

CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES DE SITIOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Margot Bertol, Marcelo Sticco
ECOPRENEUR S.A.

Est. Coderasos

ENCUESTA TIPOLOGRÁFICA

Abstract

En el presente estudio se describen los aspectos básicos del diseño de un estudio de un sitio contaminado, muestreo, pozos de monitoreo, normas, guías, procedimientos estandarizados, modelos de simulación y aspectos legales relevantes.

Introducción

Como parte de la tendencia a la globalización que experimentan distintos sectores de la actividad económica, la actividad petrolera, en general, tiende a motorizar estos cambios, en armonía con este proceso, los servicios ambientales a la actividad petrolera tienden también a unificar procedimientos y técnicas con el fin de compatibilizar criterios de evaluación y costos ambientales.

Las normas con mayor aceptación son las desarrolladas por la EPA (Environmental Protection Agency), ASTM (American Society for Testing and Materials) (TABLA I) e ISO (International Organization for Standardization).

Determinar la presencia de contaminación en un sitio o los riesgos al ambiente físico o humano es una tarea compleja ya que intervienen una serie de factores conexos o no que produjeron en el pasado una alteración a las condiciones naturales y que en el transcurso del tiempo pueden variar.

Dada su complejidad, al pretender cuantificar la contaminación de un sitio en un momento dado con el fin de remediarlo o evaluar el riesgo es conveniente efectuarlo mediante sucesivos pasos (o fases). Así el proceso de identificación, cuantificación y evaluación del riesgo asociado con el suelo contaminado es un procedimiento interactivo con sucesivos estados de investigación en orden de obtener datos suficientemente relevantes que permitan caracterizar los peligros potenciales.

Desarrollo

Las normas recomiendan la realización de diferentes tipos de investigaciones de suelo orientados en una secuencia lógica de etapas con puntos de decisión.

El Grupo de Normas ISO 14000, que en el país esta siendo impulsado por las Comisiones Directivas y Técnicas del IRAM (Instituto Argentino de Normalización) se encuentran en la etapa de discusión previa a su aprobación, como norma ISO-IRAM. Las mismas incluyen procedimientos de diagnósticos y estudios de sitios contaminados.

ISO recomienda tres fases, un *Estudio Preliminar* para establecer una hipótesis sobre la naturaleza y distribución de la contaminación la cual deberá ser testada.

Una fase de *Investigación Preliminar* permitirá confirmar la contaminación y los sectores donde la hipótesis es válida. Si la contaminación esperada nos es hallada, en esta etapa se finalizaría con el Programa de Investigaciones.

Si la contaminación es confirmada o la hipótesis es válida, el programa puede continuar con la fase de *Investigación Principal*.

Estudio Preliminar (Fase 1)

En esta fase se recopilan los antecedentes que permitirán caracterizar el estado general del subsuelo. Datos como uso del suelo, accidentes, antecedentes de derrames o maniobras defectuosas, información relacionada con el suelo, hidrogeología y clima. Todo lo cual permitirá formular la hipótesis del trabajo (o Modelo Conceptual, según EPA).

Es de interés toda la información histórica viable del área. La hipótesis puede describir el escenario esperado, la distribución espacial y el rango de concentraciones esperado de los contaminantes. La hipótesis, una vez testada, debe ser aceptada o rechazada.

El Estudio Preliminar presenta los siguientes pasos básicos:

- Recopilación de antecedentes
- Plantea la hipótesis, posible extensión, tipo de contaminantes, vías de migración distribución espacial y temporal.
- Postula conclusiones en relación a futuras investigaciones.

La distribución espacial de los contaminantes en el suelo depende de numerosas variables como, textura, estructura, presencia de horizontes de baja permeabilidad, saturación de agua, tamaño de grano, distribución espacial, fuentes difusas o puntuales.

Geología e Hidrogeología:

La información mínima para esta etapa puede ser, descripción del perfil del suelo, textura, estructura, secuencia de los horizontes. Características del subsuelo como mínimo hasta los 10 mts. debajo del nivel del terreno. Profundidad del agua subterránea y variación de los niveles a lo largo del tiempo.

Dirección del escurrimiento del agua subterránea a escala local y regional.

La existencia de estratos impermeables pueden tener gran importancia para establecer la migración de los contaminantes.

Posición de los cursos de agua superficial.

Presencia de antiguas instalaciones subterráneas o pozos de monitoreo.

Resultados de investigaciones de suelo previas de áreas aledañas (fundaciones, etc.).

Son muy necesarias las visita al sitio, con el fin de realizar las observaciones de campo: topografía, drenaje superficial y situaciones “anómalas”.

Se deben utilizar mapas de detalle de buena calidad (mapas de suelo, topográficos o geológicos) deben ser usados como referencia. por ejemplo a escala regional 1:25000 y escala local de 1:2000 o 1:2500. En la Argentina la escala más detallada de los mapas topográficos editados por el I.G.M. (Instituto Geográfico Militar). son 1:50000. Las Fotografía aéreas se pueden ampliar para generar escalas 1:2000.

Elementos que se deben contemplar en la planteo de la Hipótesis de un sitio contaminado: Tipo de contaminante, su distribución espacial, las posibles vías de migración y los efectos potenciales en el suelo y agua subterránea. En los casos donde más de un contaminante es esperado, puede ser necesario elaborar hipótesis separadas para cada sustancia individual.

Características físicas y químicas de los compuestos contaminantes.

Naturaleza de la fuente y la manera que ingresó al suelo (contaminación difusa o puntual).

Naturaleza de los contaminantes (hidrocarburos “pesados” o “livianos”).

