

**Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo
Territorial**
Bogotá, Colombia

Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos

*Participaron en el desarrollo de este
proyecto:* el Ministerio de Ambiente,
Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, el
Ministerio de Minas y Energía, ECOPETROL,
la Asociación Colombiana del Petróleo, ACP,
las autoridades ambientales regionales y
locales de los centros urbanos, las entidades
gremiales de minoristas Fendipetróleo y
Fedispetrol y la Consultora Ambiental ERM
Colombia Ltda.

REVISION 1

Abril 2008

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.2	DEFINICIONES	2
1.3	PARTICIPANTES EN EL PROCESO DEL MANEJO AMBIENTAL DE UN SITIO IMPACTADO	8
1.4	INSTRUCCIONES PARA LA UTILIZACION DEL MANUAL TECNICO	9
1.4.1	<i>Instrucciones para el Ejecutor del plan de acción</i>	9
1.4.2	<i>Instrucciones para la Autoridad Ambiental</i>	10
1.5	MARCO TEÓRICO	11
1.5.1	<i>Exposición</i>	12
1.5.2	<i>Toxicidad</i>	12
1.5.3	<i>Riesgo de los CDIs cancerígenos:</i>	12
1.5.4	<i>Riesgo de los CDIs no cancerígenos</i>	13
2	ANALISIS DE RIESGOS	16
2.1	PRIMER PASO – RECOLECCIÓN/EVALUACIÓN DE DATOS- EVALUACION AMBIENTAL	16
2.1.1	<i>Documentar las Condiciones del Sitio</i>	16
2.1.2	<i>Modelo Conceptual del Sitio</i>	16
2.2	INVESTIGACIÓN DE SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA	17
2.2.1	<i>Ubicación de Puntos de Muestreo y Toma de Muestras</i>	17
2.2.2	<i>Clasificación del Agua Subterránea</i>	19
2.3	INVESTIGACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL	20
2.3.1	<i>Puntos de Muestreo</i>	21
2.3.2	<i>Identificación de Receptores Sensibles</i>	21
2.4	ANÁLISIS DE MUESTRAS	21
2.4.1	<i>Antecedentes</i>	21
2.4.2	<i>Análisis Recomendados con Base en el Tipo de Producto</i>	24
2.4.3	<i>Control de Calidad de muestreo y análisis</i>	24
2.4.4	<i>Cadenas de custodia</i>	26
2.5	NIVEL 1 - COMPARACION CON LIMITES GENERICOS BASADOS EN RIESGO	28
2.5.1	<i>Desarrollo de LGBR para TPH y Compuestos Claves (Tablas de Referencia)</i>	28
2.5.2	<i>Puntos Calientes</i>	35

CONTENIDO

2.5.3	<i>Ejemplo de un Análisis de Riesgos</i>	36
3	EVALUACIÓN NIVEL 2	38
3.1	INTRODUCCIÓN	38
3.2	CÁLCULO DE LAS CCESS PARA LOS TPH	39
3.2.1	<i>CCESs para TPH en agua subterránea</i>	40
3.2.2	<i>CCESs para fracciones de los TPH en suelo</i>	41
3.2.3	<i>Análisis de laboratorio para determinar las fracciones de TPH</i>	41
3.3	CÁLCULO DE LAS CCESS PARA COMPUESTOS CLAVES	43
3.3.1	<i>Ajustes Específicos al Sitio para el Cálculo de las CCES para compuestos claves</i>	43
3.3.2	<i>Ajustes a las Vías de Exposición</i>	50
3.4	TOMA DE DECISIONES- NIVEL 2	51
4	EVALUACION DE NIVEL 3	53
4.1	INTRODUCCIÓN	53
4.2	USO DE NIVEL 3	54
4.3	AJUSTES RECOMENDADOS PARA UN ESTUDIO NIVEL 3	55
4.3.1	<i>Disminución de los valores del Límite de Detección y análisis químicos avanzados</i>	55
4.3.2	<i>Ejecución de Modelos Numéricos/Analíticos</i>	56
4.3.3	<i>Ejecución y Calibración de modelos con datos medidos en campo</i>	56
4.3.4	<i>Verificación de modelos de exposición, recolectando datos en el sitio</i>	56
4.3.5	<i>Modificación de los criterios de toxicidad para compuestos no cancerígenos</i>	57
4.3.6	<i>Modificación de los criterios de exposición para receptores identificados</i>	57
4.3.7	<i>Otras técnicas avanzadas de evaluación del riesgo</i>	57
4.4	MONITOREO PARA CIERRE DEL CASO	58
5	REFERENCIAS (REVISADAS Y/O CITADAS):	59

