciones de varias decenas de microgramos por litro —partes por billón— o más. Muchos de los compuestos orgánicos tienen solubilidades en agua del orden de decenas y centenas de miligramos por litro —partes por millón—. Por lo tanto, sólo se requiere una baja concentración de estos compuestos para contaminar el agua subterránea.

Los metales pesados son elementos tóxicos para la el ser humano, se empezaron a disponer en la naturaleza cuando el hombre descubre los metales preciosos, sin embargo con ellos también se extraen metales como el plomo, el cromo, el cadmio, además de utilizar el mercurio, los cuales son altamente tóxicos, el ser humano los consume a través de los alimentos, lo cual representa un riesgo a largo plazo, así que su evaluación en cuerpos de agua contaminados es relevante para determinar el peligro al que está expuesta la población.

2.4 EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.4.1 Introducción

Después de realizar la evaluación preliminar del sitio contaminado y llegar a la conclusión de que el cuerpo de agua superficial o subterránea debe ser evaluado en forma detallada, es necesario tomar en consideración la complejidad que representa la evaluación de cuerpos de agua contaminados, debido en gran medida a los asentamientos humanos que se han desarrollado en las márgenes de los ríos y arroyos o cualquier tipo de cuerpo acuático, con el fin de satisfacer sus necesidades más elementales. Con la revolución industrial y la explosión demográfica, la demanda de agua potable ha aumentado y por lo tanto, las ciudades e industrias se han visto en la necesidad de retornar las aguas residuales a las fuentes de abastecimiento (ríos y lagos).

Como consecuencia de lo anterior, los riesgos a la salud por la presencia de sustancias tóxicas y microorganismos patógenos en los cuerpos de agua, se incrementan ya que la población utiliza esta agua para consumo humano, para riego de sus parcelas y como abrevaderos del ganado. Por tal motivo, es necesario realizar un estudio integral para evaluar el grado de deterioro ambiental en los diferentes sistemas acuáticos y determinar las causas de contaminación en cada caso para proponer alternativas de solución viables.

2.4.1.1 Legislación en México y programas gubernamentales

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología emitió el 28 de enero de 1988, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación; esta ley se refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Esta Ley presenta los criterios que se deben considerar para el control de la contaminación por descargas residuales a los cuerpos de agua, los cuales establecen el cumplimiento de las Normas Técnicas Ecológicas (actualmente Normas Oficiales Mexicanas) y el establecimiento de condiciones particulares de descarga a las que estarán sujetas dichas descargas a los diferentes cuerpos acuáticos o captadas por sistema de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas o corrientes de agua de propiedad nacional.

La Ley de Aguas Nacionales modificada en abril de 2014 por la Comisión Nacional del Agua, en su título siete capítulo I establece lo relacionado a la prevención y control de la contaminación de las aguas y su responsabilidad por daño ambiental; está constituido por 20 artículos referentes al monitoreo, vigilancia y control de las descargas a los cuerpos receptores.

2.4.1.2 Determinación de la Calidad del Agua

Determinar la calidad del agua permite que se clasifique para usos específicos. En México la mayoría de los cuerpos de agua superficial reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola o pecuario, lo que ha ocasionado diversos grados de contaminación que limitan el uso directo del agua.

La Comisión Nacional del Agua (2013) ha definido 3 indicadores para la evaluación de la calidad del agua: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO₅ y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales tanto de origen municipal como no municipal.

La DBO₅ determina la cantidad de materia orgánica biodegradable en tanto que la DQO mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales.

Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta el agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

Es oportuno mencionar que los sitios con monitoreo de calidad del agua están ubicados en zonas con alta influencia antropogénica, como asentamientos urbanos de más de 50,000 habitantes y zonas altamente industrializadas.

2.4.2 Determinar peligro por cuerpos de agua contaminados

Para determinar el peligro a contaminación de cuerpos de agua se requiere tener datos de la calidad de agua. La Comisión Nacional del Agua monitorea los cuerpos de calidad del agua, por lo que esta información es muy útil para este objetivo:

- El primer paso es elaborar un mapa con los cuerpos de agua existentes en el municipio o Estado. En el Atlas Nacional de Riesgos se encuentra una capa de estos, que puede ser de utilidad. Entrar a la página electrónica <http://www.anr.gob.mx/>, ingresar a la pestaña de capas y seleccionar información básica, elegir hidrología después aguas superficiales y en esta ventana elegir ríos y cuerpos de agua elaborar mapa base con esta información.
- Analizar la calidad de agua con base en la (DBO₅), DQO, (SST) y Coliformes fecales, esta información la puedes solicitar a la Comisión Nacional del Agua <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98>.
- Con la información anterior puedes obtener el peligro de cuerpos de agua contaminados para cada parámetro antes descrito y obtener mapas de peligro, con los indicadores que se muestran en la misma base de datos.

2.4.2.1 Determinación de las Causas de la Contaminación de los Sistemas Acuáticos

Las causas más importantes de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales se deben a las actividades antropogénicas como son: descargas industriales, municipales, agrícolas y ganaderas. Dichas actividades aportan grandes concentraciones de materia orgánica y sustancias potencialmente tóxicas.

De esta manera se van acumulando sustancias químicas en el sistema, con el consecuente deterioro en la calidad del agua y la degradación del ecosistema, por lo cual es necesario realizar un estudio específico de las descargas presentes en el cuerpo receptor de interés y determinar cuáles son las causas de contaminación más importantes y el tipo de residuos que se estén aportando al sistema acuático.

Para cuerpos de agua superficial, se requiere el análisis gradiente arriba de la fuente de contaminación y el análisis gradiente abajo de todos los puntos de exposición posibles (especial atención con los puntos donde el agua se utiliza para consumo humano, recreación, limpieza de ropa, etc.). Cuando en el sitio en estudio se realizan o realizaron actividades industriales es esencial conocer el proceso y los aspectos químicos de cualquier actividad de manufactura, para determinar la materia prima, productos, subproductos y residuos que pudieron haber estado involucrados.

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo en el cual se proponen los lineamientos a seguir para

determinar las causas de contaminación del cuerpo receptor, así como una pequeña explicación de cada paso.

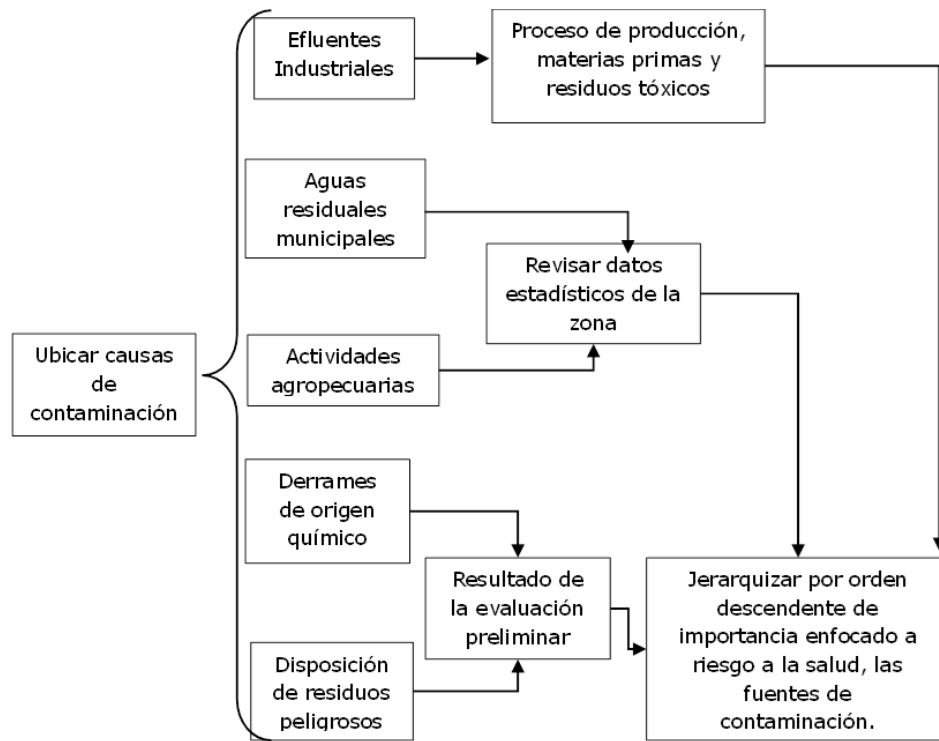


Figura 1 Diagrama de flujo para determinar las causas de contaminación de un cuerpo de agua
Tomado de Arcos, et al, 2006

2.4.2.2 Fuentes de contaminación más importantes

Se debe hacer un inventario de las descargas al cuerpo de agua municipales e industriales, así como de los drenes de actividades agrícolas que desembocan al cuerpo receptor, ya que en el arrastre hay aporte de nutrientes (fosfatos y nitratos) y residuos de plaguicidas, así como la actividad ganadera, debido al aporte de materia orgánica procedente de los desechos que generen, este es el primer paso para determinar las fuentes de contaminación; posteriormente es necesario ubicarlas para realizar un análisis de éstas. Dicha información se puede obtener de la Comisión Nacional del Agua, ya que es el organismo que se dedica a la reglamentación del uso del agua y descarga a cuerpos receptores.

La lista de fuentes de contaminación se debe de ordenar en forma descendente de acuerdo a su impacto contaminante, tomando en cuenta el volumen, concentración de DBO, toxicidad de las aguas residuales, presencia de metales pesados, compuestos cancerígenos, entre otros, que se descargan al ecosistema.

La información antes señalada se puede realizar *un mapa de las fuentes de contaminación más importantes*, la cual es de vital importancia debido a que nos dará información de que tipo de contaminantes debemos buscar en el análisis detallado.

2.4.2.3 Análisis de las descargas

Es conveniente analizar las descargas industriales, el tipo de materias primas y los procesos de producción; esta información indica la importancia de las descargas y las posibles sustancias tóxicas que pudieran estar involucradas en el proceso de contaminación del cuerpo de agua superficial.

Por otra parte es importante realizar una buena caracterización de las descargas por medio del muestreo y medición de caudales de las aguas residuales, ya que con esta información se pueden determinar las concentraciones que aportan las descargas. Para obtener información confiable se requieren mediciones continuas del caudal diariamente durante mínimo 1 año y el muestreo se debe realizar en forma continua durante un intervalo de tiempo dado, o bien con la composición de varias

muestras puntuales tomadas a cierto tiempo, la información obtenida se debe comparar con las Normas Oficiales Mexicanas para cada tipo de descarga identificada, estas Normas se pueden consultar en la página <http://www.economia-noms.gob.mx/>.

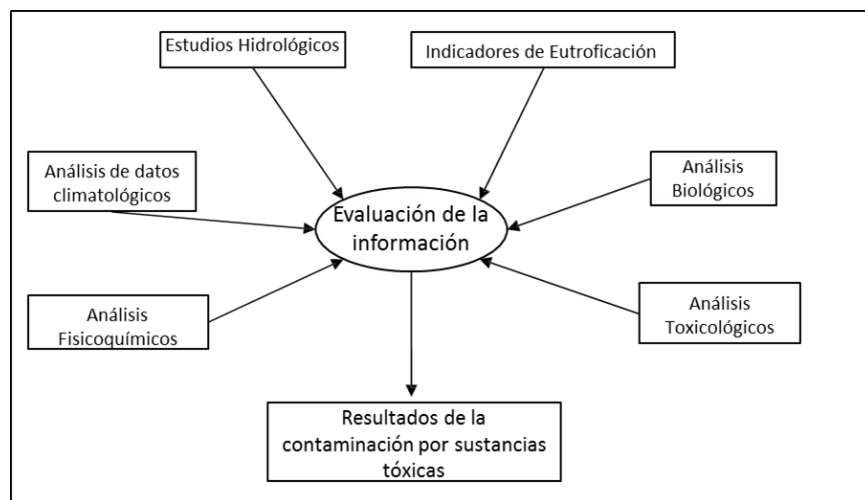


Fig. 2 Diagrama de flujo para la evaluación de la contaminación de un sistema acuático

2.4.3 Evaluación del grado de contaminación de un cuerpo receptor

La metodología de la evaluación de contaminación de un cuerpo de agua, se lleva a cabo mediante la investigación y análisis del ecosistema en sus diferentes aspectos como son: análisis fisicoquímico, análisis toxicológicos, indicadores de eutroficación o enriquecimiento de nutrientes, estudios biológicos, hidrológicos y climatológicos (fig. 2). Es importante esta fase ya que con estos estudios se realiza el diagnóstico del grado de peligro que representa a la población el cuerpo de agua.

Los estudios y análisis que se proponen realizar se pueden aplicar para cualquier sistema acuático, además se pueden omitir algunos o integrar otros estudios que se crea convenientes, dependiendo del cuerpo de agua que se desee investigar, ya que existen diferencias entre un río a un lago. Por ejemplo, en el cauce se debe estudiar el aspecto hidrológico, ya que es importante conocer la velocidad de la corriente, el caudal, etc.; por el contrario, para un lago es necesario conocer la estratificación, grado de eutroficación, la distribución del plancton, dinámica poblacional de las especies más sensibles, etc.

2.4.3.1 Análisis fisicoquímico

El monitoreo continuo para el análisis fisicoquímico de los cuerpos de agua superficiales es importante dado que, las características fisicoquímicas del agua se modifican dependiendo del tipo y concentración de contaminantes que se encuentren en el cuerpo receptor. El análisis en tiempo y espacio permite conocer las tendencias y comportamiento de los parámetros físicos y químicos del agua. Dentro de los parámetros más importantes que se deben de tomar en cuenta son: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, grasas y aceites, fosfatos, turbiedad, coliformes fecales y totales, potencial de iones hidrógeno (pH), color, conductividad, dureza total, sólidos suspendidos totales.

Con la información obtenida del análisis detallado del sitio contaminado y el análisis de las causas de contaminación, se puede saber qué tipo de contaminantes se deben buscar de forma específica en el cuerpo de agua, generalmente se trata de sustancias tóxicas persistentes en el ambiente, (que permanecen por mucho tiempo y no se degradan fácilmente) como son metales pesados (mercurio, plomo, cadmio, arsénico, aluminio etc.), compuestos organoclorados, plaguicidas, hidrocarburos etc., dichos contaminantes requieren de una estrategia para el muestreo y análisis de agua y sedimentos, sobre todo si el agua es para consumo humano.