Las características físicas que puedan producir decaimiento en las concentraciones en su infiltración en el subsuelo son:

- Solubilidad en agua
- Coeficiente de partición
- Interacción con arcillas
- Interacción con la matriz orgánica del suelo
- Estratificación del subsuelo
- Antigüedad de la contaminación
- Profundidad del agua subterránea
- Vida media de los compuestos.

Las cuatro hipótesis de distribución espacial son:

- distribución homogénea
- distribución heterogénea con ubicación conocida de las fuentes puntuales
- distribución heterogénea con ubicación desconocida de las fuentes puntuales
- distribución heterogénea

En los casos de sitios “probablemente no contaminados” se debe exponer las conclusiones que soportan esta afirmación.

En los casos de sitios “potencialmente contaminados”, se expondrá la naturaleza de la fuente de contaminación, descripción de los patrones de migración en el subsuelo, lista de los potenciales compuestos contaminantes (si es posible con su especificación química), distribución espacial, de los contaminantes en suelo, subsuelo y agua subterránea.

Diseño y Estrategia de Muestreo

El diseño incluye la especificación de la ubicación de las muestras, profundidad, tipo de muestras y metodología.

Un diseño adecuado de muestreo, en esta etapa, garantiza el ahorro de costos de muestreo en las fases sucesivas.

Patrones y frecuencia de muestreos:

La elección de los patrones y frecuencia de muestreo es semejante para el agua subterránea y para los gases en suelos.

Ordenados de mayor a menor grado de confianza tenemos los siguientes sistemas:

- *Muestreo “espiga” regular (“Herringbone”)*
- *Grilla de distribución regular (“Regular grid”)*
- *Patrón de muestreo aleatorio sectorizado (“Stratified random sampling”)*
- *Patrón aleatorio simple (“Simple random”)*

Investigación Preliminar (Fase 2)

En esta fase se incluyen la toma de muestras de suelo, agua subterránea, gases en suelo, cuyo análisis permitirá corroborar si la Hipótesis es correcta.

Esta fase intermedia se realiza para profundizar la etapa anterior en algunos casos para tener mayor datos para la toma de decisiones o por ejemplo para calcular el pasivo ambiental en una transacción comercial del sitio.

La Fase 2 incorpora los siguientes estados principales:

- Diseño de una investigación estratégica para testar la hipótesis planteada en la fase 1.
- Determina la validez de la hipótesis
- Determina los requerimientos para futuras investigaciones

Investigación Principal (Fase 3)

En esta fase final se contará con información detallada que permitirá cuantificar los contaminantes, su geometría y sus variaciones en el tiempo.

Deja las bases para el diseño de la remediación o la aplicación del cálculo de los índices de riesgo.

Pozos de Monitoreo

Son elementos fundamentales para conocer el estado del subsuelo.

Los métodos de instalación de los pozos de monitoreo y muestreo de agua subterránea deben estar desarrollados con la intención específica de obtener una muestra representativa de agua proveniente del acuífero.

Estos métodos minimizan la potencial introducción de contaminación en el subsuelo durante el proceso de instalación de los pozos de monitoreo.

Los materiales de los pozos y de los equipos de muestreo deben estar constituidos por elementos que no generen tanto lixiviado como absorción de contaminantes.

Las muestras de agua subterránea deben ser colectadas de tal manera que impida la pérdida de los gases.

Los Pozos de Monitoreo son instalados para cumplir distintos objetivos, durante el proceso de perforación, usualmente son aprovechados para efectuar el muestreo de suelo y fundamentalmente conocer las características geológicas del sitio.

Algunos objetivos que poseen los Pozos de Monitoreo son:

- *Medición de la profundidad del agua subterránea*
- *Medición piezométrica de un acuífero*
- *Colecta de muestras de agua para análisis químico*
- *Colecta de fase líquida no acuosa liviana*
- *Colecta de fase líquida no acuosa densa*
- *Testeo de la permeabilidad de un acuífero o un acuícludo*
- *Provisión de acceso a equipos geofísicos*
- *Colecta de muestras de gases en suelo*

El diseño del pozo podrá contemplar los objetivos inmediatos y mediatos, por ejemplo pueden ser utilizados para el muestreo en una fase de diagnóstico inicial y posteriormente en una remediación.

Las variables que involucran el diseño de un pozo de monitoreo son:

- *Tipo de material de la camisa*
- *Diámetro de la camisa*
- *Espesor del caño camisa*
- *Longitud y Profundidad de la camisa*
- *Aislación del espacio anular de la camisa*
- *Tipo de material del filtro*

- *Diámetro del filtro*
- *Espesor del filtro*
- *Longitud del filtro*
- *Profundidad de instalación del filtro*
- *Tramos ciegos en la unidad filtrante*
- *Abertura de las ranuras del filtro*
- *Área abierta total del filtro*
- *Tipo de filtro (ranura continua, malla, etc.)*
- *Prefiltro de grava*
- *Tamaño granulométrico de la grava*
- *Grado de selección de la grava*
- *Composición de la grava*
- *Cantidad de grava*
- *Aislación del espacio anular de la camisa*
- *Protección catódica*

Diseño de Pozos de Monitoreo

Los Pozos de Monitoreo esencialmente están constituidos de tres partes fundamentales, Camisa, Filtro y Prefiltro de grava (ver Figura 1)

Camisa del Pozo de Monitoreo

Tipo de material de la camisa. Las preguntas que se deben responder son:

- ¿Los contaminantes potencialmente presentes en el agua subterránea pueden reaccionar químicamente con los constituyentes de la camisa?
- ¿Qué profundidad deberá tener?
- ¿Cuál es la vida útil estimada ?
- ¿Cuál será su uso?