CONTENIDO

6 APÉNDICES 63

- Apéndice 1 Ecuaciones para LGBRs para Hidrocarburos Totales de Petróleo, TPH por Defecto*
- Apéndice 2 Ecuaciones Matemáticas Usadas para Derivar LGBRs de Compuestos de Interés*
- Apéndice 3 Ejemplo de un Análisis de Riesgos*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-1 Sistema de Nivelación para Acción de Remediación Basada en Riesgo (RCBA) 14*
- Figura 1-2 Diagrama de Flujo para la Revisión de un Análisis de Riesgos 15*
- Figura 2-1 Formulario de Escenarios de Exposición Conceptuales para el Sitio 27*

LISTA DE TABLAS

- Tabla 2-1 Lista de TPH y Constituyentes Objetivos Recomendados para Productos de Petróleo: 24*
- Tabla 2-2 Recomendaciones de Muestreo para Aseguramiento de la Calidad QA/QC 25*
- Tabla 2-3 Composición por Defecto de Porcentaje Equivalente de Carbono para Gasolina y Diesel 30*
- Tabla 2-4 Límites de Referencia para la Comparación de Sitios Impactados por Hidrocarburos 37*
- Tabla 3-1 Fracciones de Petróleo del Grupo de Trabajo sobre TPHCWG 40*
- Tabla 3-2 Datos de toxicidad de fracciones específicas 42*

Este documento establece un procedimiento que permite manejar una situación de contaminación por hidrocarburos basado en un análisis de riesgos. El proceso de análisis de riesgos se enfoca en el escenario específico de cada sitio, sin aplicar niveles de limpieza establecidos de antemano de forma general, teniendo en cuenta los diferentes usos del terreno (actuales o futuros), de la población que esté ubicada o pueda ubicarse en el sitio en el futuro, de la geología, la hidrografía y de la geografía específica del sitio.

El análisis de riesgos es un avance metodológico en manejo ambiental de sitios impactados, y tiene las siguientes ventajas:

- · Protección a los seres humanos ;
- · Pone a disposición de los diferentes actores una metodología estandarizada para los sitios impactados con hidrocarburos en Colombia;
- · Constituye un proceso científico para la evaluación de sitios impactados;
- · Se trata de una metodología probada y aprobada en varios países con experiencia en el manejo ambiental de sitios impactados;
- · Es una plataforma para analizar los efectos toxicológicos de los compuestos que podrían impactar la salud;
- · Suministra un sustento técnico para decisiones administrativas tomadas por autoridades ambientales y para las decisiones judiciales tomadas por los entes competentes; y
- · Constituye un procedimiento de mayor costo-beneficio que los procedimientos tradicionales para el análisis y recuperación ambiental de sitios impactados con hidrocarburos.

Cabe anotar que se desarrolló una lista de chequeo con criterios y lineamientos de análisis para ecosistemas especialmente sensibles, dado que el procedimiento de análisis de riesgos presentado en este manual técnico se enfoca primordialmente en niveles basados en riesgos para la salud humana

por lo que es necesario suministrar elementos de análisis adicionales aplicables a los ecosistemas sensibles.