Es importante que la colecta de muestras considere los periodos estacionales, esto es, épocas de lluvias y de secas (estiaje). Es muy importante contar con información sobre el pH. Siempre que se analice un cuerpo de agua superficial, se deberá obtener información de los sedimentos. Se deben tomar muestras simples y superficiales (0-5 cm.), gradiente arriba y gradiente abajo, en los puntos de exposición humana. (Anexo 1)

Las aguas generalmente son muy heterogéneas tanto espacial como temporalmente, lo que hace difícil

obtener muestras representativas. Los sólidos con gravedades específicas mayores que la del agua normalmente son sustancias inorgánicas, las cuales permanecen suspendidas en el flujo y forman estratos en canales que fluyen lentamente. Los aceites y sólidos más ligeros que el agua (como compuestos orgánicos) flotan sobre o cerca de la superficie. Algunos compuestos orgánicos halogenados son más pesados que el agua y se hunden quedando en el fondo. La composición química de lagos y lagunas también varía dependiendo de la estación del año. La composición de las aguas que fluyen en ríos depende del flujo y de la profundidad.

La estratificación dentro de algunos cuerpos de agua es común. En lagos con profundidad menor de 5 m la acción del viento generalmente ocasiona mezclado, de manera que no es probable que se presente estratificación térmica ni química por periodos prolongados; sin embargo, ambos fenómenos pueden existir en lagos más profundos. Ríos poco profundos de cauce rápido no muestran estratificación química o térmica, pero los ríos profundos pueden exhibir ambas. La estratificación también puede existir en lugares donde se unen dos corrientes, como el punto donde un efluente entra en un río, dependiendo de la profundidad.

2.4.3.2 Análisis de datos climatológicos

Generalmente el caudal de la corriente (corrientes perennes, drenes de extensas tierras húmedas) es muy variable durante el año, aunque se pueden predecir, porque dependiendo de las estaciones del año los flujos varían, la capacidad de formación del cauce es función de la creciente del río. La información de este punto se puede obtener del Servicio Meteorológico Nacional y de la Comisión Nacional del Agua.

2.4.3.3 Estudios hidrológicos

Estos estudios tienen gran relevancia, ya que nos indican las cualidades hidrológicas del sistema acuático y estos deben incluir la cantidad de descargas anuales, estacionales, periodicidad de descargas, proceso de flujo superficial incluyendo velocidades, turbulencia, corrientes tranquilas; crecimiento de flujo de agua y procesos de intercambio; tiempo de retención, distribución del tamaño de partícula y cantidad de lecho y flujo del sedimento. Algunos de estos datos se pueden solicitar a la Comisión Nacional del Agua.

2.4.3.4 Indicadores de eutroficación

Para conocer el grado de contaminación, se debe tener en cuenta el estado trófico en que se encuentra el cuerpo de agua en estudio, debido al aporte de nutrientes, a la producción primaria que se lleva a cabo y al desequilibrio que provoca en los ecosistemas acuáticos.

La eutroficación de las aguas es un proceso natural de enriquecimiento de nutrientes de los cuerpos de agua, pero éste se acelera con el aporte de residuos de origen antropogénico y como consecuencia el deterioro de su calidad es progresivo, principalmente en lagos, debido a la proliferación vegetal con las repercusiones consiguientes en el metabolismo global de las aguas afectadas.

La entrada de nutrientes en los lagos y embalses, acelera el incremento de la producción primaria en la superficie (producción de algas planctónicas en la zona de aguas libres o capa eufótica), esto implica un aumento en la turbiedad y un cambio de color del agua, que se vuelve más verdosa, esta coloración entre más intensa sea puede indicar mayor grado de eutroficación.

Con los indicadores de eutroficación, se puede observar de forma directa la calidad del agua y la estabilidad de la cadena trófica, algunas indicaciones son:

- Una fuerte coloración verde amarillenta o pardusca.
- Turbiedad, una falta de transparencia no imputable a material mineral.
- La presencia de olores en las capas profundas, por ejemplo, si resulta evidente que el desagüe del fondo de una presa produce un olor a ácido sulfhídrico (huevo podrido), el embalse se puede considerar como eutrófico, cuanto más intenso sea ese olor.
- La proliferación de algas planctónicas y la propagación de abundantes algas filamentosas; las cuales se encuentran flotando en la superficie.
- Acumulación de espuma no atribuida al uso de detergentes.
- Proliferación masiva de macrófitas litorales o de plantas flotantes (como lirio acuático), suele estar asociada a lagos eutróficos, lo cual también sugiere el aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos.

Estos indicadores se pueden observar fácilmente y se puede tener el apoyo de estudiantes de biología de la universidad más cercana.

2.4.3.5 Análisis biológicos

Los estudios de la dinámica de poblaciones de la flora y la fauna brindan información importante acerca de su densidad poblacional, velocidad de crecimiento, longevidad, integración de especies (presencia de especies endémicas antes de la perturbación del ecosistema), productividad, estabilidad, tamaño y distribución de las clases de edad, incidencia de enfermedades, defectos genéticos, etc. El objetivo es conocer la estabilidad del ecosistema acuático.

El equilibrio poblacional de los animales y las plantas responden de manera inmediata a la contaminación, que muchas veces no se detecta en el programa de toma de muestras para el análisis fisicoquímico. Con los análisis biológicos se puede observar un inesperado descenso de la diversidad biológica, pues algunas especies pueden desaparecer y muchos organismos morir por la presencia de sustancias tóxicas y la contaminación orgánica.

Se disminuye la diversidad de especies conforme aumenta la contaminación del cuerpo de agua, dado que las especies más sensibles desaparecen del ecosistema, siendo esto la fauna (animales) cuyos índices metabólicos son superiores; mientras que otras especies aceleran su crecimiento debido a la abundancia de nutrientes, como algunas especies de fotosintetizadores (plantas), así como algunos invertebrados. En las aguas muy contaminadas, los gusanos tubícolas suelen ser muy abundantes, formando a menudo monocultivos con densidades superiores a 106/m²; si las condiciones empeoran desaparecen sucesivas especies de gusanos y solo sobreviven las especies *Limnodrilus hoffmeisteri* y/o *Tubifex tubifex*; para estos organismos las descargas de aguas residuales son un medio excelente para anidar y alimentarse, además con la ventaja de que no tienen depredadores.

Algunas especies son particularmente susceptibles a determinados compuestos químicos y actúan como indicadoras de contaminación. Las características deseables que una especie indicadora debe satisfacer son:

- 1) Solidez taxonómica: Sin discusión sobre su validez y con características morfológicas específicas para facilitar su identificación.
- 2) Amplia distribución para que sea útil en una área geográfica amplia.
- 3) Abundancia: Debería ser abundante antes de que ocurra el impacto, ya que su respuesta puede ser positiva o negativa; no se debe basar en la presencia o ausencia.

El argumento es que en este grupo de especies es más rápido el cambio en abundancia tanto en espacio como en tiempo.

Una ventaja de la vigilancia biológica, es que los organismos responden a la presencia de contaminantes nuevos o insospechados y de esta forma se puede detectar un cambio de tipo biológico en el ecosistema, o de alguno que afecte a determinados individuos. Como la compensación de la pérdida de organismos se lleva a cabo por medio de migraciones y reproducción, se puede observar el efecto del contaminante durante semanas e incluso meses después.

El análisis biológico requiere de preparación técnica, se puede pedir apoyo a las instituciones universitarias más cercanas, a través de servicio social o tesis de la carrera de biología.

2.4.3.6 Análisis toxicológicos

Es necesario aplicar pruebas de bioensayo en los estudios de la contaminación del agua, cuando en los análisis fisicoquímicos se hayan encontrado concentraciones altas de los compuestos químicos tóxicos de interés o concentraciones bajas de compuestos muy tóxicos para determinar los efectos potenciales sobre la biota acuática, ya que la interacción de factores químicos da origen a diversos efectos tóxicos, originando respuestas que no se pueden determinar y por lo tanto pueden representar un riesgo a la población, por el consumo del agua o de peces contaminados.

Algunos compuestos químicos tóxicos se encuentran en bajas concentraciones dentro de los sistemas acuáticos, por las descargas de contaminantes industriales, pero algunas veces no se detectan con los análisis fisicoquímicos; sin embargo, afectan a la flora y fauna del ecosistema, las cuales sufren alteraciones y/o bio-acumulación, por lo que es necesario realizar análisis toxicológicos para determinar las concentraciones que reflejen los niveles de contaminación, ya que la acumulación puede durar largos periodos de tiempo, mientras que el nivel del contaminante es muy bajo en el cuerpo de agua en espacio y tiempo.

Para la evaluación de la calidad del agua es importante realizar bioensayos que consisten en la determinación de las respuestas de los organismos vivos (la disminución o aumento de la población, respuesta fisiológica, el comportamiento y la sobrevivencia o muerte de los individuos), ante la presencia de los desechos tóxicos presentes en el ecosistema acuático. Generalmente se emplean algunos organismos como los invertebrados (*Daphnia magna*), algas (*Scenedesmus*, *Selenastrum capricornutum*) y peces como la trucha arcoíris, por su susceptibilidad a los compuestos químicos. Los efectos manifestados en comunidades naturales (flora y fauna) se pueden considerar como una

alerta de los posibles riesgos a la salud humana por la contaminación, sobre todo para aquellos que habitan en los lugares vecinales a las cuencas y cuya alimentación se basa en las especies comestibles del cuerpo de agua, como es el bagre, mojarra, tilapia, trucha y carpa, por lo que es importante realizar estudios toxicológicos de las especies que se encuentren en el cuerpo de agua en cuestión. Por otra parte, dichos análisis proporcionan información acerca de los tipos de contaminantes y por lo tanto de la(s) fuente(s) de contaminación industrial de la(s) que proviene(n). Los análisis toxicológicos se deben relacionar con los análisis biológicos.

Los análisis toxicológicos se deben realizar cuando se considere necesario dependiendo de la sustancia tóxica de interés, el analista técnico que realice el análisis del ecosistema, podrá determinar la importancia de realizar estos estudios, se puede pedir apoyo a las instituciones universitarias más cercanas, a través de estudiantes o tesis de la especialidad relacionada con medio ambiente.

Con los datos obtenidos por medio de los estudios mencionados en el punto 2.4.3, se puede diagnosticar el grado de contaminación de los ecosistemas de los cuerpos receptores, el tipo de sustancias tóxicas presentes, con los cuales se elaborarán mapas por cada una de las sustancias tóxicas encontradas en el estudio. .

2.4.4 Agua subterránea

Los acuíferos son uno de los medios que más se contaminan en los sitios contaminados. Por lo tanto, deberán ser monitoreados no sólo a través de los pozos construidos por el hombre, sino también colectando muestras de manantiales, ojos de agua, etc. Es muy importante referenciar los niveles de metales o sustancias persistentes en acuíferos que se podrán comparar con valores de referencia (por ejemplo, los de la EPA). Los muestreos de acuíferos se deben completar con algunos análisis de muestras de grifos caseros, ya que la concentración del contaminante en estos puede variar con respecto al valor encontrado en el pozo o manantial, cuando el agua potable provenga de agua subterránea.

Es necesario investigar la siguiente información para clasificación del acuífero:

- Tipo de acuífero (acuífero no confinado, semiconfinado o confinado)
- Dirección de la corriente subterránea
- Antigüedad
- Localización
- Profundidad
- Usos de los pozos ubicados en la región

Preguntas que habrán de realizarse con respecto a la contaminación del acuífero:

- ¿Puede contaminarse el acuífero por el material presente en la superficie?
- ¿Existen datos de sobreexplotación del acuífero?
- ¿Podría estar el acuífero superficial en contacto con el acuífero profundo a través de los pozos?

En caso de que no haya antecedentes de contaminación en la zona del sitio, se deberá examinar la información oficial existente sobre la región. La dirección de la corriente subterránea se puede estimar sobre la base del nivel del agua en los pozos profundos de la zona de estudio.

La vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación está afectada por la profundidad del agua, la rapidez de recarga (infiltración), la composición del suelo y la topografía (inclinación), así como por la volatilidad y persistencia de los analitos que se están determinando. En la planeación de las estrategias de muestreo del agua subterránea es necesario el conocimiento de las características físicas y químicas del sistema del acuífero. Las aguas subterráneas presentan especiales retos para obtener muestras representativas (anexo 1).

Para la evaluación de agua subterránea es importante apoyarse en la Comisión Nacional del Agua, ya que esta dependencia tiene información del número de pozos que se tienen e información relacionada con cada pozo, también es quien monitorea la calidad de agua de dichos pozos.

2.5 VULNERABILIDAD

Para establecer la vulnerabilidad de los sistemas expuestos por la contaminación del agua contaminada, resaltando la vulnerabilidad de las personas cercanas al lugar contaminado y la vulnerabilidad a las propiedades agrícolas y pecuarias.

Se deben plantear las interrogante cuando exista contaminación de agua superficial: ¿El contaminante

se bio-concentra y/o bio-magnifica?

La vulnerabilidad de las personas se establecerá considerando la susceptibilidad a sufrir daño de intoxicación. Para el caso de la vulnerabilidad de las zonas agrícolas y pecuarias se considerará la contaminación de los productos alimenticios que puedan repercutir en intoxicación o enfermedad de las personas que los consuma, por bio-acumulación del contaminante. Las ecuaciones empleadas deberán establecer una relación dosis-efecto (respuesta) y la distancia del sitio contaminado, así como la población o el bien expuesto.

Se deben hacer algunas preguntas sobre la flora y fauna para conocer la exposición de la población:

- ¿Puede existir contaminación de la flora y fauna?
- ¿Pueden llegar los contaminantes a la cadena alimenticia?
- ¿Es la fauna fuente alimenticia de la comunidad?
- ¿El agua contaminada se emplea para las actividades del hogar?
- ¿Se utiliza para riego de cultivos para consumo humano?

2.5.1 Sistemas Expuestos

Se deberá identificar los sistemas expuestos, los cuales se enlistan a continuación:

- Población cercana
- Alimentos que provengan del cuerpo de agua
- Pozos cercanos a éste
- Tierras de cultivos
- Los niños que estén en contacto con el agua contaminada.
- Agua subterránea
- Población aguas abajo, en caso de que sea un río

Cuando ya tenemos identificados los sistemas expuestos, se plasmará un mapa georreferenciado además de determinar las distancias a la que se encuentran del cuerpo de agua.

2.6 Riesgo

Para determinar riesgo es necesario estudiar la capacidad de los contaminantes presentes en el sitio para migrar o moverse a través de los diferentes medios, esto es suelo, agua superficial, sedimento, agua subterránea, aire y biota para determinar si pueden llegar a la población ocasionándole uno o más efectos tóxicos indeseables. Existen diferentes vías de exposición por las cuales los receptores están potencialmente expuestos, las cuales son ingestión, inhalación y contacto dérmico, por lo cual se deben considerar en el estudio.