La camisa está constituida por un caño ciego (sin aberturas) y que cumple con algunos de los objetivos planteados anteriormente.

El tipo de materiales empleados pueden ser: PVC (policloruro de vinilo), Hierro acerado o Acero Inoxidable.

El más utilizado por su bajo costo relativo y fácil maniobrabilidad es el PVC. Algunos factores limitantes que posee son, la utilización de adhesivo por parte de perforistas no entrenados para tareas ambientales y la corrosión que sufre con algunos solventes principalmente los clorados.

La recomendación es unir los distintos tramos mediante el uso de remaches o tornillos, en los casos donde los metales no son evaluados. Los adhesivos que se comercializan en la Argentina para unir los caños de PVC están compuestos por: butano, tolueno y acetona.

Investigaciones relacionadas con la contaminación del agua subterránea con adhesivos de PVC se pueden ver en Sosebee, et al. (1983); Creech (1986) y Cowgill (1988).

Se comercializan, en el mercado local, caños de "PVC Geomecánico" que poseen extremos roscados con lo cual se evitan las limitaciones mencionados.

Trabajos de investigación relacionados con las reacciones químicas entre compuestos contaminantes y materiales de las camisas se pueden ver en, Reynolds et al. (1985); Parker et al. (1990) y Barcelona et al. (1983).

Diámetro de la camisa

El diámetro estará condicionado por las dimensiones de los elementos que deberán introducirse en el Pozo.

Normalmente se trata de equipos para tomar muestras, manuales (bailers) o mecánicos (bombas), instrumentos de registros de niveles o sensores geofísicos. Estos equipos están diseñados especialmente para este tipo de requerimiento, por lo tanto en el transcurso del tiempo tienden a ser fabricado con diámetros menores.

Los diámetros nominales más utilizados son entre 5 y 10 centímetros (2 y 4 pulgadas nominal).

Si bien existen normas IRAM relativas a la fabricación de caños, aún existen fabricantes locales que no las han adoptado, esto trae aparejado dificultades en el empalme de los accesorios (tapas, cuplas, nipples, curvas, etc.). La recomendación es adquirir los materiales en fabricantes que hayan adoptado las normas IRAM específicas.

Espesor del caño camisa

El espesor está directamente relacionado con las propiedades de resistencia del material. En relación a este punto cabe la acotación mencionada en párrafos anteriores, en relación a las normas adoptadas por los fabricantes locales.

Espesores superiores a los 3 milímetros son los recomendados para los usos más frecuentes. Para casos específicos donde la camisa estará sometida a presiones superiores a 3 atmósferas (por ejemplo remediación por vacío) es recomendable la utilización de camisas metálicas o PVC Geomecánico. También para los casos que se necesite longitudes superiores a los 50 metros.

Longitud y profundidad de la camisa

La definición de la longitud estará condicionada por la profundidad de los estratos que se desea investigar. Usualmente la base de la camisa se coloca en el techo de un estrato impermeable, aislando los estratos no contaminados de la zona vadosa o dos metros sobre el nivel freático.

Por ejemplo si el nivel freático de un sitio oscila históricamente entre -15 y -10 metros, la profundidad máxima del encamisado deberá ser -8 metros.

Aislación del espacio anular de la camisa

Por espacio anular se entiende al volumen entre el diámetro generado por la perforación y el diámetro externo de la cañería camisa. Este espacio que usualmente posee 2 o 3 centímetros de diferencia de diámetros, deberá llenarse con algún material que genere una aislación entre el pozo y el subsuelo. La bibliografía recomienda la utilización de pellets de bentonita, sin embargo en el mercado local no es fácil adquirirlos. La bentonita se puede reemplazar con la inyección de cemento.

Filtro

Los Pozos de Monitoreo en formaciones geológicas no consolidadas necesitan la existencia de un filtro cuya función primordial es evitar el ingreso de los materiales sólidos (por ejemplo arena) y permitir el acceso del agua al interior del pozo.

En la mayoría de los casos, tanto el tipo de material, como el diámetro del filtro suelen ser semejante al de la camisa.

Las consideraciones generales para la elección de la camisa son aplicables al filtro.

El diseño se completa con la definición del tamaño de abertura de las ranuras. Los filtros con mayor área abierta son los de ranura continua o tipo "Johnson". Este tipo de filtros se fabrica con materiales ferrosos, es decir, acero galvanizado o acero inoxidable. Las aberturas estándares oscilan entre 0.25 y 2.00 milímetros.

Los filtros de PVC, en el mercado local, son dificultosos de adquirir. El único fabricante local (hasta el momento) los fabrica a partir de caños de 63 a 110 milímetros, la ranura tiene una única medida (1.00 milímetro) y los espesores no son los más aconsejables (2.8 milímetros). Tiene la ventaja del costo relativamente inferior.

Según las características del Proyecto podrá ser recomendable importar estos materiales.

La elección del tamaño de la ranura está directamente vinculado al tamaño y selección de los sedimentos que deberá retener. Existen siete métodos para el cálculo del tamaño de grava y de ranura del filtro que pueden consultarse en Custodio E. (1976).

Según las características geológicas de las zonas urbanas de Buenos Aires, que es donde se emplazan numerosas instalaciones petroleras, para el primer acuífero (Formación Pampeana) filtros con ranuras de 1.00 milímetro y gravas de 1 a 2 milímetros son aceptables. Para el segundo acuífero (Formación Puelches) filtros con ranuras de 0.50 milímetros y gravas de 1 a 1.5 milímetros.