1.1 **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

El objetivo de este documento es proporcionar el proceso, las herramientas y la orientación relevante, que les permita a sus usuarios:

- Establecer un proceso de análisis que podría llegar, en ciertos casos, a tres niveles de evaluación;
- Proporcionar criterios de análisis de riesgo basados en toxicología y ecología para determinar el nivel de acción requerida; y
- Definir las concentraciones de referencia de los compuestos de interés a partir de los cuales se toma la decisión de ampliar la evaluación del sitio o tomar acciones remediales.

1.2 **DEFINICIONES**

ABS:	<i>(Skin Absorbance Factor) Factor de Absorción de Piel.</i>
ADHESIÓN:	<i>Adherencia, capacidad de pegarse o unirse.</i>
ADITIVO:	<i>Sustancia que se agrega a otra para incorporarle cualidades de las que carece o para mejorar las que posee.</i>
AEROBIAS:	<i>Que necesita oxígeno para subsistir.</i>
ALIFÁTICA:	<i>Compuesto orgánico cuya estructura molecular es una cadena abierta.</i>
ANAEROBIAS:	<i>Que no necesita oxígeno para subsistir.</i>
AROMÁTICAS:	<i>Se dice de las moléculas cíclicas, no saturadas, cuya estabilidad es superior a la de las estructuras de cadena abierta con igual número de enlaces múltiples.</i>
AS:	<i>Agua Subterránea</i>
ASTM:	<i>(American Standard for Testing and Materials) Estándares Americanos para Pruebas y Materiales</i>

ATn:	<i>Tiempo en Promedio</i>
ATENUACION:	<i>Disminuir.</i>
BTEX:	<i>Benceno, Tolueno, Etil-benceno y Xilenos</i>
CANCERÍGENO:	<i>Que puede provocar cáncer.</i>
CCESs:	<i>Concentraciones Calculadas Específicas para el Sitio</i>
Cas:	<i>Concentración en el Agua Subterránea.</i>
CDI:	<i>Compuestos de Interés</i>
COEFICIENTE:	<i>Expresión numérica de una propiedad o característica de un cuerpo, que generalmente se presenta como una relación entre dos magnitudes.</i>
CONCAWE:	<i>(Conservation of Clean Air and Water in Europe) Conservación de Agua y Aire Limpios de Europa</i>
CONTAMINACION	<i>Ley 23/1973 = Se entiende por contaminación la alteración del medio ambiente por sustancias o forma de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de particulares.</i>
CORRECTIVA:	<i>Acción que atenúa o subsana o que corrige.</i>
CP:	<i>Coeficiente de Peligro. La comparación de una dosis de un compuesto dado con una dosis de referencia segura para la salud humana para ese compuesto.</i>
CRITICO:	<i>Momento exacto en que es preciso actuar. Límite.</i>
Cs:	<i>Concentración en suelo.</i>
DAF:	<i>Factor de dilución y atenuación.</i>

DENSIDAD:	<i>Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.</i>
DIFUSION:	<i>Extender, esparcir, propagar.</i>
DILUCIÓN:	<i>Disminuir la concentración de una solución añadiendo algún disolvente.</i>
DRO:	<i>Rango de Diesel Orgánico</i>
ED:	<i>Duración de exposición</i>
EF:	<i>Frecuencia de Exposición</i>
EMISIÓN:	<i>Liberación de gases al ambiente.</i>
ERO:	<i>Rango de Orgánicos Extendidos (hidrocarburos pesados)</i>
ESCENARIOS:	<i>Lugar en el que ocurre o se desarrolla un suceso.</i>
EXPOSICIÓN:	<i>Acción de exponer a los efectos de otros agentes.</i>
EVALUACIÓN:	<i>Estimar, calcular, señalar el valor de algo.</i>
FOC:	<i>Fracción de Carbono Orgánico en suelo</i>
FUENTE:	<i>Lo que origina algo.</i>
GRO:	<i>Rango de Gasolina Orgánica</i>
IDEM	<i>(Indiana Department of Environmental Quality) Departamento de Calidad Ambiental del Estado de Indiana</i>
IEUBK:	<i>(Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model) Modelo de Exposición integrado de consumo bio-cinético</i>
Impacto	<i>Efecto de alguna operación en un sitio que afecte o altere el medio ambiente.</i>
IngRate:	<i>Tasa de ingestión de agua.</i>
INGESTIÓN:	<i>Acción de introducir por la boca.</i>