Se debe modelar el transporte y destino ambiental de los contaminantes encontrados en el agua, suelo y sedimentos, mediante el uso de software y modelos matemáticos georreferenciando. Los puntos de muestreo, para obtener las curvas de iso-concentración de los contaminantes que representen un riesgo a la salud. Con toda esta información se tendrá la posibilidad de determinar riesgo.

3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

3.1 INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa superficial de la tierra que no mide más allá de 2 metros de profundidad, “es un sistema dinámico que ejerce funciones de soporte biológico en los ecosistemas terrestres; interviene en los ciclos de carbono, azufre, nitrógeno y fósforo como parte fundamental en el equilibrio de los ecosistemas” (CONAFOR, 2013). El suelo es un recurso natural no renovable debido a que su proceso de formación tarda cientos de años

El suelo tiene cuatro componentes (INEGI, s/f):

- Compuestos inorgánicos: grava, arcilla, limo y arena.
- Nutrientes solubles: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, que son nutrientes importantes para las plantas.
- Materia orgánica: producto del proceso de descomposición de organismos muertos y restos de plantas.
- Agua y gases: por ejemplo hidrógeno y oxígeno, que ocupan los espacios libres del suelo.

El suelo es de vital importancia para sustentar la vida terrestre y entre sus principales funciones se encuentran las siguientes:

- Filtro regulador durante la recarga de acuíferos y protección de éstos.
- Medio para la producción de alimentos agrícolas y pecuarios.
- Productor de recursos forestales.
- Hábitat biológico y reserva para la preservación de especies.
- Base física para la construcción de edificaciones y servicios

Estudios recientes demuestran que 64% de los suelos de México presentan problemas de degradación en diferentes niveles, que van de ligera a extrema. Sólo 26% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen sus actividades productivas sustentables sin degradación aparente (Conafor, 2013).

3.1.1 Clasificación de los suelos por su composición

- ⌘ *Suelos arenosos*: compuestos principalmente de arena. Son muy permeables, y de color gris.
- ⌘ *Suelos arcillosos*: compuestos en su mayoría por arcilla. Son pesados y compactos, y además poco permeables. Son de color rojizo, aptos para la agricultura.
- ⌘ *Suelos magros o limosos*: son una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla; son muy aptos para la agricultura.
- ⌘ *Suelos húmíferos*: poseen gran cantidad de humus y debido a su alto contenido de materia orgánica resultan aptos para cualquier actividad agrícola. Son de color negruzco.
- ⌘ *Suelos calcáreos*: en ellos se cultiva maíz y cebada. Requieren ser abonados y regados con abundante agua. Las sales calcáreas les dan un color blanquecino.

La contaminación del suelo consiste en la incorporación al suelo de materias extrañas, como basura, desechos tóxicos, productos químicos, y desechos industriales. La contaminación del suelo produce un desequilibrio físico, químico y biológico que afecta negativamente las plantas, animales y al humano, provocando serias consecuencias ambientales y por supuesto efectos a la salud a largo plazo.

3.1.2 Causas

Los suelos se contaminan principalmente a través de actividades industriales y agrícolas (plaguicidas), por prácticas ambientalmente inadecuadas de disposición de residuos peligrosos y por derrames accidentales de sustancias químicas, en especial durante su transporte. Las principales causas de contaminación del suelo son:

- Disposición inadecuada de residuos peligrosos.
- Fugas de tanques y contenedores subterráneos.
- Fugas de tuberías y ductos.
- Lixiviación de materiales en sitios de almacenamiento, rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto.
- Derrames accidentales de sustancias químicas (durante su transporte).

- Aplicación de sustancias en el suelo, tales como agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes).
- Aguas residuales descargadas sin tratamiento previo.
- Fugas de alcantarillados.

Durante años, la disposición irresponsable e inadecuada de residuos peligrosos en múltiples lugares sin control ha ocasionado un grave problema de contaminación de suelos. Los lugares donde más frecuentemente se depositan estos residuos son terrenos baldíos, patios traseros de las industrias, tiraderos municipales, barrancas, derechos de vía de carreteras, otras prácticas comúnmente usadas durante décadas para disponer los residuos químicos industriales consiste en colocarlos en tambos y enterrarlos, o bien abandonar los residuos en tanques y contenedores, produciendo todo esto contaminación en los suelos, porque los tambos, tanques y contenedores se corroen y su contenido se fuga al ambiente.

3.1.3 Residuos

Los residuos se pueden definir como cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el mismo proceso que lo generó (Fig 3)..

Los residuos peligrosos son aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológicas infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico o la salud.

La mayoría de los residuos peligrosos están constituidos por carbono, hidrógeno, oxígeno, halógenos, azufre, nitrógeno y metales pesados. La estructura de la molécula, generalmente determina que tan peligrosa es una sustancia para la salud humana y para el ambiente. Si el compuesto puede ser transformado o reducido a sustancias más sencillas como dióxido de carbono y agua, entonces su toxicidad se reduce considerablemente, sin embargo muchas de ellas no se degradan y pueden persistir en la naturaleza indefinidamente, entrando a la cadena alimenticia y afectando a las poblaciones de plantas y animales.

De manera genérica se puede considerar que los contaminantes presentes en el suelo son: hidrocarburos del petróleo (petróleo crudo, combustóleo, diesel, asfaltos, etc), metales pesados provenientes de actividades mineras, beneficio de metales y residuos peligrosos (cadmio, mercurio, plomo, cromo, etc.), compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles y persistentes, plaguicidas y fertilizantes, y bifenilos policlorados.

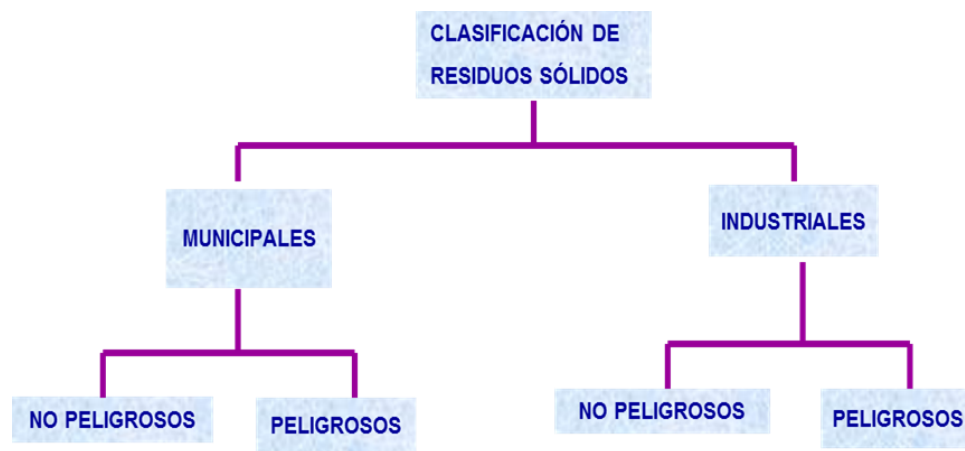


Fig. 3. Esquema de Clasificación de residuos

Residuos sólidos municipales (RSM) según NOM-083-ECOL-1996 define los residuos sólidos como aquellos que provienen de casas habitación, sitios de servicios privados y públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, dentro de las RSM se pueden encontrar una gran variedad de residuos peligrosos ya que poseen algunas de las características CRETIB, algunos son: baterías, aceites y grasas, plaguicidas, solventes, tintes, productos de limpieza, fármacos, además de gasas, pañales desechables y papel higiénico.

Un material o *residuo peligroso* (RP) de acuerdo con la LGEEPA, por sus características, representa un peligro para el ambiente, la salud y los recursos naturales. Para calificar a un material o residuo

como peligroso, se debe aplicar el análisis conocido como CRETIB. Su nombre resulta de las siglas que corresponden a cada una de las características del material como sigue: Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico infeccioso. La Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993 establece sus características, así como un listado de las mismas y los límites máximos permisibles.

3.1.4 Residuos peligrosos en México

Las únicas estimaciones en torno a la generación de residuos peligrosos (RP) en México proceden de las propias empresas que los producen. Por normatividad, éstas deben identificar si los desperdicios que originan son peligrosos o no, en cuyo caso deben dar parte a las autoridades respectivas.

Las fuentes generadoras más importantes de RP en el país son los sectores manufacturero y minero. Los RP que se producen en mayor cantidad son sólidos, una categoría que abarca gran diversidad de elementos provenientes de las industrias textil, peletera, del asbesto, autopartes y otras. Los residuos líquidos se generan durante el proceso de elaboración de sustancias químicas, derivados del petróleo y el carbón, hule y plástico, así como de la industria textil del cuero, metal básica y de minerales no metálicos. En tercer lugar figuran los lubricantes gastados, que se originan en todos los casos en los que se emplea maquinaria. Diferentes procesos productivos dan lugar a distintos tipos de residuos. También la cantidad de desechos es muy distinta según la actividad: la industria manufacturera genera más de las tres cuartas partes de los RP del país, seguida por la minería y el petróleo.

Los residuos biológico-infecciosos son definidos en la Norma NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 como aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos, según son definidos en la norma, y que puedan causar efectos nocivos a la salud y al ambiente. Estos RP representan sólo el 1.9% del total de RP generados. Entre los residuos biológico-infecciosos se encuentran la sangre, cultivos y cepas, los patológicos, materiales y objetos punzocortantes que contengan residuos de las muestras biológico-infecciosas con las que estuvieron en contacto. Dado que este tipo de residuos se genera principalmente en hospitales y clínicas (incluidas las veterinarias), el cálculo aproximado del volumen total producido se obtiene a partir de la generación promedio de estos residuos por cama en instituciones hospitalarias.

La situación de los RP tiene dos importantes vertientes; por un lado, la que se deriva de la presencia de sitios ya contaminados y que requieren su remediación y por el otro, aquella orientada a la prevención de la contaminación proveniente de las fuentes en operación. En el país, hasta el año 2004, se tenían identificados 297 sitios contaminados con RP, de los cuales 119 se habían caracterizado. Se clasificaron y jerarquizaron de acuerdo al grado de riesgo que representan para la salud y el ambiente; y 12 se consideraban como rehabilitados o en proceso de rehabilitación. Los estados que concentran el mayor número de sitios con RP son San Luis Potosí, Estado de México, Aguascalientes, Coahuila y Veracruz.

3.1.5 Fuentes de contaminación del suelo

Las principales fuentes de contaminación del suelo en México son:

Minería: Las actividades mineras a través de los años, han acumulado residuos mineros conteniendo diversos materiales potencialmente tóxicos, a los cuales se expone la población, la flora y la fauna. También puede existir riesgo de bio-acumulación en las distintas fases de las cadenas alimenticias; ejemplo de este tipo de situación, es lo que ocurre con el mercurio. Dos de los contaminantes más frecuentes en las zonas mineras del país son el arsénico y el plomo, a los cuales se suma el cadmio y el mercurio.

Explotación del Petróleo: Las intensas actividades petroleras y de obtención de los derivados del petróleo en diversas regiones del país, han contribuido a una severa contaminación por hidrocarburos y otro tipo de sustancias potencialmente tóxicas, que han penetrado al suelo.

Cuando la cantidad de petróleo en el ambiente es mayor de la que puede ser reciclada, se convierte en un contaminante de impacto negativo, ya que entre sus componentes existen altas concentraciones de sustancias consideradas como peligrosas. Algunas de éstas son los siguientes: fenoles, benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, naftaleno, antraceno, fenantreno, cresoles, ciclopentano, ciclohexano y etileno. Otros compuestos como los bifenilos policlorados son completamente sintéticos y altamente tóxicos.

Los compuestos aromáticos en su mayoría tienen actividad carcinogénica en humanos y animales, por lo que la presencia de estas sustancias químicas en suelos y en el agua subterránea para agua de consumo humano representa un peligro enorme para la salud y para quienes tengan contacto con sitios contaminados con hidrocarburos.

Actividades agrícolas: El empleo de agroquímicos en las actividades agropecuarias, frecuentemente mediante prácticas inadecuadas, constituye una de las formas de contaminación más importantes, que impacta al suelo de las áreas en donde se aplican. Asimismo, el empleo de aguas residuales para riego de cultivos agrícolas con un alto contenido de materia orgánica y otras sustancias nocivas, implica el riesgo de que los suelos y los cultivos se contaminen con los residuos químicos provenientes de las descargas industriales y municipales.

Actividades industriales: La producción de bienes de consumo a lo largo y ancho del territorio nacional ha generado importantes focos de contaminación, en primer término por la falta de conciencia ecológica que prevaleció por muchos años y, en segundo, por el manejo inadecuado de materiales y todo tipo de residuos, lo cual representa un serio problema en aquellos lugares donde se desarrollan estas actividades.

Fugas y derrames: Como se mencionó anteriormente las fugas y/o derrames de materiales y sustancias peligrosas constituyen una de las principales causas de la contaminación del suelo. La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) señala que el mayor número de emergencias ambientales ocurren en vías terrestres. La fuga o derrame de sustancias ocupa un alto porcentaje; principalmente ocurren en ductos, aunque en las carreteras también se genera un gran número de emergencias ambientales. Este gran número de accidentes trae consigo impactos negativos principalmente al suelo, debido a que es el primer receptor del contaminante. Las emergencias ambientales son causadas principalmente por fallas humanas ocasionando volcaduras y choques, derramando algún tipo de sustancia (principalmente hidrocarburos) en el suelo. Con ello pueden desencadenar daños a la flora y fauna, agua, aire e incluso la salud.

Instalaciones de Servicio: Se han acumulado las evidencias de graves problemas de contaminación de suelos, por fugas en contenedores de materiales peligrosos, así como por derrames continuos de gasolina, lubricantes, solventes orgánicos y otro tipo de sustancias. Esto se da por prácticas inadecuadas en su manejo, principalmente en estaciones de servicio de gasolina, talleres de reparación de autotransportes, estaciones e instalaciones de ferrocarriles, terminales de autobuses, aeropuertos y diversas industrias.

Basureros a cielo abierto: La disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales e industriales, que pueden contener residuos peligrosos, representa una seria amenaza de contaminación a los suelos y cuerpos de agua.

3.1.6 Tipos de residuos peligrosos

Entre los residuos peligrosos más frecuentemente encontrados en los sitios contaminados están los metales tóxicos como el arsénico, cadmio, mercurio y plomo. La forma o especie química bajo la cual se presentan estos metales en los diferentes minerales y residuos puede variar de un lugar a otro, como también su movilidad o disponibilidad; lo cual contribuye a aumentar o disminuir sus riesgos potenciales para la población y ecosistemas vecinos a los sitios en los que se encuentren.