La longitud del filtro dependerá del espesor de los estratos a investigar, en algunos casos se podrán intercalar tramos ciegos en los sectores enfrentados a arcillas impermeables. En estos casos se deberá evitar las mezclas de aguas que podrían producirse en estos subacuíferos ya que originalmente podrían estar desconectados

desde el punto de vista hidráulico y debido a la presencia de la perforación podrían contaminarse sectores limpios.

La presencia de subacuíferos son evaluados por medio de bombeos selectivos (a diferentes profundidades) efectuados con packer. Este método presenta una serie de limitaciones, la más significativa se vincula con la comunicación artificial que se puede producir a partir de la misma construcción del Pozo de Monitoreo. Las recomendaciones se orientan a construir distintos pozos para distintos acuíferos.

La profundidad dependerá de las características del contaminante, los compuestos con menor densidad que el agua se alojarán en las porciones superiores (sobrenadante) como los hidrocarburos aromáticos y alifáticos (Fase Líquida No Acuosa Liviana).

Los compuestos con densidad superior a la del agua tenderán a alojarse en la base del acuífero y techo del acuícludo subyacente (arcilla impermeable), tal es el caso de los hidrocarburos clorados (cloro etanos y cloro etilenos), (Fase Líquida No Acuosa Densa).

Prefiltro de Grava

La función específica del prefiltro de grava es retener los materiales finos. En algunos casos se puede prescindir de su uso, como el caso de arenas con buena selección o rocas karsticas.

La colocación del prefiltro de grava se realiza en el espacio anular entre la perforación y el diámetro externo del filtro.

La longitud deberá ser desde la base del filtro hasta 2 o 3 metros por sobre el comienzo del filtro, a modo de reserva para amortiguar eventuales reacomodamientos del empaque y asegurarse de que el filtro no esté enfrentado directamente a la formación geológica. (ver FIGURA 1).

Instalación de los Pozos de Monitoreo

Procedimiento de descontaminación

Durante la operación de la perforación es importante cuidar de no introducir contaminación con los equipos de perforación.

Los hidrocarburos presentes en los combustibles, lubricantes líquidos y grasos pueden producir anomalías significativas.

En los casos de acción mecánica de los equipos, los motores eléctricos producirán menor contaminación que los motores a explosión. Estos últimos pueden generar riesgo de incendio o explosión en atmósferas volátiles inflamables (Estaciones de Servicio y Refinerías) en estos casos es recomendable el uso de arresta llamas en los escapes de gases.

La lubricación de las herramientas y de las roscas de las barras de perforación se deberá efectuar con aceites o grasas de origen vegetal.

Los equipos deberán lavarse con agua sin contaminación (potable) y detergente (en algunos casos se deberán utilizar detergentes no fosforados). El enjuague deberá efectuarse con agua libre de contaminación (en algunos casos con agua destilada).

Métodos de Perforación

Hollow-Steam Augers

Es un sistema de perforación a rotación en seco. Posee una tubería externa con planchuelas helicoidales cuya función es desplazar el suelo hasta la superficie a medida que el motor transmite la rotación. En su interior posee un sistema de tubería con un trepano en el extremo que cumple la doble función de perforar y evitar el ingreso del suelo en el interior de la tubería.

Alcanzado el nivel de muestreo, se retira el sistema de tubería interno y es reemplazado por un sacamuestras que penetra a percusión.

Posteriormente es elevado a boca de pozo y se retira la muestra de suelo correspondiente.

Este sistema posee la ventaja que la muestra de suelo es extraída con mínima disturbación. La limitación es que, para terrenos duros como el Loess de la Formación Pampeana (la mayoría de los sedimentos de la región pampeana), la velocidad de penetración es muy lenta (menos de 10 metros día) y se necesitan motores con potencias superiores a los 40 CV (Caballo Vapor).

En la actualidad en el país hay menos de tres equipos con estas características.

Mud-Rotary Drilling

Este es el clásico sistema de perforación rotativo por inyección directa. En la Argentina fue muy difundido a partir de la década del 50 y actualmente son muy utilizados para la construcción de perforaciones domiciliarias.

Posee la ventaja de la velocidad de penetración en el subsuelo de la Formación Pampeana (60 metros día), de allí que los costos sean inferiores a otros sistemas de perforación.

Las limitaciones significativas son, gran disturbación de la muestra de suelo, inyección de fluidos con la consiguiente alteración de las condiciones hidrogeológicas originales y falta de entrenamiento de los operadores para la realización de tareas ambientales.

Con un buen desarrollo del pozo, en sitios con altas concentraciones de hidrocarburos en suelo (superiores a 10.000 ppm), se pueden obtener resultados satisfactorios.

Air-Rotary Drilling

Este sistema es similar al anterior con la variante del reemplazo de la inyección de agua por aire. La limitación fundamental es el desplazamiento y la mezcla de los VOC (Compuestos Orgánicos Volátiles) en la zona vadosa.

En el país existen pocos equipos de este tipo disponibles para estudios ambientales.

Cable-Tool Drilling

Es el sistema más antiguo. En la Argentina se lo conoce como sistema a percusión. En la actualidad hay poca disponibilidad de estos equipos. Tenían un buen avance en suelos arenosos pero en el Loess de la formación pampeana el avance era muy lento y por lo tanto más costoso que el sistema rotativo.

Actualmente existen sistemas de muestreo a percusión que trabajan con diámetros de hasta 10 centímetros. Una de sus principales limitaciones es su limitada capacidad penetrante (hasta 10 metros en suelos duros como el Loess). En este grupo se encontraría el Terraprobe ® y el Cobra ®.