INHALACIÓN	<i>Aspirar, voluntaria o involuntariamente, ciertas sustancias, como gases, vapores, partículas, etc.</i>
InhFadj:	<i>(Inhalation Factor - Age Adjusted) Factor de inhalación ajustado por edad.</i>
IP:	<i>Índice de Peligro</i>
K:	<i>Factor de Volatilización en Espacio Cerrado desde Agua Subterránea.</i>
Koc:	<i>Coficiente de Partición de Carbono Orgánico</i>
LCP	<i>Límite de cuantificación práctico. Es la concentración mínima que puede ser detectada por medio de un método analítico dado.</i>
LD:	<i>Límites de Detección. Es la concentración mínima de un compuesto específico que puede ser detectada utilizando un método dado. Es variable pues está influenciado por la concentración del compuesto en una muestra dada.</i>
LGBR:	<i>Límites Genéricos Basados en Riesgo</i>
LIXIVIAR:	<i>Proceso de separación por líquido de fases solidas insolubles de sólidos solubles.</i>
LR:	<i>Límite Reportable. Límite que se acuerda con el laboratorio como la concentración mínima que se reportará para un compuesto determinado.</i>
MADEP:	<i>Massachusetts Department of Environmental Quality Departamento de Protección del Medio Ambiente del Estado de Massachusetts, E.E.U.U.</i>
MIGRAR:	<i>Movimiento de un lado a otro, abandonar un sitio para instalarse en otro.</i>
MCS:	<i>Modelo Conceptual del Sitio</i>
MTBE:	<i>Metil Tertil Butil Eter</i>

PAHs:	<i>Hidrocarburos Policíclicos Aromáticas</i>
PARTICION:	<i>División</i>
PC:	<i>Peso del cuerpo</i>
PEF:	<i>Factor de Emisión de Partículas</i>
PEEs:	<i>Puntos de Exposición Específicos al Sitio</i>
POTENCIAL:	<i>Que puede suceder o existir en contraposición de lo que existe.</i>
POROSIDAD:	<i>Proporción del volumen de poros de una material relativa al volumen total de ese material.</i>
RBCA:	<i>Guía Estándar para la Acción Correctiva Basada en Riesgo</i>
RECEPTOR:	<i>Quien recibe la acción, quien es afectado, influido o condicionado por alguna acción.</i>
REMEDIAR:	<i>Mitigar un riesgo o arreglar un daño.</i>
RIESGO:	<i>Potencial de que se materialice un daño.</i>
RfD:	<i>Dosis de Referencia protectoras de la salud humana</i>
RfDo:	<i>Dosis de Referencia por Ingestión Oral</i>
RfDi:	<i>Dosis de Referencia por Inhalación</i>
SATURACIÓN:	<i>Añadir una sustancia a un disolvente hasta que este no admita aumento de concentración en ella.</i>
SENSIBLE:	<i>Vulnerabilidad de ser afectado o influido por una acción o un sujeto.</i>
SFSadj:	<i>Área de superficie de piel corregida por edad</i>
SOLUBILIDAD:	<i>Capacidad de disolverse o diluirse</i>
SW-846	<i>La referencia utilizada por la USEPA para métodos analíticos de evaluar residuos.</i>