En la industria petrolera, se involucra frecuentemente la limpieza de sitios en los que se depositaron los lodos aceitosos provenientes de los procesos de extracción del petróleo, los cuales contienen cadenas de hidrocarburos de diferente tamaño, biodegradabilidad y toxicidad.

Los plaguicidas acumulados en los suelos como consecuencia de las actividades de producción o formulación de los productos, de la disposición de sus residuos o de su aplicación en el campo, constituyen otro tipo de residuos peligrosos. Lo mismo ocurre con los bifenilos policlorados, los cuales se han visto involucrados en fugas y derrames accidentales, o en vertimientos clandestinos en sitios abandonados.

3.1.7 Manejo de residuos peligrosos

El manejo y/o disposición seguro de los RP se aborda de tres maneras. La primera es a través de acciones de prevención orientadas a la reducción de los volúmenes de generación de los RP que se liberan al ambiente. Entre las alternativas para la reducción del volumen de este tipo de residuos está la minimización de su generación, ya sea por reducción o por eliminación de residuos derivados del cambio de tecnologías. Otra estrategia consiste en la reducción de los RP por medio de su reciclaje y reuso, lo que maximiza su utilización antes de su tratamiento y disposición final. Por último, está el tratamiento de los residuos para reducir su peligrosidad.

3.1.7.1 Manejo y disposición de residuos sólidos municipales

El manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) comprende las diferentes fases del ciclo: generación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición en algún sitio. El manejo inadecuado de la basura no sólo causa la contaminación del suelo, también puede afectar a la atmósfera, las aguas superficiales y subterráneas y el paisaje urbano y natural.

En México, los sitios de disposición final de los residuos sólidos municipales son los rellenos sanitarios, rellenos de tierra controlada y no controlada, y los tiraderos a cielo abierto.

Los rellenos sanitarios son obras de ingeniería que procuran el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprenden el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, así como el control de gases, lixiviados y proliferación de vectores, todo ello con el fin de evitar la contaminación del ambiente y lograr la protección de la salud de la población.

Los rellenos de tierra no controlados son oquedades donde se vierten y mezclan diversos tipos de residuos sólidos municipales sin control o protección al ambiente. Los tiraderos a cielo abierto son aquellos sitios en donde clandestinamente se depositan y acumulan los desechos sólidos municipales sin ningún control técnico, como lotes baldíos, barrancas, ríos, arroyos, manglares y otros cuerpos de agua. Los riesgos al ambiente están relacionados de manera más importante con los tiraderos clandestinos dentro de las zonas urbanas o en los sitios de disposición final que no cuentan con los controles necesarios para manejar adecuadamente los RSM. De esta forma se favorece el desarrollo y el crecimiento de la contaminación del agua, suelo y aire, debido principalmente a la fuga de biogás (nombre genérico de la mezcla de gases producidos por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos, compuesta principalmente de metano y bióxido de carbono) y lixiviado (líquido

compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica, que se filtra entre los residuos sólidos arrastrando materiales disueltos y suspendidos).

En México, poco más de la mitad (51%) de los residuos son de naturaleza orgánica (residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares), correspondiendo el (49%) restante a residuos inorgánicos como el papel y cartón (15%), vidrio (6%), plástico (6%), textil (2%), metal (3%) y otros tipos de basura (17%).

En la última década, México ha triplicado su capacidad instalada en los rellenos sanitarios, ya que 52% de RSM generados son depositados en éstos; el resto aún se confina en rellenos de tierra controlados (11.5%) y no controlados (32.9%).

El volumen de RSM que se recicla en el país, aunque se ha incrementado, aún es muy bajo. De acuerdo a las cifras obtenidas de los sitios de disposición de residuos, en el país se recicla apenas 2.4% del volumen de los residuos generados; sin embargo, dado que mucha de la basura que se puede reciclar se recupera directamente en los contenedores y en los vehículos de recolección, esta cifra podría llegar al 12%. Los materiales considerados como reciclables, por orden de importancia en términos del volumen, son los productos de papel, vidrio, metal (aluminio, ferrosos y otros no ferrosos), plástico y textil. De cada uno de estos productos la proporción promedio que se recicla con respecto a lo que se genera en los últimos diez años ha sido: 42.8% de papel y cartón, 33.3% de vidrio, 23.6% de metal, 0.2% de plástico y 0.1% de textil.

3.1.8 Efectos en la salud por la contaminación del suelo

Algunas de las enfermedades gastrointestinales relacionadas con residuos sólidos municipales transmitidas por vectores son: salmonelosis, cólera, amebiasis, disentería, fiebre tifoidea, giardiasis, entre otras. La presencia de agentes biológicos en los RSM puede ser importante en la transmisión directa e indirecta de enfermedades. La presencia de microorganismos patógenos se da también a través del papel higiénico, gasa, pañales desechables o ropa interior contenidos en los residuos de pequeñas clínicas, farmacias y laboratorios, y en la mayoría de los casos, en los residuos hospitalarios mezclados con residuos domiciliarios. Es importante resaltar que, de manera general, los agentes patógenos son poco resistentes a las condiciones ambientales desfavorables y que sobreviven por poco tiempo en el exterior.

En cuanto a los residuos peligrosos, para establecer una relación de causa y efecto entre contaminación y salud, es necesario definir la ruta de exposición. Según la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos (ATSDR), las rutas de exposición se componen de cinco elementos:

- ☞ Fuentes de contaminación o sitios abandonados con residuos peligrosos. Principalmente son los basureros y rellenos no controlados.
- ☞ Medios ambientales para el transporte de contaminantes: aire, agua, suelo, polvos y alimentos.
- ☞ Puntos de exposición o lugares donde ocurre el contacto del hombre con el contaminante.
- ☞ Vías de exposición. Para el agua, suelo, polvo y alimentos, la vía es oral. También por la piel (vía dérmica) pueden entrar al cuerpo humano algunos contaminantes orgánicos y metal-orgánicos.
- ☞ Población receptora: Grupos humanos afectados. El tiempo de exposición y la cantidad de residuos peligrosos son los factores que más influyen en los efectos a la salud humana.

Además es importante considerar las características de los contaminantes por sustancias químicas orgánicos está en función de sus características físicas y químicas (densidad, solubilidad, polaridad, entre otras.), además de las características del medio como son la unidad de suelo, permeabilidad,

estructura, tamaño de las partículas, contenido de humedad y de materia orgánica, así como la profundidad del manto freático. Factores climatológicos como la temperatura y la precipitación pluvial también tienen una gran influencia. Todas las variables en su conjunto definen el tamaño y la distribución tridimensional de la contaminación en una zona específica. Probablemente el componente más importante del suelo en relación con la persistencia de sustancias tóxicas es la arcilla. La persistencia aumenta en cuanto más pequeñas son las partículas, debido a que aportan una gran área superficial para la absorción de los productos químicos.

Algunos de los efectos tóxicos de sustancias orgánicas en el ambiente dependerán de:

- a) La cantidad y composición del contaminante
- b) La frecuencia y tiempo de exposición
- c) El estado físico del residuo.
- d) Las características del sitio donde sucedió está el residuo.
- e) Variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno.

3.2 EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO

3.2.1 Introducción

La contaminación presente en un suelo está sujeta a una gran variabilidad como son los tipos de contaminantes, sus propiedades físicas y químicas, el cambio de concentración a lo largo de todo el sitio y el tipo de suelo. Otra característica única de los suelos es la lentitud de migración de los contaminantes de un sitio a otro; de manera que un sitio puede volverse a muestrear en una hora o más sin que haya ocurrido un cambio significativo en los contaminantes o sus concentraciones.

Los suelos se caracterizan por diferentes tipos de variación, no son una masa homogénea sino un cuerpo heterogéneo de material. Esta variabilidad debe considerarse cuando se muestrea suelo, de manera que la porción que se va a muestrear debe subdividirse horizontal y verticalmente, dentro del estrato de muestreo que sea lo más homogéneo posible.

3.2.2 Tipos de contaminantes más comunes en el suelo

Algunos de los contaminantes más comunes en el suelo son los hidrocarburos de petróleo debido a que ocurren muchos derrames o se vierten accidentalmente durante las operaciones de extracción, refinación, transferencia y comercialización de estos productos, razón por la cual frecuentemente se encuentran suelos contaminados con petróleo, combustóleo, gasolinas, diesel y turbosina. En sitios donde se realizan actividades petroquímicas o existe almacenamiento de este tipo de combustibles es importante determinar la presencia de hidrocarburos totales de petróleo (HTP), hidrocarburos de fracción pesada, hidrocarburos de fracción media e hidrocarburos de fracción ligera, hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) tales como benzo[a]pireno, dibenzo[a]antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno y por último benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX).

De acuerdo con las estadísticas sobre accidentes que involucran sustancias químicas peligrosas los hidrocarburos del petróleo están involucrados en el 45.56% de los accidentes. Las principales sustancias químicas involucradas en emergencias ambientales según datos de PROFEPA, 2004, son petróleo crudo, diesel, gasolina, lodos de perforación, combustóleo, aguas aceitosas, aguas congénitas, amoníaco, gas natural y ácido sulfúrico.

Otra forma común de contaminación del suelo es por compuestos orgánicos volátiles (COV's), debido a que la mayoría de los procesos de manufactura, desde las industrias de tecnología avanzada hasta los talleres de reparación y establecimientos de limpieza en seco, utilizan algún tipo de solvente halogenado, en especial clorado, con propósitos de lavado o desengrasado, de manera que es muy posible encontrar suelos contaminados con compuestos como tricloroetileno, percloroetileno, tetracloruro de carbono, etc.

La disposición de compuestos inorgánicos en los suelos, es otro caso de contaminación por desechos peligrosos y actividades específicas como la minería y el recubrimiento de metales, siendo de gran importancia determinar la presencia en suelo de metales como el plomo, mercurio, cadmio, cromo, arsénico, níquel, berilio, selenio, talio y vanadio, en los sitios donde se han llevado a cabo este tipo de actividades, ya que son metales muy tóxicos para la salud humana.

En las áreas donde se realizan actividades agrícolas resulta de interés estudiar la presencia de contaminación por plaguicidas en especial organoclorados y organofosforados, en virtud de que son sustancias muy tóxicas tanto para la salud humana como para los animales.

Otro tipo de contaminantes específicos a determinar en suelos dependerá de las actividades que se realicen actualmente en el sitio o bien que se hayan realizado en el pasado las cuales se establezcan en la evaluación preliminar. Asimismo, en los lugares donde haya ocurrido un accidente durante el transporte de sustancias peligrosas en los cuales se presentó derrame del material y se haya identificado la sustancia será el contaminante a determinar.

3.2.3 Límites máximos permisibles de contaminantes en suelo

Después que se lleva a cabo la toma de muestras de suelo y se analizan en el laboratorio para determinar las concentraciones de los contaminantes presentes, éstas deben compararse con las concentraciones o límites máximos permisibles establecidos por la autoridad ambiental, es decir la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Si las concentraciones encontradas en el suelo son superiores a las permitidas será necesario llevar a cabo un proceso de restauración del suelo, con la finalidad de eliminar los contaminantes presentes en el sitio. Esta restauración debe ser llevada a cabo por el propietario del sitio o el responsable de la contaminación, y la autoridad que exige el cumplimiento de esta actividad y la supervisa es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Hasta la fecha en México solo existe una norma oficial que establece las concentraciones máximas permitidas de hidrocarburos en suelo y está en revisión un proyecto de norma oficial para concentraciones máximas de metales pesados en suelo. Estas normas son NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 *Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación* y el proyecto de norma PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 *Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio*.

De acuerdo con estas normas en las tablas 2 y 3 se presentan los valores permitidos para dichos contaminantes.

Tabla 2 Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en suelo

Hidrocarburos específicos	Uso de suelo predominante (mg/kg base seca)			Método analítico
	Agrícola	Residencial	Industrial	
Benceno	6	6	15	Cromatografía de gases
Tolueno	40	40	100	Cromatografía de gases
Etilbenceno	10	10	25	Cromatografía de gases
Xilenos	40	40	100	Cromatografía de gases
Benzo[a]pireno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Dibenzo[a,h]antraceno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Benzo[a]antraceno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Benzo[b]fluoranteno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Benzo[k]fluoranteno	8	8	80	HPLC ó CG-MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	2	2	10	HPLC ó CG-MS

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

HPLC Cromatografía de líquidos de alta resolución

CG-MS Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas

Tabla 3 Concentraciones de referencia totales (CRT) para metales por tipo de uso de suelo

Contaminante	Uso agrícola/residencial (mg/Kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plomo	400	750
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	550	7200
Nota: a. En caso de que se presenten diversos usos del suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine. b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos de suelo, se usará el valor residencial.		

PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

Se define como concentración de referencia total (CRT) a la masa del elemento químico regulado por unidad de masa del suelo en estudio, por encima de la cual se considera existe riesgo de que se generen efectos adversos para la salud, es decir es el límite máximo permisible del contaminante en el suelo y dependerá del uso de suelo la concentración establecida.

3.3 PELIGRO DE SUELOS CONTAMINADO EN LA ZONA DE ESTUDIO

Para el proceso de elaboración de un mapa de peligro para suelos contaminados, se necesita analizar las posibles fuentes de contaminación, esto se realiza con una evaluación de las actividades económicas del estado o municipio en las cuales se deben incluir:

- La Minería de metales
- Disposición de residuos urbanos
- Disposición de residuos peligrosos
- Actividades industriales, que generan residuos peligrosos durante el proceso de

- transformación, por ejemplo la fundición.
- Actividades agrícolas
- Actividades petroleras

3.3.1 Evaluación preliminar

La evaluación preliminar permite identificar sitios que presentan poco o ningún potencial para afectar a la salud de las personas y al ambiente, de otros sitios que requieren una evaluación más detallada ya que poseen un potencial importante de afectación. La evaluación preliminar proporciona información específica sobre el sitio, la cual puede dar soporte a una respuesta de emergencia y a las actividades de remoción o restauración; también puede ayudar a satisfacer las necesidades de información de la población cercana al sitio y de la población potencialmente afectable.