Perforaciones en suelos contaminados

Cuando se ejecutan perforaciones en sitios contaminados los operarios deben tener cuidados especiales en lo relativo al riesgo de intoxicación y/o accidentes (incendios o explosiones).

Si se trabaja con motores a explosión la recomendación es utilizar arresta llamas en los escapes de gases.

Con motores eléctricos deberán poseer disyuntores diferenciales a fin de proteger a los operarios de un shock eléctrico. En maquinarias de gran potencia las recomendaciones se orientan a utilizar puestas a tierra adecuadas.

En cuanto a los elementos de protección corporal se deberá contemplar la utilización de casco, protectores auditivos y visuales. En los casos donde las emisiones gaseosas superen los límites aconsejados por OSHA se deberán utilizar protectores respiratorios con filtros específicos.

En relación a la ropa de trabajo en sitios críticos es aconsejable el uso de ropa con telas Tybek ® de DuPont. Los guantes deberán ser resistentes a solventes.

Colecta de muestras

Las muestras deberán ser convenientemente envasadas y almacenadas para su posterior traslado al laboratorio.

Para muestras de suelo con hidrocarburos se recomienda la utilización de envases de vidrio color caramelo. Se pueden conservar en frascos de PET. En todos los casos deberán ser de primer uso. La conservación hasta el laboratorio debe efectuarse a 4 °C. Para muestras de agua subterránea las botellas de vidrio color caramelo son las recomendadas, se deberá evitar la presencia de aire entre el líquido y la tapa del recipiente. Se puede acidificar (pH=2) con algún ácido.

Los registros de las muestras tomadas se efectúan mediante un procedimiento de "Cadena de Custodia". Donde deberán constar los rótulos de las muestras, características, punto de muestreo, sitio. Deberán registrar sus firmas los siguientes

responsables: quien extrajo la muestra, quien transporta al laboratorio y quien recibe en el laboratorio.

Conceptos de las guías de la U.S. EPA

La U.S. EPA Soil Sreening Guidance es una guía que se refiere al proceso de identificación y definición de áreas, contaminantes y condiciones en la cual no requerirá atención Federal futura.

Sitios con niveles inferiores a los SSL (Soil Sreening Levels) no se deberán efectuar acciones futuras, garantizados por el CERCLA (Comprehensive Environmental Response and Liability Act). La legislación Argentina actualmente no sostiene este tipo de concepto, es decir sitios que presentan determinados niveles de contaminantes calculados por medio de fórmulas y que no producirían riesgo de cáncer en la población deberían estar respaldados por una norma legal que garantice la no atención Federal.

SSL son concentraciones basadas en riesgo derivadas de ecuaciones donde se combinan parámetros del subsuelo, concentraciones de contaminantes, vías de migración, tiempo y dosis de exposición de seres vivos (especialmente humanos).

La SSL esta diseñada para 110 compuestos químicos.

Los “niveles aceptables” de un contaminantes en el suelo se refiere a un riesgo de uno en un millón de contraer cáncer con determinado compuesto que ingresaría al cuerpo humano por distintas vías, ingestión, dermal e inhalación.

Guías recomendadas para las siguientes etapas de un estudio de sitio contaminado por hidrocarburos:

ETAPA	GUÍA EPA (ver Bibliografía)
Desarrollo del Modelo Conceptual	U.S. EPA 1993a
Contaminación en Aguas Subterráneas	U.S. EPA, 1988, 1990, 1992a, 1992b, 1993b
Desarrollar las Estrategias de Muestreo	U.S. EPA, 1992c, 1993a, 1994a
Descripción y Muestreo de Suelo	U.S. EPA 1991 , 1993c

Para evaluaciones de riesgo se recomienda RAGS (Risk Assessment Guidance for Superfund).

Modelos de Simulación

Los Modelos de Simulación se han desarrollado en forma aceptable para ser considerados como una herramienta clave para el diagnóstico y la predicción de escenarios.

Distintos organismos gubernamentales de los Estados Unidos han desarrollado en los últimos 10 años números software como U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) U.S Geological Survey, USDA (United States Department of Agriculture). La Tabla II muestra los más utilizados.

Los dos software que han verificado mayor aceptación en la comunidad hidrogeológica internacional son:

MODFLOW

GMS (Groundwater Modeling System)

El MODFLOW ha sido desarrollado por Waterloo Hydrogeologic, Inc. Las aplicaciones son,

- *Delinea áreas de Protección de Captaciones Subterráneas*
- *Simula Alternativas de Remediación*
- *Evalúa Procesos de Atenuación Natural*
- *Diseña Sistemas de Drenaje*
- *Determina las Rutas Preferenciales de Exposición*

El GMS ha sido desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Como el anterior poseen numerosas aplicaciones.

Las ventajas que ofrecen son que en un solo software se puede volcar los parámetros hidrogeológicos y las concentraciones de contaminantes de los distintos puntos de muestreo. El programa integra los datos por algún método estadístico a elección (Distancia Inversa, Kriging, Curvatura Mínima, Regresión Polinómica, Triangulación, Método de Shepard, Funciones Base Radial) y posteriormente en base a los parámetros hidrogeológicos puede diseñar en 3D las dispersión de los contaminantes y la forma de la pluma de contaminación. Estas imágenes se pueden rotar o inclinar, cambiar o combinar colores a fin de hacer más atractiva la presentación.

Marco Legal

Con respecto a las concentraciones de Hidrocarburos Totales en el suelo y en el agua subterránea existe un vacío legal.