TEORICO:	<i>Que se dirige al conocimiento, no a la acción ni a la práctica</i>
TOXICIDAD:	<i>Grado de afectación de una sustancia tóxica.</i>
TPH:	<i>Hidrocarburo Total del Petróleo</i>
TPHCWG:	<i>Grupo de Trabajo para definición de los Criterios de Hidrocarburo Total del Petróleo, constituido por Menzie-Cura & Associates, Inc., Fuerza Aérea de los Estados Unidos, Equilon Enterprises LLC, Shell Development Company, Exxon Biomedical Sciences Inc., Operacional Technologies Inc., Chevron, The Association of American Railroads, Oklahoma Department of Environmental Quality, Elf Atochem North America, Massachusetts Department of Environmental Quality, Dow Corning Corporation, American Petroleum Institute, y US Environmental Protection Agency</i>
UE:	<i>Unión Europea</i>
USEPA:	<i>(United States Environmental Protection Agency) Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos</i>
VF:	<i>Factor de volatilización</i>
VOLATILIZAR:	<i>Transformar espontáneamente en vapor.</i>
WDEQ:	<i>Washington Department of Environmental Quality Departamento de Calidad del Ambiente del estado de Washington. E.E.U.U</i>
WHO:	<i>Organización Mundial de la Salud</i>

EJECUTOR DEL ANALISIS DE RIESGOS

El ejecutor del análisis de riesgos, siendo representante de compañía minorista, compañía mayorista, o tercero; como lo postula la Carta Política de 1991 en el artículo 8 de la responsabilidad que recae tanto en el Estado como en las personas de proteger las riquezas naturales del territorio nacional, deberá realizar el manejo integral de un incidente ambiental, realizando las siguientes acciones:

- Implementar de forma inmediata el plan de contingencia y reportar de inmediato cualquier condición de emergencia a las entidades de atención de emergencias y desastres, en caso de ser necesario.
- Reportar dentro de las 24 horas siguientes a la evidencia de fuga, el incidente a la Autoridad Ambiental competente.
- Informar de inmediato a la Autoridad Ambiental el incidente, cualquier queja recibida de parte de la comunidad o cualquier incidente que evidencie la presencia de hidrocarburos en inmediaciones de la estación de servicio.
- Hacer las gestiones necesarias para realizar de inmediato las pruebas de hermeticidad a líneas y tanques enterrados.
- Realizar las gestiones necesarias para que se lleven a cabo las acciones necesarias para mitigar la situación, incluyendo el desarrollo de la evaluación ambiental y el análisis de riesgos.

DISTRIBUIDOR MAYORISTA

Se parte de la premisa que el distribuidor mayorista realiza las gestiones necesarias para que las entregas de combustible al distribuidor se efectúen sin incidentes al medio ambiente, ya que tal y como lo postula la Carta Política de 1991 en el artículo 8 las personas y el Estado son responsables de la protección del medio ambiente.

Este deber se refleja entre otros aspectos, en desarrollar las diferentes actividades económicas con la responsabilidad del cuidado y protección de los recursos naturales renovables y el medio ambiente.

AUTORIDAD AMBIENTAL

Sin perjuicio de las facultades establecidas por ley a las autoridades ambientales, estas últimas deberán evaluar el plan de acción a seguir donde se indique el manejo ambiental del impacto asociado con el sitio, el cual deberá realizarse siguiendo el proceso establecido en este manual.

De conformidad con las normas legales, y en especial el Artículo 96 del Decreto 1594 de 1984 que faculta a la Autoridad Ambiental competente para evaluar y aprobar los planes de contingencia para esta clase de actividades; teniendo en cuenta que el análisis de riesgos es una herramienta para responder a una contingencia; independientemente de las acciones que adelante el ejecutor del análisis de riesgos, la Autoridad Ambiental tiene la potestad de requerir las acciones que considere necesarias, de acuerdo con la metodología de análisis de riesgos establecidas en el presente manual técnico, con el fin de procurar la protección y recuperación de los recursos naturales renovables y del medio ambiente afectados. El Artículo 96 del Decreto 1594 de 1984 prevé:

“**ARTICULO 96.** Los usuarios que exploren, exploten, manufacturen, refinan, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia para la previsión y control de derrames, el cual deberá contar con la aprobación de la EMAR y el Ministerio de Salud o de su entidad delegada”.