La evaluación preliminar es relativamente fácil y rápida de realizarse; asimismo, los costos de la recopilación de información sobre el sitio y sus alrededores son bajos. La evaluación preliminar hace énfasis en identificar a la población y otros objetos de interés (escuelas, ríos, etc.) que potencialmente pueden ser afectados; esta evaluación incluye la recolección de información documental existente sobre el sitio y un reconocimiento inicial del sitio y sus alrededores, pero sin recolectar muestras de residuos o ambientales. En la evaluación preliminar se recopila información del sitio de interés sobre:

- Generación histórica de residuos y prácticas de disposición, cuando se trata de una instalación con alguna actividad industrial
- Conocimiento de las actividades previas a través de información en registros y archivos locales o de dependencias reguladoras, cámaras o asociaciones
- Análisis de la historia del terreno a través de fotografías del lugar y aéreas, mapas históricos y actuales, mapas de uso de suelo
- Realización de entrevistas a los actuales ocupantes del lugar o anteriores, funcionarios de dependencias de gobierno y vecinos
- Descripción detallada de las actividades, procesos de manufactura, materias primas, productos, subproductos y residuos; lo anterior cuando en el sitio se desarrollan o desarrollaron actividades de tipo industrial
- Realización de visitas para inspeccionar el manejo de los materiales y residuos, de las prácticas de almacenamiento y para localizar el almacenamiento de combustible en instalaciones en operación; por ejemplo, una estación de servicio
- Localización de construcciones, tuberías de desagüe, drenaje, tuberías para conducción de sustancias y tanques de almacenamiento
- Realización de visitas para familiarizarse con la topografía general, condiciones y principales rasgos del lugar y del suelo circundante
- Determinación de las características geológicas naturales del área a partir de documentos y mapas
- Localización de todas las fuentes de contaminantes (sustancias, materiales y residuos)
- Determinar el estado físico de las sustancias, materiales o residuos en las diferentes áreas del sitio en estudio
- Identificar cada tipo de fuente de contaminación
- Examinar cada fuente buscando evidencia que permita establecer la migración de sustancias peligrosas

3.3.2 Ubicación de sitios contaminados con sustancias o materiales peligrosos en un mapa de riesgos

Para elaborar un mapa municipal de sitios identificados como contaminados o potencialmente contaminados por sustancias y/o residuos peligrosos se debe considerar lo siguiente:

Utilizar mapas elaborados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde aparecen las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y las

colonias que podrían ser afectadas por la contaminación en el sitio.

Para hacer la ubicación en el mapa utilice la simbología establecida en la Guía Cartográfica para el Levantamiento de Riesgos a Nivel Municipal, publicada por la Secretaría de Gobernación y el Sistema Nacional de Protección Civil.

Cuando se emplee un Sistema de Información Geográfica (SIG), en la elaboración de un mapa de peligros por sitios contaminados es necesario establecer la geo-referenciación (latitud y longitud) de dichos sitios. Esto puede hacerse empleando un aparato o receptor GPS (Global Positioning System, sistema de posicionamiento global), además pueden establecerse otros datos de tipo geográfico, por ejemplo los límites del sitio.

Se deberá establecer con precisión en los mapas de peligro que se elaboren los sitios potencialmente contaminados con sustancias o residuos peligrosos, su extensión y si es posible el tipo de contaminante.

Por ejemplo se pueden elaborar los siguientes mapas:

- Mapa con la ubicación de las fuentes de contaminación del suelo
- Mapa de contaminación de suelo para jales mineros, el cual especifique la cantidad de contaminante y el área afectada
- Mapa de contaminación de suelo para basureros a cielo abierto clandestino, el cual especifique la cantidad de contaminante y el área afectada
- Mapa de contaminación de suelo para basureros a cielo abierto regulares, el cual especifique la cantidad de contaminante y el área afectada
- Mapa de pasivos ambientales, el cual especifique la cantidad de sustancia peligrosa y el área afectada

3.4 VULNERABILIDAD

Para algunos sitios contaminados con sustancias peligrosas puede conocerse el tipo de fuente, tipo de liberación y las sustancias presentes, debido a investigaciones previas o por ser un sitio donde se realizaban actividades conocidas, por lo que la evaluación preliminar podrá enfocarse a confirmar la anterior información y a determinar el peligro que representa el sitio para la población y el ambiente. De esta manera, al revisar la información sobre el sitio se puede establecer de manera preliminar los sistemas expuestos:

- Pozos para abasto de agua (agua subterránea) debido a la infiltración y migración de sustancias peligrosas
- Cuerpos de aguas superficiales debido a contaminación con sustancias peligrosas por escurrimiento y arrastre
- Población afectable debido a la contaminación del agua
- Población afectable debido a la contaminación del suelo
- Población afectable debido al transporte de sustancias peligrosas por el aire
- Cultivos para consumo humano
- Actividades pecuarias.
- Ecosistemas protegidos

Para obtener información de los sistemas expuestos es necesario revisar los datos sobre estos sistemas y la manera en que las sustancias contaminantes llegan a ellos, por ejemplo:

- Revisión de información hidrogeológica del área, localización de acuíferos y de suministros de agua
- Obtención de datos meteorológicos: tipo de clima, dirección de vientos predominantes, velocidad del viento, niveles de precipitación, temperaturas, etcétera
- Ubicación de centros de población cercanos y caracterización de la población expuesta
- Obtención de información sobre especies amenazadas o en peligro de extinción.
- Principales vías de migración del contaminante a los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, que puedan ser afectados

- Determinar las distancias de las fuentes a los objetos en peligro o vulnerables (arroyos, ríos, población, cultivos, etc.) tanto en el interior como en el exterior del sitio

Con la información antes mencionada, se puede determinar si un sitio representa un peligro a la población estableciendo las siguientes condiciones:

1. Se encuentra presente en el sitio uno o más contaminantes (residuos, sustancias o materiales)
2. El contaminante es peligroso
3. El contaminante o sustancia puede transportarse y llegar a la población

Por ejemplo Mapa de contaminación de suelo para jales mineros, el cual especifique la concentración de metales pesados y su distancia a los sistemas expuestos.

3.5 RIESGO

En la evaluación preliminar se identifican factores críticos que determinan las condiciones de peligrosidad del sitio y que, posteriormente, podrán evaluarse detalladamente. La información obtenida en la evaluación preliminar servirá para sustentar las hipótesis que sobre el sitio se elaboren, por ejemplo, causa y origen de la presencia de sustancias peligrosas, afectaciones posibles, etcétera. La evaluación preliminar puede recomendar o sugerir se realicen investigaciones o análisis de muestras basándose exclusivamente en el análisis documental, por lo que será necesario un estudio exhaustivo del sitio, a través de un muestreo que permita conocer la concentración del contaminante y el grado de exposición a la población (Anexo 2).

3.6 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO DE LA EVALUACIÓN PRELIMINAR

En la evaluación preliminar no se realizan muestreos o análisis por los cuales pueda determinarse de manera cuantitativa la toxicidad de una sustancia o residuo para las personas, la capacidad de una sustancia para transportarse o ser transportada en los diferentes medios, y la exposición existente o posible de las personas a las sustancias o residuos. Para determinar el nivel de peligro que un sitio representa para la población y las acciones a realizarse, basándose en la información recopilada en la evaluación preliminar, se requiere establecer la exposición de las personas, la población afectable y él o los medios afectados.

Para establecer el nivel de peligro de acuerdo a la información obtenida del sitio en la evaluación preliminar se consideran los criterios indicados en la tabla 4.

Tabla 4 Criterios para la determinación del nivel de peligro

Criterios	Nivel de peligro
Existe una o más sustancias peligrosas en pequeñas cantidades y no existe evidencia de liberación al ambiente de éstas. Las sustancias peligrosas no pueden ser transportadas por ninguno de los medios (agua, aire, etc.) La población difícilmente puede tener contacto con las sustancias.	Sin peligro
Existe una o más sustancias peligrosas No existe liberación de sustancias o esta es menor La posibilidad de que una o más sustancias peligrosas puedan ser transportada en uno o más medios es menor Las sustancias liberadas no presentan un nivel de peligro significativo No existe población cercana y la exposición es poco posible	peligro mínimo
Existe una o más sustancias peligrosas Las sustancias se han identificado como mediana o altamente peligrosas Una o más de las sustancias peligrosas pueden ser transportadas en uno o más medios Peligro moderado para las personas cercanas al sitio, de acuerdo con la cantidad de sustancia, extensión contaminada y peligrosidad de la sustancia El peligro se encuentra localizado dentro del sitio Área de afectación pequeña a mediana Existe población cercana al sitio La exposición es posible Existen evidencias de exposición y afectación a la población Existen evidencias de afectación al ambiente	peligro mediano

Existe una o más sustancias peligrosas Las sustancias se han identificado como mediana o altamente peligrosas Existen evidencias de liberación Existe evidencia de que una o más sustancias peligrosas fueron transportada por uno o más medios Existe población cercana al sitio La exposición es posible en corto tiempo Existen evidencias de exposición y afectación a la población Existen evidencias de afectación al ambiente Población altamente vulnerable	peligro alto
---	--------------

Los criterios y niveles de riesgo indicados en la tabla se establecen de manera subjetiva, debido a que en la evaluación preliminar no se dispone de datos analíticos obtenidos del muestreo y de la investigación detallada del sitio, éstas podrán modificarse dependiendo de la información disponible, de las características del sitio y de los alrededores.

ANEXO 1 MUESTREO DE AGUA SUPERFICIAL

Las siguientes recomendaciones son de aplicación general para la colección de muestras representativas de agua:

- No incluir partículas grandes no homogéneas en la muestra, tal como hojas y detritus.
- En aguas que fluyen, colocar el aparato de muestreo corriente arriba para evitar contaminación y para que el personal de muestreo pueda observar si viene algún material flotando que pueda contaminar la muestra.
- Colectar un volumen suficiente de agua para permitir repetir los análisis y pruebas de control de calidad. Si no está especificado, el volumen básico requerido es la suma de los volúmenes para los análisis de todos los parámetros de interés.

a) Colección de muestras representativas a partir de ríos y corrientes

Para desarrollar el plan de muestreo de agua superficial deben considerarse los tipos y ubicación de los cuerpos de agua cercanos al sitio y la persistencia de las sustancias peligrosas y la rapidez de flujo, ya que flujos de alto volumen tienden a dispersar y diluir sustancias peligrosas más rápido que flujos de bajo volumen.

Para sitios de muestreo localizados en una extensión de un río o una corriente no homogénea es necesario muestrear la sección transversal del canal en un número específico de puntos y profundidades. El número y tipo de muestras dependerá de la profundidad, ancho y descarga; la cantidad de sedimento suspendido que se está transportando; y la vida acuática presente, generalmente son suficientes de 3 a 5 puntos de muestreo vertical y son necesarios menos para corrientes angostas y poco profundas. Para corrientes pequeñas se toma una muestra simple en el centroide del flujo y se debe colocar aproximadamente al 60% de la profundidad de la corriente en un área de máxima turbulencia.

b) Selección de los sitios de muestreo

Para obtener muestras de agua representativas es importante el uso de técnicas de muestreo apropiadas, ya que en campo existen varias situaciones que requieren diferentes técnicas de muestreo. Por ejemplo, los casos en que el agua es poco profunda se manejan de manera y con aparatos diferentes que los usados en sitios con agua profunda.

Ríos y corrientes

Las características fluviales de una estación de muestreo cambian con la época del año. Cuando se establece una estación de muestreo sobre un río o corriente deben considerarse los flujos anuales mínimo y máximo y la accesibilidad durante todo el año. Para evitar la contaminación de las muestras, el muestreo debe hacerse corriente arriba de la posición del investigador.

Lagos

El muestreo de agua de lagos tiene menos variación temporal pero mayor variación espacial que el muestreo de corrientes. Esta observación favorece la evaluación de tendencias a largo plazo en el lago. Como regla general, las estaciones de muestreo de agua y sedimento en lagos se deben localizar cerca del centro, a la mayor profundidad, para evitar efectos de contorno o borde.

Las muestras de agua en lagos generalmente se colectan usando lanchas de aluminio, balsas de plástico y ocasionalmente helicópteros. Se debe hacer un proyecto específico para el uso de estos medios de transporte poniendo énfasis en los analitos a determinar. Por ejemplo, si los metales pesados son el principal interés se debe usar una lancha de plástico, mientras que es más adecuada una lancha de aluminio para muestrear compuestos orgánicos tóxicos. Sin hacer caso del tipo de embarcación que se use, las muestras nunca deben tomarse en la popa del bote, donde flota aceite y gasolina del motor fuera de borda que pueden contaminar las muestras.

c) Selección del equipo de muestreo

En lagos grandes las muestras se colectan en forma manual, generalmente los muestreadores automáticos se usan para tomar muestras de corrientes y descargas de agua residual. Los dispositivos de muestreo deben ser de materiales compatibles con la matriz y los analitos de interés. Las partes metálicas deben ser de acero inoxidable, no deben usarse metales pintados o con recubrimientos. Es importante tomar los blancos del equipo (enjuagues) usando agua bi o tridestilada para enjuagar el equipo de muestreo antes de usarlo.

El uso de plástico de silicón grado médico en las bombas peristálticas evita la contaminación de la muestra con peróxidos orgánicos que se usan para fabricar el plástico de silicón grado convencional, si se colectan sustancias orgánicas el resto de la tubería debe ser de teflón. Cuando se muestrea para determinar los parámetros de calidad del agua (pH, color, oxígeno disuelto) se debe usar tubería de PVC calidad grado alimenticio para evitar contaminación de las muestras con compuestos de fenol.

Las muestras de agua para analizar compuestos orgánicos volátiles siempre son simples y se usan viales de vidrio con tapas forradas con teflón sin dejar espacio libre. Cuando los analitos de interés son metales, las muestras se colectan en contenedores de plástico (polipropileno) o de vidrio añadiendo ácido nítrico para su estabilidad.

d) Preservación y almacenamiento de la muestra

Las muestras de agua están en constante cambio debido a los procesos físicos, químicos y biológicos propios del sistema dinámico del sitio de muestreo. Las concentraciones de los analitos se pueden alterar debido a volatilización, adsorción, difusión, precipitación, hidrólisis, oxidación y efectos fotoquímicos y microbiológicos. Por lo cual se debe agregar algún conservador a la muestra, éste debe de ser de alta pureza para evitar contaminar la muestra de agua con impurezas del mismo.

La estabilidad de los analitos de interés depende de qué tan bien se preserven las muestras. Las instrucciones de preservación se deben especificar en el contenedor de la muestra, por ejemplo pH, protección a la luz, ausencia de espacio libre, adición de algún conservador y control de la temperatura, según las propiedades químicas de los analitos de interés y reconocer las reacciones que pueden ocurrir aún bajo condiciones de preservación recomendadas, por ejemplo la hidrólisis.

- Los compuestos orgánicos presentes en aguas residuales pueden cambiar debido a la actividad microbiológica. Estas muestras y las que contienen analitos orgánicos se deben enfriar inmediatamente, almacenar y enviar al laboratorio a bajas temperaturas (4°C).
- Los analitos también pueden formar sales que precipitan, lo más común es la precipitación de óxidos e hidróxidos metálicos debido a que los iones metálicos reaccionan con el oxígeno. Esta precipitación se previene adicionando ácido nítrico; también en pH bajo (menor de 2) y iones de nitrato mantiene muchos metales en solución. En especial los ácidos clorhídrico y sulfúrico pueden causar precipitación de sales insolubles y/o interferencias analíticas.
- A las aguas que contienen cianuros o sulfuros se les añade hidróxido de sodio para asegurar que no se forme cianuro de hidrógeno o sulfuro de hidrógeno. Las aguas con amoníaco se preservan adicionando ácido sulfúrico; sin embargo, pueden precipitar otros cationes, especialmente metales.