La Ley de Residuos Peligrosos 24.051 no menciona límites para estos medios naturales. En cambio si se hace referencia a valores guías de algunos componentes del petróleo como Benceno, Etilbenceno, Xilenos y Tolueno (BETX) para suelos según tres categorías de uso, industrial, residencial y rural.

Esta ley es de aplicación en los territorios nacionales (Capital Federal), sin embargo en numerosos juicios relativos a la contaminación de suelos, en el interior del país, los jueces (de primera instancia) se han adherido a esta regulación.

En la provincia de Buenos Aires el organismo de control es la Secretaría de Política Ambiental (SPA), a la fecha (junio de 1998) aún no se han reglamentado los valores guías para los “residuos especiales” (tal como se lo denomina en esa jurisdicción). La SPA “acepta” como valores guías los recomendados en la legislación de Holanda.

Esta norma selecciona a los sitios según tres categorías

Categoría A: son las concentraciones de fondo por debajo de las cuales no se deberá efectuar ninguna acción (estudio o remediación).

Categoría B: a partir de estos valores indicativos se deberán iniciar acciones de investigación.

Categoría C: valores a partir de los cuales se deberán iniciar estudios tendientes a la remediación del sitio.

Para Hidrocarburos totales los valores guía son:

$A = 100 \text{ mg/Kg.}$

$B = 1000 \text{ mg/Kg.}$

$C = 5000 \text{ mg/Kg.}$

Los valores guías “rígidos” presentan la limitación de que no todos los sitios son iguales, por ejemplo el daño potencial que produciría un derrame de hidrocarburos en el medio de un desierto no es igual a un derrame en una fuente de abastecimiento de agua.

Con el fin de efectuar un análisis equilibrado del problema ambiental se observa la tendencia, especialmente en Estados Unidos, de efectuar **Evaluaciones de Riesgo**. Es decir ponderar la contaminación presente en un sitio y referirla a los potenciales damnificados, más específicamente el riesgo de contraer cáncer, en seres humanos, debido a la presencia de compuestos peligrosos en el ambiente.

Este punto fue relatado, en el presente trabajo, en la sección referida a la EPA.

Conclusiones

La globalización de las actividades económicas, proceso en el cual la Argentina esta incluido, a generado una tendencia a la equiparación de costos mediante la utilización de procedimientos y tecnologías semejantes.

La actividad petrolera ha sido pionera en este sentido.

La normativa ambiental en la Argentina verifica esa misma tendencia.

Los sitios contaminados con hidrocarburos se deberían estudiar a partir de una Evaluación de Riesgo, que potencialmente producirían a la población y a partir de la definición de estos conceptos proceder a la remediación correspondiente.

Bibliografía

Barcelona, M.J., Gibb J. P., Miller R. A. 1983. *A guide to the Selection of Materials of Monitoring Well Construction and Ground - Water Sampling*. Illinois State Water Survey, Contract Report 327, 78 pp.

Cowgill, U.M., 1988, *The Chemical Composition of Leachate from a Two-Week Dwell-Time Study of PVC Well Casing and Three-Week Dwell-Time Study of Fiberglass Reinforced Epoxy Well Casing*. ASTM Special Technical Publication 963; P. 172-184.

Creech, J. R., 1986, *Class I Injection Well Design Considerations: Using Fiberglass Tubulars and Epoxy Cement: National Well Association*, Proceedings of the International Symposium on Subsurface Injection of Liquid Wastes, March 3-5, New Orleans, LN; P. 113-132.

Custodio E., Llamas M. R. (1976) *Hidrología Subterránea*, Ediciones Omega.

Parker I. V., Hewitt A. D., Jenkins T. F. 1990. *Influence of Casing Materials on Trace Level Chemicals in Groundwater*. Ground Water Monitoring Review 10, N° 2: 146-156.

Reynolds, G. W., Gillham R. W. 1985. *Absorption of Halogenated Organic Compounds by Polymer Materials Commonly Used in Ground Water Monitors*. Proceedings of the Second Canadian/American Conference on Hydrogeology, 125-32.

Sosebee, J. B., Jr., Geiszler, P. C., Winegardner, D. L., Fisher, C. R., 1983, *Contamination of Groundwater Samples with Polyvinyl Chloride Adhesives and Polyvinyl Chloride Primer from Monitor Wells: Hazardous and Industrial Solid Waste Testing*, Second Symposium, American Society for Testing and Materials, P. 38-50.

U.S. EPA 1988. *Guidance on Remedial Actions for Contaminated Ground Water at Superfund Sites*.

U.S. EPA 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Volume 1: Human Health Evaluation Manual (HHEM), Part A, Interim Final*.

U.S. EPA 1990. *Suggested ROD Language for Various Ground Water Remediation Options.*

U.S. EPA 1991. *Description and Sampling of Contaminated Soils: A Field Pocket Guide.*

U.S. EPA 1992a. *Considerations in Ground Water Remediation at Superfund Sites and RCRA Facilities - Update.*

U.S. EPA 1992b. *Estimating Potential for Occurrence of DNAPL at Superfund Sites.*

U.S. EPA 1992c. *Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies.*

U.S. EPA 1993a. *Data Quality Objectives for Superfund: Interim Final Guidance.*

U.S. EPA 1993b. *Guidance for Evaluating Technical Impactability of Ground Water Restoration.*

U.S. EPA 1993c. *Subsurface Characterization and Monitoring Techniques: A Desk Reference Guide, Vol I & II.*