PLAN DE ACCION

El Plan de Acción será definido con base en el origen del incidente, siguiendo los pasos de este manual técnico.

1.4 *INSTRUCCIONES PARA LA UTILIZACION DEL MANUAL TECNICO*

1.4.1 *Instrucciones para el Ejecutor del plan de acción*

La Figura 1-1 presenta un diagrama de flujo para orientar al Ejecutor del Plan de Acción en el proceso del análisis de riesgos. En el diagrama se muestran todos los niveles y las decisiones a tomar al finalizar cada nivel.

Las decisiones pueden consistir en continuar al siguiente nivel del análisis de riesgos, o remediar el sitio a los límites de limpieza establecidos para el nivel finalizado.

En las secciones siguientes se suministran las instrucciones específicas de como ejecutar cada nivel del Análisis de Riesgos. El Ejecutor del plan de acción deberá cumplir con todas las actividades de cada nivel para que su análisis sea evaluado por la Autoridad Ambiental. Tan pronto se finalice el análisis de riesgos, al nivel que el ejecutor del plan de acción considere que es pertinente llegar, lo debe presentar a la Autoridad Ambiental para su respectiva aprobación.

No obstante lo anterior, si el ejecutor del plan de acción considera que debe llegar hasta el Nivel 3 de un análisis de riesgos, se recomienda que, antes de iniciar actividades, contacte a la Autoridad Ambiental para asegurarse que las acciones a ser realizadas en este Nivel son aceptables por parte de ella.

En caso de la no aceptación del análisis de riesgos por parte de la Autoridad Ambiental, ésta deberá especificar claramente las inconformidades para ser resueltas por parte del Ejecutor.

1.4.2 *Instrucciones para la Autoridad Ambiental*

La Figura 1-2 presenta un diagrama de flujo con los aspectos principales que se recomienda que la Autoridad Ambiental verifique en el análisis de riesgos entregado por el Ejecutor y que los mismos aspectos estén elaborados de acuerdo con las instrucciones específicas de este manual.

La Autoridad Ambiental le comunicará oficialmente al ejecutor del plan de acción cualquier inconformidad que detecte en el análisis de riesgos, solicitando su corrección y entrega dentro del tiempo definido por la Autoridad Ambiental.

Cuando la Autoridad Ambiental haya verificado que el análisis de riesgos presentado cumple con los requerimientos de este manual técnico, deberá comunicar su aceptación oficial al ejecutor.

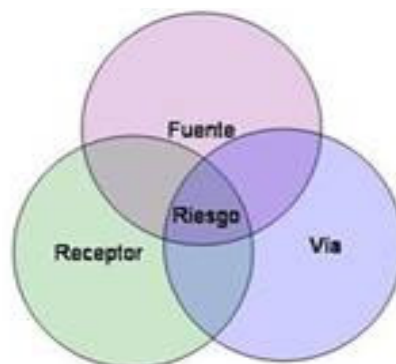
1.5

MARCO TEÓRICO

Una acción correctiva basada en riesgo significa que los límites de limpieza o evaluación preliminar están basados en los principios de análisis de riesgos asociados con la salud humana. Los riesgos a la salud humana se componen de tres elementos:

- Un receptor: Una población humana cerca o dentro del sitio de descarga (residente juvenil, residente adulto, trabajador adulto, etc.),
- Una fuente: Una concentración de el/los compuestos de interés (CDI) en medios tales como suelo, agua subterránea, sedimentos, agua superficial, aire, etc., y
- Una vía: Un mecanismo por el cual los humanos pueden tener contacto con los CDI (ej: contacto de la piel con suelos, ingestión de agua subterránea, inhalación de vapores, etc.).