Las muestras de agua deben estar bien tapadas y empacadas para evitar que se derramen o se rompan. Las muestras de un mismo sitio deben mantenerse juntas. Se deben poner etiquetas de identificación en cada contenedor e indicar los datos del embarque y el modo de transporte en la hoja de muestreo en campo.

Se debe fortalecer la práctica de añadir agua destilada a las botellas para blancos (o testigos) de campo en el laboratorio antes de iniciar el viaje al campo. La preservación de los blancos puede hacerse en el campo.

Muestreo de sedimentos

Los sedimentos están constituidos por arena, limo y arcilla en diferentes proporciones dependiendo del lugar de donde se tome la muestra bajo el agua, y pueden ubicarse abajo de una corriente de flujo o en la profundidad del fondo del océano. En el contexto de los sitios con suelo contaminado están en el

fondo de lagunas, lagos y corrientes.

El muestreo de sedimentos sólo deberá realizarse si la evaluación preliminar del sitio indica que existe potencial de contaminación de éstos. En el caso de sitios abandonados resulta más apropiado coleccionar muestras de sedimentos que muestras de agua.

El paso inicial en el diseño de un programa de muestreo de sedimentos es la revisión de datos históricos para caracterizar los sedimentos en términos de su tipo y de las concentraciones potenciales de contaminantes. Cuando no existe información histórica es conveniente intentar un estudio preliminar para ayudar a planear el programa de muestreo detallado, que requiera un mínimo de tiempo y esfuerzo.

El acceso al área de muestreo juega un papel importante en la estrategia de muestreo, la logística y la selección del equipo. Existen básicamente dos opciones para la colección de muestras: el muestreo desde una plataforma y el muestreo mediante buceo. Las plataformas de muestreo generalmente son barco, lancha, helicóptero, etcétera. El muestreo por medio de buceo generalmente ofrece muestras de mejor calidad en particular los corazones de sedimentos, aunque es más costoso y difícil que el muestreo desde una plataforma.

Los datos del estudio de reconocimiento regional, proporcionan información, tal como concentraciones previas generales o concentraciones de diferentes sustancias químicas en el suelo, las cuales mediante desgaste por agentes atmosféricos y/o erosión contribuyen al aporte de material a los sedimentos. Este material puede entrar desde una cuenca o vertiente en forma disuelta o asociada con materiales de suelo erosionado y puede incluir por ejemplo plaguicidas o fertilizantes de las actividades agrícolas, residuos de minería, materiales excavados, efluentes y subproductos de procesos industriales y/o mineros.

a) Tipo de muestreo de sedimentos

Se debe establecer el tipo de muestreo de sedimento, esto dependerá si lo que se busca es un contaminante reciente debido a un accidente o descarga de aguas residuales o contaminantes que llegaron al fondo desde tiempo atrás:

- En la interfase sedimento-agua, se buscan contaminantes recientes, las muestras de sedimentos suspendidos se coleccionan para determinar la cantidad y las características físicas y químicas de los sedimentos en suspensión.
- En los sedimentos de fondo, se buscan contaminantes de tiempo atrás, se puede obtener información de las características físicas y químicas de las partículas que componen el lecho del sistema en estudio del sitio de interés.

Se debe incluir algunos sitios de control en el programa de muestreo en el estudio de contaminación de sedimentos, los cuales se seleccionan en áreas donde no esté contaminado. Los datos que se obtienen de los sitios de control son importantes para determinar las concentraciones naturales cuando se hace la representación gráfica de la distribución y los gradientes de concentración de contaminantes.

Existen dos técnicas de muestreo, la primera consiste en la colección de más de una muestra de sedimento en los sitios de muestreo usando igual equipo de muestreo e iguales procedimientos de submuestreo en campo, prácticas de manejo y almacenamiento y métodos de análisis; en la segunda técnica el muestreo se divide en pocas submuestras y cada una de éstas se trata como una muestra individual.

b) Selección de los sitios de muestreo

El objetivo de la selección de sitios de muestreo es maximizar la probabilidad de detección de las áreas con las concentraciones más grandes de contaminantes o al contrario minimizar el costo de colección de muestras inadecuadas o las pérdidas al no coleccionar muestras. El número y ubicación de las estaciones de muestreo deben diseñarse cuidadosamente.

Una de las consideraciones más importantes cuando se coleccionan sedimentos superficiales es obtener una muestra representativa. Invariablemente es mejor coleccionar un grupo de submuestras para generar una muestra compuesta, que coleccionar arbitrariamente una muestra simple aislada representativa del sitio.

Deben evitarse sitios de muestreo en lugares donde confluyen corrientes, ya que pueden estar sometidos a fenómenos contracorriente. En corrientes demasiado profundas para poder sumergirse en ellas, los sitios de muestreo deben localizarse abajo de puentes, seleccionando el lado corriente arriba y evitando el muestreo en áreas de alta turbulencia cerca de los muelles o desembarcaderos.

Cuando se definen las posiciones y número de estaciones de muestreo deben considerarse los siguientes factores:

- Propósito del muestreo
- Objetivos del estudio
- Datos históricos y otra información disponible
- Dinámica del fondo en el área de muestreo
- Tamaño del área de muestreo
- Fondos disponibles contra costo (real) estimado del proyecto

El número y espaciamiento de las estaciones de muestreo dependen del tamaño físico del área del proyecto, y de qué tan grande es el área que representa cada muestra. El número de estaciones está en función de la variabilidad de los procesos que controlan la distribución de las variaciones del parámetro físicoquímico o sustancia química de interés.

c) Selección del equipo de muestreo

El muestreo de la capa superficial del sedimento proporciona información sobre la distribución horizontal de las propiedades de interés para el material recientemente depositado, tal como distribución del tamaño de partícula o composición geoquímica del sedimento, mientras que el sedimento de fondo proporciona información en el tiempo ya que las partículas se van depositando una sobre otras, mientras más profundo se tome la muestra, los resultados obtenidos datarán de mayor tiempo.

Para estudiar los cambios históricos en los parámetros de estudio o para definir zonas de contaminación se colecta una columna de sedimento que incluye la capa de sedimento superficial (10 a 15 cm.) y el sedimento debajo de esta capa. El perfil geoquímico típico muestra un decremento exponencial de las concentraciones de contaminante con la profundidad del sedimento, esto se debe a que muchos compuestos químicos de interés ambiental son de origen reciente.

Muestreo de sedimentos suspendidos

Los sedimentos del lecho superficial proporcionan la distribución espacial de los contaminantes. Estos estudios imponen el muestreo al azar en grandes áreas geográficas usando sedimentos colectados en pequeñas corrientes que hayan sido localizadas.

El muestreo y análisis de sedimentos suspendidos son un requisito para cualquier estudio que involucre la determinación del transporte de contaminantes y el cálculo de flujos de contaminantes. Además, los sedimentos suspendidos junto con el muestreo y análisis de muestras disueltas puede representar el único medio disponible de determinar cambios temporales en corto tiempo en la calidad del agua.

Muchas veces se obtienen muestras instantáneas representativas; sin embargo, existe evidencia de que los cambios temporales en la concentración de sedimentos suspendidos y las distribuciones en la sección transversal (cambios espaciales) pueden ser bastante grandes y por consiguiente las muestras deben obtenerse en un periodo de tiempo largo para ser realmente representativas, por ejemplo de 8 a 10 horas. Por lo tanto el usuario debe decidir cuál variable es más importante para el estudio y seleccionar un muestreador y técnica acorde con ello.

Los muestreadores para sedimentos suspendidos colectan una muestra representativa de la mezcla agua-sedimento, y en general son de tres tipos:

- Muestreadores integrados, los cuales acumulan una mezcla de sedimento-agua en un tiempo dado. Generalmente se prefieren éstos, porque obtienen muestras más representativas de la sección transversal.
- Muestreadores simples o instantáneos, los cuales atrapan un volumen de agua completo sellando los extremos de una cámara de flujo continuo.
- Muestreadores de bombeo, los cuales colectan una muestra completa de agua por acción del bombeo.

Muestreo de sedimentos de fondo

Las muestras de sedimentos de fondo se toman a la altura del ensanchamiento del río, donde se depositan las partículas suspendidas en el fondo del río, en un lago las muestras se colectan en el punto más profundo. Para obtener un buen estimado de la variabilidad espacial del parámetro de interés dentro de los sedimentos de fondo, el muestreo debe realizarse en tantos sitios como sea

posible dentro del lago o río que se está estudiando. Generalmente los sedimentos de fondo tienen alto contenido de arcilla y materia orgánica, debido a que es un medio donde se desarrolla todo un ecosistema dinámico, por lo que se puede aprovechar dicho muestreo para obtener información biológica.

Los muestreadores para sedimentos de fondo son de tres tipos:

I Muestreadores simples, colectan grandes cantidades de muestra, la selección del tipo de muestreador simple depende de la evaluación de cuatro criterios:

- El grado de desorden físico durante el muestreo, debido a la onda de presión creada por el dispositivo que puede dispersar sedimento de grano fino o flóculos en la interfase sedimento-agua.
- La pérdida de material, especialmente sedimentos de gránulo fino, durante la recuperación del muestreador por arrastre del agua.
- La eficiencia del muestreador para coleccionar sedimentos de diferentes texturas, por ejemplo, tamaño de grano, grado de endurecimiento.
- El potencial de contaminación de la muestra.

II. Muestreadores de corazón, sirven para coleccionar muestras de columna de sedimento y sedimento superficial con mínima perturbación. Los cuales se clasifican en tres categorías:

- Los muestreadores de gravedad, usan la fuerza de la gravedad para penetrar dentro de la columna de sedimento y obtener una muestra. Normalmente se obtienen corazones de 2 m de longitud.
- Los muestreadores de pistón se usan para obtener corazones largos en sedimentos relativamente suaves. El pistón crea vacío, lo cual reduce la resistencia de fricción a la penetración del barril. Con estos equipos se obtienen corazones de más de 30 m de longitud.
- Los muestreadores vibratorios se usan para obtener corazones largos en sedimentos bastante duros. Estos dispositivos pueden funcionar con electricidad o aire comprimido. El muestreo se logra a través del uso de barriles de pared delgada junto con vibración, la cual tiende a fluidizar los sedimentos para facilitar la penetración. La longitud se controla por el tamaño del equipo, generalmente no exceden los 12 m.

Los dispositivos de pistón y de gravedad se usan en ríos, lagos, estanques y lagunas; para obtener muestras de corazones sin alterar. Los muestreadores de este tipo esencialmente son tubos que se clavan dentro del lecho del sistema, las muestras se retienen dentro del barril del muestreador por el vacío que se forma arriba de la muestra y/o por un contenedor en el extremo inferior.

Muchos de los criterios que se aplican para la selección de un muestreador simple se aplican también a la selección de un dispositivo para obtener corazones. Un criterio adicional es la longitud de la columna de sedimento que se va a muestrear. La selección de muestras de corazones involucra submuestreo, especialmente cuando existen diferencias físicas obvias, como textura o color, entre varias secciones de un corazón entero.

III. Dragas, coleccionan muestras más grandes, bien mezcladas.

d) Preservación y almacenamiento de la muestra

En general, los requerimientos de preservación y almacenamiento de sedimentos son similares al de suelo. Los procedimientos para el manejo y preservación de las muestras dependen de los análisis específicos necesarios y del ambiente en que se tomó la muestra, ya sea suspendido o de fondo. Las muestras para análisis de metales traza requieren preservación y precauciones especiales para evitar contaminación. Las botellas de muestreo siempre deben limpiarse, lavarse a fondo, secarse y sellarse antes de llevarlas al sitio de muestreo.

Las muestras de sedimento se deben filtrar tan rápido como sea posible después de coleccionarlas. El filtrado se puede usar para medir los constituyentes disueltos. Los procedimientos de preservación involucran refrigeración para compuestos orgánicos y acidificación para metales. Los análisis de muestras de sedimentos suspendidos están limitados debido a la dificultad de obtener suficiente sedimento para todas las submuestras que se requieren para los diferentes análisis, inclusive puede ser necesario hacer una muestra compuesta de un gran número de muestras representativas.

Las muestras de sedimentos para análisis de rutina del tamaño de partícula, se pueden transportar y almacenar sin refrigeración.

Con los resultados obtenidos del muestreo, tanto de agua como de sedimentos sobre las sustancias tóxicas de interés, las cuales podrían afectar a la salud de la población, se deberán contrastar estos valores de para saber si se exceden los valores límites máximos permisibles reportados en la

Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Colección de muestras representativas de agua subterránea

Los pozos de monitoreo no deben perforarse a menos que sea necesario, esto es sólo si durante la evaluación preliminar existe potencial de contaminación del agua subterránea. Antes de decidir instalar pozos, se debe considerar lo siguiente:

- Profundidad al acuífero y tipo de materiales geológicos
- Probabilidad de detectar contaminación en los pozos de monitoreo
- Costos de la instalación
- Importancia de la salud pública

El objetivo principal de instalar pozos es coleccionar datos del agua subterránea que pueden usarse para demostrar que ha habido una emisión de contaminantes. Otros objetivos pueden ser delinear la pluma de la sustancia peligrosa o trazar el movimiento de la sustancia.

Para coleccionar muestras representativas de agua subterránea se necesitan considerar factores estacionales, tales como la época del año en que se hará el muestreo, si se muestrea antes o después de la estación de lluvia, o si el muestreo se hace después de periodos de alto uso de productos químicos agrícolas.

En la construcción y uso de pozos de monitoreo se debe minimizar la alteración del agua que se muestrea cuidando, durante el proceso de perforación, no producir contaminación cruzada de los acuíferos con la capa superior de suelo que está suelta, posiblemente contaminada con sustancias químicas o agrícolas.

Antes de coleccionar las muestras se purgan los pozos para eliminar el agua estancada. El método y la rapidez de purga, el tiempo entre la purga y el muestreo y el muestreo en sí, dependerán del diámetro, profundidad y rapidez de recarga del pozo. En cada pozo se debe probar la presión o bombeo para determinar la conductividad hidráulica de la formación y estimar la cantidad y rapidez de purga antes del muestreo.