U.S. EPA 1994a. *Guidance for the data Quality Objectives Process.*

ESQUEMA DE POZO DE MONITOREO

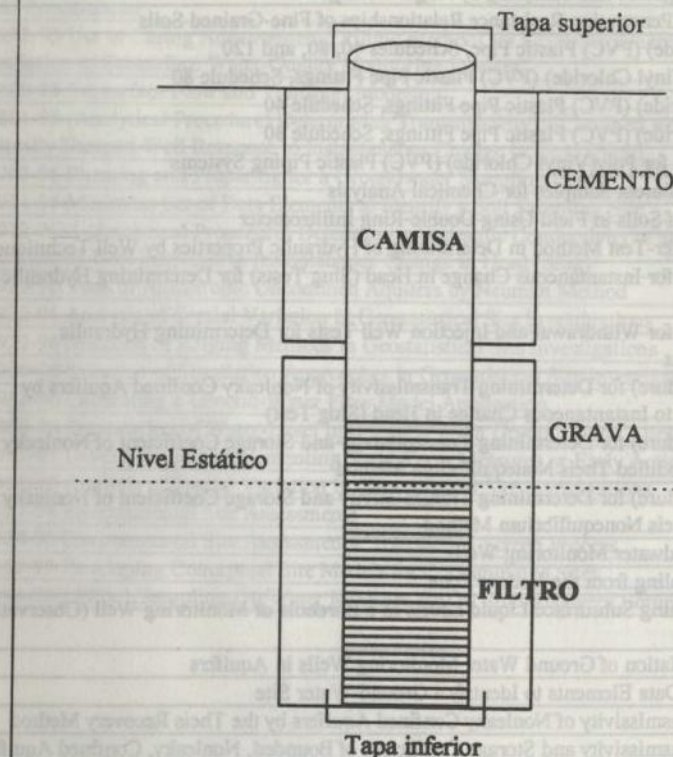


FIGURA 1

TABLA I
Normas de ASTM para Estudios Ambientales

D1452-80(1995) Soil Investigation and Sampling by Auger Borings
D1558-94 Moisture Content Penetration Resistance Relationships of Fine-Grained Soils
D1785-96 Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe, Schedules 40, 80, and 120
D2464-96a Threaded Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe Fittings, Schedule 80
D2466-96a Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe Fittings, Schedule 40
D2467-96a Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe Fittings, Schedule 80
D2564-96a Solvent Cements for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Piping Systems
D3976-92 Preparation of Sediment Samples for Chemical Analysis
D3385-94 Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer
D4043-91 Selection of Aquifer-Test Method in Determining of Hydraulic Properties by Well Techniques
D4044-91 (Field Procedure) for Instantaneous Change in Head (Slug Tests) for Determining Hydraulic Properties of Aquifers
D4050-91 (Field Procedure) for Withdrawal and Injection Well Tests for Determining Hydraulic Properties of Aquifer Systems
D4104-91 (Analytical Procedure) for Determining Transmissivity of Nonleaky Confined Aquifers by Overdamped Well Response to Instantaneous Change in Head (Slug Test)
D4105-91 (Analytical Procedure) for Determining Transmissivity and Storage Coefficient of Nonleaky Confined Aquifers by the Modified Theis Nonequilibrium Method
D4106-91 (Analytical Procedure) for Determining Transmissivity and Storage Coefficient of Nonleaky Confined Aquifers by the Theis Nonequilibrium Method
D4448-85a Sampling Groundwater Monitoring Wells
D4696-92 Pore-Liquid Sampling from the Vadose Zone
D4750-87(1993)e1 Determining Subsurface Liquid Levels in a Borehole or Monitoring Well (Observation Well)
D5092-90 Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers
D5254-92 Minimum Set of Data Elements to Identify a Ground-Water Site
D5269-92 Determining Transmissivity of Nonleaky Confined Aquifers by the Theis Recovery Method
D5270-92 Determining Transmissivity and Storage Coefficient of Bounded, Nonleaky, Confined Aquifers
D5314-92 Soil Gas Monitoring in the Vadose Zone
D5408-93 Set of Data Elements to Describe a Ground-Water Site; Part One-Additional Identification Descriptors
D5409-93 Set of Data Elements to Describe a Ground-Water Site; Part Two-Physical Descriptors
D5410-93 Set of Data Elements to Describe a Ground-Water Site; Part Three-Usage Descriptors
D5447-93 Application of a Ground-Water Flow Model to a Site-Specific Problem
D5473-93 (Analytical Procedure for) Analyzing the Effects of Partial Penetration of Control Well and Determining the Horizontal and Vertical Hydraulic Conductivity in a Nonleaky Confined Aquifer
D5474-93 Selection of Data Elements for Ground-Water Investigations
D5490-93 Comparing Ground-Water Flow Model Simulations to Site-Specific Information
D5521-94 Development of Ground-Water Monitoring Wells in Granular Aquifers
D5609-94 Defining Boundary Conditions in Ground-Water Flow Modeling
D5610-94 Defining Initial Conditions in Ground-Water Flow Modeling
D5611-94 Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application
D5717-95 Design of Ground-Water Monitoring Systems in Karst and Fractured-Rock Aquifers
D5718-95 Documenting a Ground-Water Flow Model Application
D5719-95 Simulation of Subsurface Airflow Using Ground-Water Flow Modeling Codes
D5730-96 Site Characteristics for Environmental Purposes With Emphasis on Soil, Rock, the Vadose Zone and Ground Water
D5754-95 Displaying the Results of Chemical Analyses of Ground Water for Major Ions and Trace Elements-Trilinear Diagrams for Two or More Analyses
D5781-95 Use of Dual-Wall Reverse-Circulation Drilling for Geoenvironmental Exploration and the Installation of Subsurface Water-Quality Monitoring Devices
D5782-95 Use of Direct Air-Rotary Drilling for Geoenvironmental Exploration and the Installation of Subsurface Water-Quality Monitoring Devices
D5783-95 Use of Direct Rotary Drilling with Water-Based Drilling Fluid for Geoenvironmental Exploration and the Installation of Subsurface Water-Quality Monitoring Devices