Los tres elementos tienen que estar presentes para causar un riesgo potencial a la salud humana, como se ilustra en la siguiente figura:



Elementos del Riesgo

El cálculo del riesgo involucra el uso de ecuaciones matemáticas para cuantificar:

- la exposición humana a los CDI, denominada Evaluación de la Exposición; y
- la toxicidad de los CDI, denominada Evaluación Toxicológica.

La cuantificación del riesgo es una función de la concentración de los CDI, de los tiempos de exposición y de la cantidad de toxicidad de un CDI, y se expresa como:

$$\boxed{\text{RIESGO}} = \boxed{\text{EXPOSICION}} \times \boxed{\text{TOXICIDAD}}$$

1.5.1 *Exposición*

Para determinar la Exposición se calculan dosis diarias para cada CDI, considerando las vías de exposición y los receptores humanos identificados.

Para el cálculo de la dosis diaria se toman en cuenta factores como: peso del cuerpo humano, duración de la exposición, tasa de inhalación, tasa de ingestión, etc.

Si es necesario, también se realizan modelos del destino final y movilización de los CDIs. Por ejemplo, intrusión de vapores desde el suelo o agua subterránea al aire en un espacio cerrado.

1.5.2 *Toxicidad*

Los CDIs son clasificados con base en su efecto potencial en los siguientes grupos:

- Cancerígenos: Aquellos químicos sobre los que existen evidencias científicas suficientes que podrían causar cáncer, o
- No Cancerígenos: Aquellos químicos que podrían causar enfermedades diferentes al cáncer, tales como: neuro-toxicidad (efectos al sistema neurológico), hepato-toxicidad (efectos al hígado), nefro-toxicidad (efectos a los riñones), etc.

1.5.3 *Riesgo de los CDIs cancerígenos:*

El riesgo de los compuestos cancerígenos se expresa como la probabilidad de que una persona contraiga cáncer durante su vida como resultado de la exposición al compuesto específico. La probabilidad es el resultado de la dosis de exposición calculada, mencionada anteriormente, multiplicada por un factor que expresa el potencial cancerígeno de ese compuesto.

Es común que las autoridades ambientales definan su propio límite de “riesgo aceptable”. Con base en la revisión bibliográfica realizada para la