Algunas veces es útil monitorear cambios en el pH, temperatura o conductancia en muestras consecutivas para determinar el momento en que la muestra es representativa, esto es cuando los valores dejan de cambiar.

Los dispositivos de muestreo y los contenedores de la muestra siempre son probables fuentes de contaminación por lixiviación de contaminantes, por ejemplo el PVC que contiene zinc, hierro, antimonio y cobre puede lixiviar estos metales dentro de las muestras de agua. El PVC flexible y otros plásticos pueden lixiviar ésteres de ftalato que enmascaran otros contaminantes. El polietileno que contiene antimonio, también puede lixiviarlo. Los restos de muestras que quedan en el muestreador deben evitarse al tomar la siguiente muestra. El plomo y el estaño son contaminantes comunes del agua que se transporta a través de tubería soldada. El agua que contiene altos niveles de calcio tiende a extraer plomo, mientras que el estaño se remueve en pequeñas cantidades a lo largo de muchos años.

Durante la evaluación de la contaminación del agua subterránea se deben incluir muestras de blancos de equipo, campo y condiciones naturales. La selección se debe hacer considerando todas las probables fuentes de contaminación para cada situación específica.

Otro problema común es la adsorción del analito en los materiales de construcción de los contenedores y muestreadores, el PVC y otros plásticos tienden a adsorber compuestos orgánicos y lixiviar plastificantes y otras sustancias químicas usadas en su manufactura. Algunos plaguicidas y compuestos halogenados se adsorben fuertemente en vidrio.

Generalmente se recomienda que las muestras de agua subterránea de pozos de monitoreo para análisis de metales se filtren a presión en campo antes de su preservación y análisis. Las muestras coleccionadas para determinar metales normalmente se acidifican; la acidificación de muestras sin filtrar puede llevar a la disolución de minerales a partir de arcillas suspendidas. Las muestras para análisis de compuestos orgánicos nunca se filtran.

ANEXO 2 MUESTREO DE SUELO

El muestreo representativo de suelo asegura que una muestra o grupo de ellas refleja exactamente la concentración del contaminante de interés en un tiempo dado. Sin embargo, debido a que los suelos son extremadamente complejos y variables frecuentemente requieren diferentes métodos de muestreo.

El personal de campo debe seleccionar los métodos que mejor se acomoden a las necesidades específicas del muestreo y es el responsable de proporcionar las muestras apropiadas para el análisis de laboratorio, del tamaño adecuado y representativo de la población a evaluar.

La acumulación de contaminantes arrastrados por el viento, especialmente los depositados recientemente, se encuentran en la capa superficial de suelo, mientras que los depositados por derrames de líquidos o por acumulación a largo plazo de materiales solubles en agua, se pueden encontrar a varios metros de profundidad. Las plumas que emanan de tanques de residuos peligrosos o fugas de tanques de almacenamiento pueden encontrarse a considerable profundidad.

Algunas muestras se colectan deliberadamente sin ser representativas. Los estudios iniciales en un sitio contaminado se pueden enfocar a las áreas obviamente contaminadas. Aunque tales muestras no representarán las condiciones promedio, pueden establecer las concentraciones de los compuestos de interés en las zonas más contaminadas. Aún en estas situaciones es importante obtener muestras para determinar condiciones naturales de la matriz de suelo en sitios de control local o de área.

Las muestras compuestas pueden ayudar a superar la falta de homogeneidad en el tiempo o en la distribución de especies químicas. Las muestras compuestas se obtienen de la combinación de porciones de varias muestras simples. La composición se puede hacer simplemente colectando y combinando muestras simples.

Las muestras simples se colectan en un punto específico del sitio en un periodo de tiempo muy corto (típicamente segundos). Generalmente son menos costosas de obtener que las compuestas y se pueden tomar varias muestras simples en el mismo punto en un periodo de tiempo, cuando se desea información relativa a cambios en las concentraciones de contaminantes con el tiempo.

Las técnicas de muestreo compuesto se emplean para obtener una muestra más representativa de matrices heterogéneas, en las cuales las concentraciones de contaminantes pueden variar en periodos de tiempo cortos.

El muestreo compuesto sirve para reducir el costo del análisis cuando se tiene un número grande de muestras. Los costos experimentales disminuyen sustancialmente si se hace muestreo compuesto cuando es baja la frecuencia de muestras individuales que contienen los analitos (sustancias químicas) de interés. En estos experimentos las alícuotas de las muestras individuales se combinan para formar muestras compuestas y cada una de éstas se analiza. Sin embargo, deben considerarse las siguientes limitaciones del muestreo compuesto:

- Cuando se consideran varios analitos en una muestra compuesta, se pierde la información respecto a las relaciones de los analitos en las muestras individuales
- La composición puede diluir el analito a un nivel abajo del límite de detección produciendo un falso negativo
- Si los costos de muestreo son mayores que los costos analíticos puede ser mejor analizar cada muestra individualmente

Tipos de muestreo de suelo

Con la información obtenida durante la evaluación preliminar del sitio se puede desarrollar un esquema de muestreo que sea el más apropiado para la situación particular que se quiera estudiar. Un plan de muestreo debe considerar la contaminación original y cómo se han movido los contaminantes con el tiempo. Los principales tipos de muestreo son:

a) Muestreo simple al azar

Este tipo de muestreo se emplea para interpretar los datos de manera estadística. Sin embargo, tiene varias desventajas porque los puntos de muestreo se distribuyen desigualmente dentro del sitio, se requiere un gran número de muestras para proporcionar un alto nivel de confianza y deben tomarse diferentes excavaciones conforme varía la profundidad para que las muestras sean verdaderamente al azar. En el muestreo al azar todos los puntos de muestreo tienen igual oportunidad de ser seleccionados.

b) Muestreo de malla

Es el método más ampliamente usado en el que se colectan las muestras con un patrón regular; la localización de los puntos de muestreo se hace sobre una malla, esto tiene la ventaja de igual distribución en todas las partes del segmento y proporciona mejor o más completa cobertura del área que el muestreo al azar.

c) Muestreo a juicio

En este tipo de muestreo no existe un patrón organizado y específico. Los sitios de muestreo se seleccionan únicamente a criterio, siendo entonces que la predisposición o preferencia de quien diseña el muestreo se vuelve dominante en la selección de puntos. Este método puede ser útil usándolo en conjunto con otros métodos cuando se tiene excelente conocimiento del sitio y se sospecha que hay contaminación significativa presente.

2.3.2.2 Selección de los sitios de muestreo

El muestreo de suelo debe llevarse a cabo en todas las áreas potencialmente contaminadas que se identificaron durante la evaluación preliminar, estableciendo un número suficiente de puntos de muestreo para delinear claramente cada una de estas áreas, también se necesita muestrear en áreas donde no se sospecha contaminación. La profundidad del muestreo dependerá de la naturaleza de la fuente de contaminación (subterránea o superficial), de la estratigrafía del suelo y textura (arena o arcilla) y del tipo de contaminante (móvil o no móvil), pero el muestreo debe extenderse más allá de la zona contaminada.

Una vez que se decide el esquema de muestreo el siguiente paso es seleccionar los puntos de muestreo. Para el esquema estadístico, la selección del sitio exacto de cada punto de muestreo es crucial para lograr representatividad, pudiendo influir por ejemplo, la dificultad en la colección de una muestra en un punto dado, la presencia de vegetación o la decoloración del suelo.

Los puntos de muestreo se localizan usando varios métodos. Uno relativamente simple para ubicar puntos al azar, consiste en medir con un compás y una cinta métrica o bien a pasos para ubicar estos puntos con respecto a una marca relativamente permanente. Durante la colección de la muestra en campo, se marcan los puntos de muestreo para futuras referencias. Adicionalmente, empleando las coordenadas de los puntos de muestreo, se integra el mapa correspondiente.

2.3.2.3 Muestreo en pilas de materiales

En algunas situaciones es necesario muestrear grandes pilas de materiales. En estos casos pueden presentarse problemas con respecto a la obtención de muestras representativas debido a la dificultad de obtener otras muestras, además de las superficiales, y a que algunos materiales se separan en fracciones finas y gruesas cuando están apilados. Por lo tanto, probablemente las tomadas en la superficie no sean representativas. La mejor manera es tomar muestras compuestas, para ello deben tomarse suficientes muestras a diferentes profundidades para caracterizar el perfil de profundidad y la variación espacial lateral de las sustancias de interés dentro de la pila. Los puntos se seleccionan al azar, con excepción de aquellos en que se sospecha existe la mayor concentración de contaminantes, los cuales forzosamente deben muestrearse.

2.3.2.4 Selección de sitios de control

Los sitios de control son importantes porque sirven para demostrar si el lugar en estudio está contaminado y/o tiene concentraciones de contaminantes diferentes a las concentraciones naturales. Deben seleccionarse con características comunes a las áreas contaminadas.

Las muestras tomadas en los sitios de control se deben colectar y analizar bajo las mismas condiciones de las muestras del lugar, para que la concentración de los contaminantes de interés y los efectos de la matriz sobre los análisis se puedan estimar con un grado aceptable de certidumbre. Cuando se tienen contenedores o tambores con materiales potencialmente peligrosos no deben colectarse muestras para determinar concentraciones naturales; estas muestras solamente son necesarias si se sospecha que hay fuga de los contenedores que están contaminando el suelo y/o el agua alrededor de ellos.

Existen dos tipos de sitios de control: local y de área, la diferencia se basa en la cercanía de éstos con el sitio de estudio.

Los sitios de control local están adyacentes o muy cerca de los puntos de muestreo y se deben considerar los siguientes principios para su selección:

- Deben estar viento arriba, corriente arriba o pendiente arriba del punto de muestreo
- Cuando sea posible, las muestras del sitio de control local deben tomarse primero para evitar contaminación a partir del lugar de muestreo
- Se deben minimizar los viajes entre los sitios de control y de muestreo para reducir la contaminación potencial causada por las personas, equipo y vehículos

Un sitio de control de área está en la misma zona del punto de muestreo, por ejemplo en la misma ciudad pero no adyacente a él. Para su selección se consideran los mismos factores que para los sitios de control local; en general se prefieren estos últimos porque están físicamente cercanos, y los de área sólo se recomiendan cuando no se puede encontrar uno local.

2.3.2.5 Recomendaciones generales para documentar el muestreo

Las muestras se deben registrar en campo anotando los siguientes datos:

- Localización del sitio de muestreo
- Número de identificación de la muestra
- Profundidad del muestreo
- Fecha de muestreo

2.3.2.6 Profundidad del muestreo en suelo

El muestreo de suelo se debe hacer para establecer la distribución horizontal de la contaminación y su posible migración vertical. Para lo cual se deben tomar muestras de suelo superficial y en perfiles de suelo, es decir muestreo vertical.

La profundidad a la cual se deben tomar las muestras depende de la variabilidad de los materiales encontrados y del nivel de detalle requerido. Las perforaciones pueden pasar a través de varias capas individuales de diferente material las cuales representan diferentes segmentos y al menos se debe tomar una muestra de cada segmento encontrado. Los segmentos que se extienden a la misma profundidad requieren varias muestras tomadas a diferentes niveles.

Se recomienda un mínimo de tres muestras en cada excavación, una en la superficie, una a la mayor profundidad y una en un punto al azar entre las dos. Lo más costoso de la evaluación es el muestreo a varias profundidades, una vez que se excava hay que tomar suficientes muestras, ya que es relativamente barato el análisis subsecuente comparado con el costo de excavación.

En general la profundidad del muestreo está limitada por la existencia de roca firme o la zona de saturación de agua.

2.3.2.7 Tamaño de las muestras

Debido a que se usan varias técnicas analíticas para determinar diversas sustancias químicas, se deben tomar muestras suficientemente grandes para los diferentes análisis. Esto permite también a los laboratorios analizar muestras por duplicado o volver a analizar una muestra si se duda de un resultado.

Cada método analítico requiere un tamaño específico de muestra y la forma apropiada de colectarla; sin embargo, se puede colectar una muestra simple y usarla para determinar diferentes analitos.

Número de muestras

El número de muestras a tomar en un sitio presumiblemente contaminado está en función de la superficie del terreno. En nuestro país la norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación establece como puntos mínimos de muestreo para el caso de contaminación por hidrocarburos los mostrados en la tabla 2.21.

Tabla. 1 Número de puntos de muestreo para determinación de hidrocarburos en suelo

Área contaminada (ha)	Puntos de muestreo
Hasta 0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1	20
2	25
3	27
4	30
5	33
10	38
15	40
20	45
30	50
40	53
50	55
100	60

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

El proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio establece un número mínimo de muestras para sitios que se considere contaminados con metales pesados de acuerdo a la superficie del sitio, los cuales se presentan en la tabla.2.22

Tabla 2 Número de puntos de muestreo para determinación de metales en suelo

Área contaminada (ha)	Número mínimo de muestras superficiales	Número mínimo de pozos verticales
Hasta 0.1	6	1
0.2	7	1
0.3	8	2
0.4	9	2
0.5	10	2
0.6	10	2
0.7	11	2
0.8	11	2
0.9	11	2
1	12	2
2	14	3
3	16	3
4	18	4
5	19	4
6	20	4
7	21	4
8	22	4
9	23	5
10	23	5
15	26	5
20	29	6
> 30	33	6

PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

La selección de los métodos analíticos es parte importante del proceso de planeación del muestreo e influye en gran medida en los protocolos de muestreo, también puede afectar la selección de los contenedores de almacenamiento y las técnicas de preservación. Por ejemplo, la sensibilidad del método analítico influye en el volumen de muestra requerido para medir contaminantes a niveles de detección mínimos.

Equipo de muestreo

Los métodos de muestreo de suelos pueden diferir en algunos detalles, pero todos usan uno de los siguientes tres equipos básicos: pala de mano, taladro o dispositivo para obtener núcleos.

Se deben tomar en cuenta dos consideraciones principales cuando se selecciona un equipo de muestreo específico: las condiciones del suelo y los contaminantes que se van a analizar a partir del material colectado. Las condiciones del suelo pueden ser extremadamente variables de un sitio a otro. Por ejemplo, los suelos pueden ser húmedos o secos, pedregosos, cohesivos (por ejemplo arcilla) o menos cohesivos (por ejemplo, arena). Similarmente, los contaminantes son muy diversos variando entre metales, los cuales en muchos casos son relativamente inmóviles, pasando por sustancias solubles en agua que son muy móviles, hasta contaminantes que son volátiles.

El uso y selección inapropiada del equipo de muestreo pueden dar por resultado datos que no son representativos del suelo que se está estudiando. Los resultados basados en experiencia previa o a partir de una prueba equivalente pueden usarse para seleccionar el equipo apropiado para un objetivo de muestreo específico. La tabla 2.23 proporciona una lista de los equipos de muestreo de suelo comúnmente usados.