TABLA I (continuación)

D5787-95 Monitoring Well Protection
D5856-95 Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter
D5872-95 Use of Casing Advancement Drilling Methods for Geoenvironmental Exploration and Installation of Subsurface Water-Quality Monitoring Devices
D5880-95 Subsurface Flow and Transport Modeling
D5881-95 (Analytical Procedure) Determining Transmissivity of Confined Nonleaky Aquifers by Critically Damped Well Response to Instantaneous Change in Head (Slug)
D5903-96 Planning and Preparing for a Groundwater Sampling Event
D5911-96 Minimum Set of Data Elements to Identify a Soil Sampling Site
D5912-96e1 (Analytical Procedure) Determining Hydraulic Conductivity of an Unconfined Aquifer by Overdamped Well Response to Instantaneous Change in Head (Slug)
D5920-96 Tests of Anisotropic Unconfined Aquifers by Neuman Method
D5922-96 Analysis of Spatial Variation in Geostatistical Site Investigations
D5923-96 Selection of Kriging Methods in Geostatistical Site Investigations
D5924-96 Selection of Simulation Approaches in Geostatistical Site Investigations
D5981-96 Calibrating a Ground-Water Flow Model Application
D6000-96 Presentation of Water-Level Information From Ground-Water Sites
D5745-95 Developing and Implementing Short-Term Measures or Early Actions for Site Remediation
D5922-96 Analysis of Spatial Variation in Geostatistical Site Investigations
E1527-94 Environmental Site Assessments
E1528-96 Environmental Site Assessments: Transaction Screen Process
E1689-95 Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites
F1084-90(1995)e1 Sampling Oil/Water Mixtures for Oil Spill Recovery Equipment

TABLA II
Listado de Modelos de simulación (hasta junio 1996)

ABCFEM	ADEPT	AGU-10
AIRFLOW/SVE	ANALYT	AQUIX-4S
ARMOS - standard	ARMOS - professional	ASM
AT123D	BALANCE	BEAVERSOFT
BIO1D	BIOPLUME II	BIOTRANS - standard
BIOTRANS - professional	Borden Data	CANVAS
CAPZONE	Carbonate Rock Data	CATTI
CFITIM	CHEMFLO	COMPACTION/MODFLOW
COVAR	CXTFIT	EIS/GWM - Lite
EIS/GWM - Pro	EPA-VHS	FEMSEEP - flow
FEMSEEP - transport	FEMSEEP - flow & transp.	FLONET/TRANS
FLOWCAD	FLOWPATH	FP
FTWORK	GEO-EAS	GEOPACK
GFLOW	Groundwater Vistas	GW Vistas+MODFLOWWIN32
GWFLOW	HELP	Honey Lake Valley Data
HOTWTR	HPS	HSSM
HST3D	HYDRUS (1D)	HYDRUS-2D
HYDRUS-2D/MESHGEN-2D	HYPERVENTILATE	ICE-1
IDRISMOD	INFIL	INFINITE EXTENT
INVFD	JDB2D/3D	MAP
MARSBROW	MESHMAKER	MESHMAKER - FD
MICRO-FEM	MINTEQA2	MINTEQAK
MOC/USGS 2D-TRANSPORT	MOC DENSE	ModelGIS
MODFLOW	MODFLOW/PM	MODFLOWP
MODFLOW-EPA Problem Set	MODFLOW-WIN32	MODIME
MODMAN	MODPAK	MODPATH
MOTRANS - standard	MOTRANS - prof.	MT3D
MULAT	NETFLO	NETPATH
ONE-D	ONESTEP	OPT
Pajaro Valley Data	PAT	PATH3D
PEST - Main	PEST-MF/MT3D Utilities	PESTAN
PHREEQC	PHREEQE	PHREEQM-2D
PHRQPITZ	PLASM	PLUME
PLUME2D	PMWIN	PUMPIT
PREMOC	PRINCE	PRZM-2
PUMPTST	RADFLOW	RAND3D
RANDOM WALK	RETC	RITZ
RWH	RW Problem Sets	SHARP
SiteGIS	SiteGIS + MapInfo	SLUGC
SLUGT	SOHYP	SOIL
SOILPROP	SOLUTE	SPILLCAD - standard
SPILLCAD - professional	STEP MASTER	SUMATRA-1
SUMMERS	SUPER SLUG	SUTRA
SWACROP	SWANFLOW	SWICHA
SWIFT - supported.	SWIFT - unsupported	SWMS 2D
TARGET - series	TETRA	TGUESS
THCVFIT	THEISFIT	THWELLS
TIMELAG	TRAFRAP-WT	TSSLEAK
TWODAN	UN-GW (DOS)	UN-GWW (Windows)
UNITS	UNSAT1	USGS-2D-FLOW
USGS-3D-FLOW	USGS-SOL	VARQ
VENTING	VERTPAK-1	VIRALT
VIRTUS	VISUAL MODFLOW	VLEACH
VS2D/T	WALTON35	WATEQ4F
WELL	WELLTEST	WHAEM
WHPA	WinFlow	WinTran
WinFlow/WinTran	ZBSoft	ZONEBUDGET
3DADE		