El equipo se debe seleccionar después de considerar la profundidad a la que se va a tomar la muestra, las características del suelo y la naturaleza del contaminante (orgánico o inorgánico, volátil o no volátil). El muestreo superficial se recomienda para derrames o contaminación reciente y para velocidades de

migración bajas. Si los contaminantes son volátiles o han estado en contacto con el suelo por un largo periodo de tiempo, se recomienda muestrear a mayores profundidades.

Tabla 3 Equipo para muestreo de suelo

Equipo	Aplicación	Ventajas y desventajas
Probador (en inglés, Trier)	Suelo superficial suave	Barato; fácil de usar y descontaminar; difícil de usar en suelos rocosos, secos o en arena
Pala o cuchara	Suelo superficial suave	Barato; fácil de usar y descontaminar; deben evitarse cucharas con superficies pintadas
Sembrador de bulbos de tulipán	Suelo suave 0-15 cm	Fácil de usar y descontaminar; diámetro y volumen de muestra uniforme; conserva el núcleo de suelo (adecuado para compuestos orgánicos volátiles y muestras sin alterar) capacidad de profundidad limitada; no es útil para suelos duros
Dispositivo para obtener núcleos de suelo	Suelo suave 0-60 cm	Relativamente fácil de usar; conserva los núcleos de suelo (adecuado para compuestos orgánicos volátiles y muestras sin alterar) capacidad de profundidad limitada; difícil de descontaminar
Muestreador de cuchara	Suelo 0 cm-lecho de roca	Excelente intervalo de profundidad; conserva el núcleo de suelo (adecuado para compuestos volátiles y muestras sin alterar) se puede usar una cubierta de acetato para ayudar a mantener la integridad de las muestras para compuestos volátiles; útil para suelos duros; se puede usar junto con una plataforma de perforación para obtener núcleos más profundos
Muestreador de tubo de pared delgada (tubo shelby)	Suelo suave y duro como arenas y gravas	Excelente intervalo de profundidad; conserva el núcleo de suelo (adecuado para compuestos volátiles y muestras sin alterar); el tubo se puede usar para enviar la muestra al laboratorio sin alterar; se puede usar junto con una plataforma de perforación para obtener núcleos más profundos; no es durable en suelos rocosos
Taladro eléctrico de operación manual	Suelo 15 cm-5 m	Buen intervalo de profundidad, generalmente se usa junto con un taladro para coleccionar la muestra; destruye el núcleo de suelo (inadecuado para compuestos volátiles y muestras inalteradas); requiere dos o más operadores; puede ser difícil de descontaminar; el motor de gasolina es potencial de contaminación

CCME, 1993

Las características del suelo y la naturaleza de los contaminantes determinarán los patrones de migración de las sustancias, el equipo de muestreo a usar y sus características, como son los materiales de que está construido y la profundidad del muestreo.

Para muestreo superficial o poco profundo, de 15 a 30 cm, se pueden usar cucharas o palas, aunque no se obtienen muestras muy similares. Estas herramientas no son recomendables para suelos contaminados con compuestos volátiles, ya que se pueden volatilizar durante el muestreo y obtener muestras no representativas. Generalmente los cucharones y palas deben ser de acero inoxidable para suelos contaminados con compuestos orgánicos, y de polietileno de alta densidad para el caso de especies inorgánicas.

Para obtener muestras reproducibles en suelo superficial o poco profundo, es adecuado usar un punzón o sacabocado u otro dispositivo de tubo de acero de pared delgada, los cuales se introducen en el suelo a la profundidad deseada y queda retenida la muestra, después ésta se transfiere a un contenedor o bien algunos muestreadores de tubo están diseñados para transportar en ellos las muestras sellando los extremos del tubo.

El muestreo a profundidades mayores a 30 cm requiere diferentes técnicas y dispositivos. Haciendo trincheras se pueden obtener perfiles de suelo y con esto de los contaminantes, aunque generalmente es más caro que otras técnicas. Las trincheras se deben excavar aproximadamente a 30 cm más que la profundidad de muestreo deseada. Después se usa un perforador de suelo para excavar lateralmente y obtener la muestra.

Los taladros eléctricos o manuales también son útiles para obtener muestras a mayor profundidad de 30 cm. Existen diferentes tamaños de taladros y las muestras se pueden obtener directamente a partir de los cortes del taladro. Sin embargo, puede presentarse contaminación cruzada entre capas de suelo, contaminación por el material de corte, no reproducibilidad en el tamaño de muestra y pérdida de componentes volátiles. Una técnica más recomendable es llegar hasta la profundidad deseada con un taladro y luego obtener la muestra con una sonda para suelo. Los cortes deben removerse con cuidado después de la perforación para evitar contaminación cruzada entre capas de suelo. Estos equipos se colocan dentro del suelo a la profundidad requerida y retienen la muestra conforme se retiran, después ésta se transfiere a un contenedor y se envía al laboratorio.

Durante todo el muestreo y el manejo de las muestras se deben tener cuidado para prevenir contaminación cruzada. También debe tenerse cuidado al ademar y con el lodo residual producto de la perforación para evitar contaminación de las muestras. El equipo se debe limpiar cuidadosamente entre sitios y se deben usar contenedores limpios y apropiados. Es aconsejable avanzar en el muestreo del sitio menos contaminado a los más contaminados para minimizar el potencial de contaminación cruzada.

Preservación y almacenamiento de la muestra

En la tabla 2.24 se muestran los materiales apropiados de los recipientes para diferentes clases de compuestos, así como algunos procedimientos que deben seguirse.

Tabla 4 Contenedores para muestras de suelo

Grupo de compuestos	Contenedor	Comentarios
Inorgánicos	Plástico, vidrio	
Orgánicos volátiles	Vidrio, de preferencia viales con tapas de septum de teflón	Mantener frío (<4 °C) en campo
Hidrocarburos poliaromáticos y nitrosaminas	Vidrio color ámbar, enjuagado con solvente, tapas forradas de teflón u hoja de metal	En campo mantener frío a <10 °C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar
Ftalatos	Vidrio enjuagado con solvente, tapas forradas de teflón	En campo mantener frío a <10 °C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar. No poner en contacto con plásticos durante el muestreo
Otros compuestos orgánicos	Vidrio enjuagado con solvente, tapas forradas de teflón	En campo mantener frío a <10 °C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar

(OMEE, 1994)

En general, los contenedores de muestras se deben sellar tan rápido como sea posible después de tomar la muestra, el espacio libre debe minimizarse y refrigerarse inmediatamente. Se recomienda mantener las temperaturas de refrigeración menores a 4°C hasta el análisis. Como temperaturas ligeramente superiores a 4 °C por periodos cortos de tiempo son poco probables de afectar significativamente la calidad de la muestra, la máxima temperatura permitida se establece en 10 °C. Los análisis de compuestos orgánicos deben hacerse lo más rápido posible después de colectar la muestra. Las muestras no se deben almacenar indefinidamente para el análisis de estos compuestos.

Si se requiere extracción o digestión con ácido se debe hacer lo antes posible, después los extractos o soluciones digeridas se pueden guardar los tiempos de almacenamiento establecidos en las normas correspondientes de acuerdo al contaminante. Las muestras de núcleos enteros de suelo, o porciones grandes de ellos, se deben enviar al laboratorio envueltas en papel aluminio lavado con solvente y seco o selladas en botellas de vidrio. Para muestras de núcleos son útiles las botellas de medio litro de boca ancha.

Los cambios más frecuentes en muestras de suelo, sedimento y agua son pérdida de compuestos volátiles por evaporación, biodegradación, oxidación y reducción. Las temperaturas bajas reducen la biodegradación y algunas veces la pérdida de compuestos volátiles, pero el congelamiento en muestras de suelo que contienen agua puede causar pérdida de gases, fractura de la muestra o separación de una fase ligeramente inmiscible. Las muestras en condiciones anaerobias no se deben exponer al aire. El secado con aire es apropiado para metales y otros analitos no volátiles, pero no se recomienda si están presentes en el suelo compuestos orgánicos volátiles, ya que puede haber pérdida de estos compuestos por evaporación si se somete a secado con aire.

Preparación de la muestra

Para análisis de compuestos inorgánicos

Las muestras se deben esparcir en charolas no metálicas en ambiente libre de polvo y secarse al aire por 48 horas o hasta que no haya signos evidentes de humedad. Alternativamente se puede tomar una submuestra de una muestra bien mezclada y determinar su humedad por secado en horno para reportar los resultados en peso base seca. Después la muestra se disgrega con un mortero y se tamiza a través de una malla de 2 mm. La fracción mayor a 2 mm se desecha. Después se muele una fracción de la submuestra de menos de 2 mm hasta que pasa toda por un tamiz de 355 mm. La fracción menor de 355 mm se usa para todos los análisis de compuestos inorgánicos excepto para la relación de adsorción de sodio, conductividad eléctrica y boro extraído con agua caliente, para los cuales se usa la fracción menor de 2 mm.

Los materiales parecidos al suelo se tratan igual, excepto que la muestra completa se muele para pasar por una malla de 355 mm y todas las pruebas se hacen con la fracción menor de 355 mm.

Las rocas y materiales parecidos a éstas se deben moler o triturar para pasar por una malla de 2 mm. Para análisis se toma una submuestra a partir de la muestra bien mezclada.

Para análisis de compuestos orgánicos

Para análisis de compuestos orgánicos el suelo ni se tamiza ni se seca, ya que estas operaciones podrían ocasionar la pérdida o remoción de algunos compuestos de interés. En lugar de esto, se toma una submuestra de la muestra bien mezclada y se determina su humedad. Este valor se usa para calcular los resultados analíticos en peso base seca. Al tomar una submuestra para análisis de compuestos orgánicos se debe evitar incluir piedras o material de cascajo, porque podría sesgar los resultados debido a su desproporcionado peso en la pequeña submuestra.

Las muestras deben permanecer selladas y enfriadas a $< 4^{\circ}\text{C}$ hasta que se analicen. Si se requiere molienda, porque se sospecha que hay esquistos que contienen compuestos orgánicos volátiles (COV's), se debe resellar inmediatamente después de molerla.

GLOSARIO

Alícuota: es una parte proporcional de la muestra total, la cual está comprendida un número entero de veces en el todo.

Aromáticos: es una familia de hidrocarburos de tipo cíclico, de fórmula general C_nH_{2n-6} , se caracterizan por integrar una cadena cerrada en forma hexagonal denominada anillo bencénico y poseer en su estructura tres dobles ligaduras.

Biota: término utilizado para definir a todos los organismos vivientes de una región.

Cromatografía de gases: es un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la fase estacionaria que es una columna cromatográfica de gran área superficial, y la otra es la fase móvil, que es un gas el cual pasa a lo largo de la fase estacionaria. Mediante esta técnica es posible identificar y cuantificar diversas sustancias.

Espectrometría de masas: es una técnica analítica por medio de la cual las sustancias químicas se identifican separando los iones gaseosos en campos eléctricos y magnéticos. Esta técnica proporciona información cualitativa y cuantitativa acerca de la composición atómica y molecular de materiales inorgánicos y orgánicos. El espectrómetro de masas se emplea como un detector del cromatógrafo de gases.

Eutrofización: proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos son proliferación de algas y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas, tales como nitrógeno, fósforo

Halógenos: grupo de elementos químicos puros formado por el flúor, el cloro, el bromo, el yodo y el astato, componen el grupo VII A de la tabla periódica.

Hidrólisis: tipo de reacción química del agua con una sustancia.

Inmiscible: elemento o fase que no se mezcla con otra (agua y aceite)

BIBLIOGRAFÍA

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) The National Contaminated Sites Remediation Program, "*Guidance Manual on Sampling, Analysis and Data Management for Contaminated Sites Volumen I: Main Report*" Report CCME EPC-NCS62E, diciembre 1993.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), "*Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Químicos*". México D.F., 2006

Comisión Nacional del Agua (CNA) "*Ley de Aguas Nacionales*". SEMARNAT, México, 2014.

Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems, "*Restoration of Aquatic Ecosystems*", Science, Technology, and Public Policy, National Academy Press, Washington D.C., 1992.

Cortinas de Nava C., "*Manual 2; Contaminación por Residuos: Prevención y remediación*", México, 2002.

Environmental Protection Agency (EPA), "Guidances for Performing Site Inspections Under CERCLA", Interim Final, EPA540-R-92-021, Washington D.C., septiembre 1992.

Escobar J., "*La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*", CEPAL, Naciones Unidas, Santiago de Chile, diciembre 2002.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (FEA), Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C. (CEMDA), "*El Agua en México*"; Editores Presencia Ciudadana Mexicana, 1era. Edición, México, 2006.

Mason C. F., "*Biología de la contaminación del agua dulce*", Editorial Alhambra, España, 1984.

Tudela F., "*Los síndromes de sostenibilidad del desarrollo, El caso de México*". CEPAL Naciones Unidas, Santiago de Chile, julio, 2004.

Ontario Ministry of Environment and Ecology (OMEE), "*Rationale for the Development and Application of Generic Soil, Groundwater and Sediment Criteria for Clean-up of Contaminated Sites –Draft–*", mayo 1994.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), "*Curso de autoinstrucción: metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados*", en www.cepis.ops-oms.org

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), "*Evaluaciones Ambientales Integrales en Ciudades de América Latina y el Caribe*", DEAT – ORPALC, México, febrero 2006.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), "*Identificación y Evaluación de Riesgos en una Comunidad Local*", UNEP IE/PAC, Francia, febrero 1992.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), "*Proceso APELL*", UNEP ORPALC, Francia, mayo 1986.

Procuraduría Federal de Protección del Ambiente (PROFEPA), "*Emergencias Ambientales en México*", Dirección de Emergencias Ambientales, 2004.

Salazar V. S., "Contaminación Marina", Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Fondo de Publicaciones y Ediciones, Gobierno de Quintana Roo, 1991.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "*Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*", Últimas Reformas DOF 05-11-2013

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "*Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*", Última Reforma DOF 22-05-2015

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 "*Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación*".

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Proyecto de norma PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 "*Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio*".

Wagner T., "*Contaminación, Causas y Efectos*", Editorial Gernika, México 1996.

Páginas de internet

<http://cna.gob.mx>, 2006

<http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>, 2006

<http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/MarcoNormativo/Leyes/DOF29Abr04Decretoderogan.pdf>, 2006

<http://www.economia-noms.gob.mx/>, 2006

<http://gtz.org.mx>, 2006

<http://www.ine.gob.mx>, 2006

<http://www.pemex.com>, 2006

<http://www.salud.gob.mx/>, 2006

<http://semarnat.gob.mx>, 2006