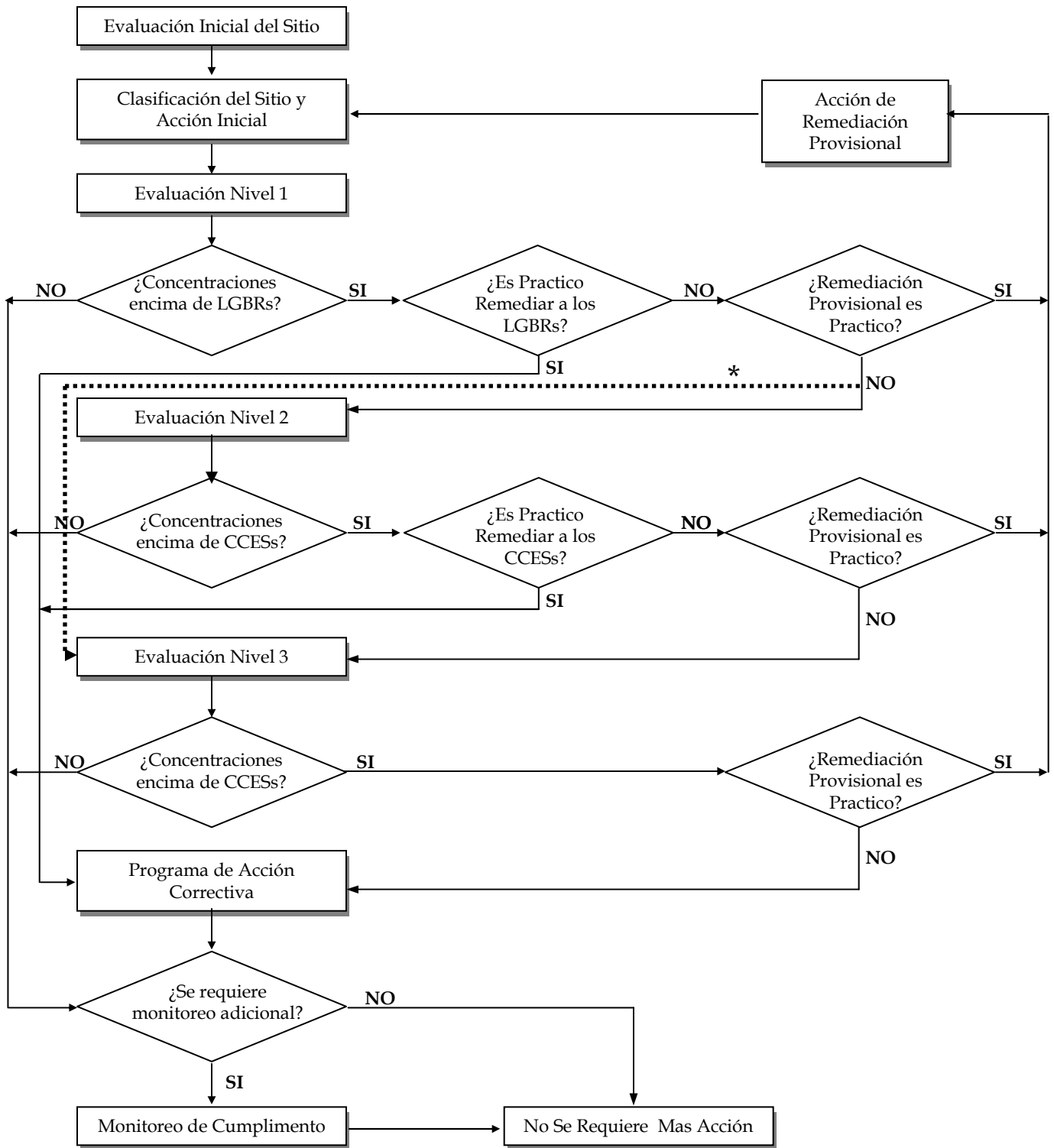
elaboración de este manual y con el objeto de establecer la toxicidad de los compuestos cancerígenos en Colombia, se definirá un riesgo aceptable de 1 en 100.000 (1×10^5). Este valor de riesgo aceptable lo utiliza la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos) y la Unión Europea para la mayoría de los cálculos de toxicidad de compuestos individuales.

El valor de riesgo de 1 en 100.000 (1×10^5) se consideró aceptable para Colombia teniendo en cuenta que este riesgo es menor a otros que se encuentran en el país. Por ejemplo, tomado de la cifra de 2005, el riesgo al colombiano de fallecimiento por homicidio era de 39 en cada 100.000 por año (Fundación Seguridad y Democracia 2006). El riesgo de homicidio en Colombia en el año 2005 era 39 veces mayor que el riesgo cancerígeno de los LGBRs propuestos y calculados siguiendo este manual para compuestos cancerígenos. Se utilizó la cifra del 2005 por ser el último año con datos completos.

1.5.4 *Riesgo de los CDIs no cancerígenos*

El riesgo de los compuestos no cancerígenos se expresa como un coeficiente de peligro (CP), el cual se calcula dividiendo la dosis de exposición calculada para un compuesto no cancerígeno por una dosis de referencia segura (RfD) para el mismo. Un CP mayor de 1 indica que hay un peligro potencial de efectos no cancerígenos.

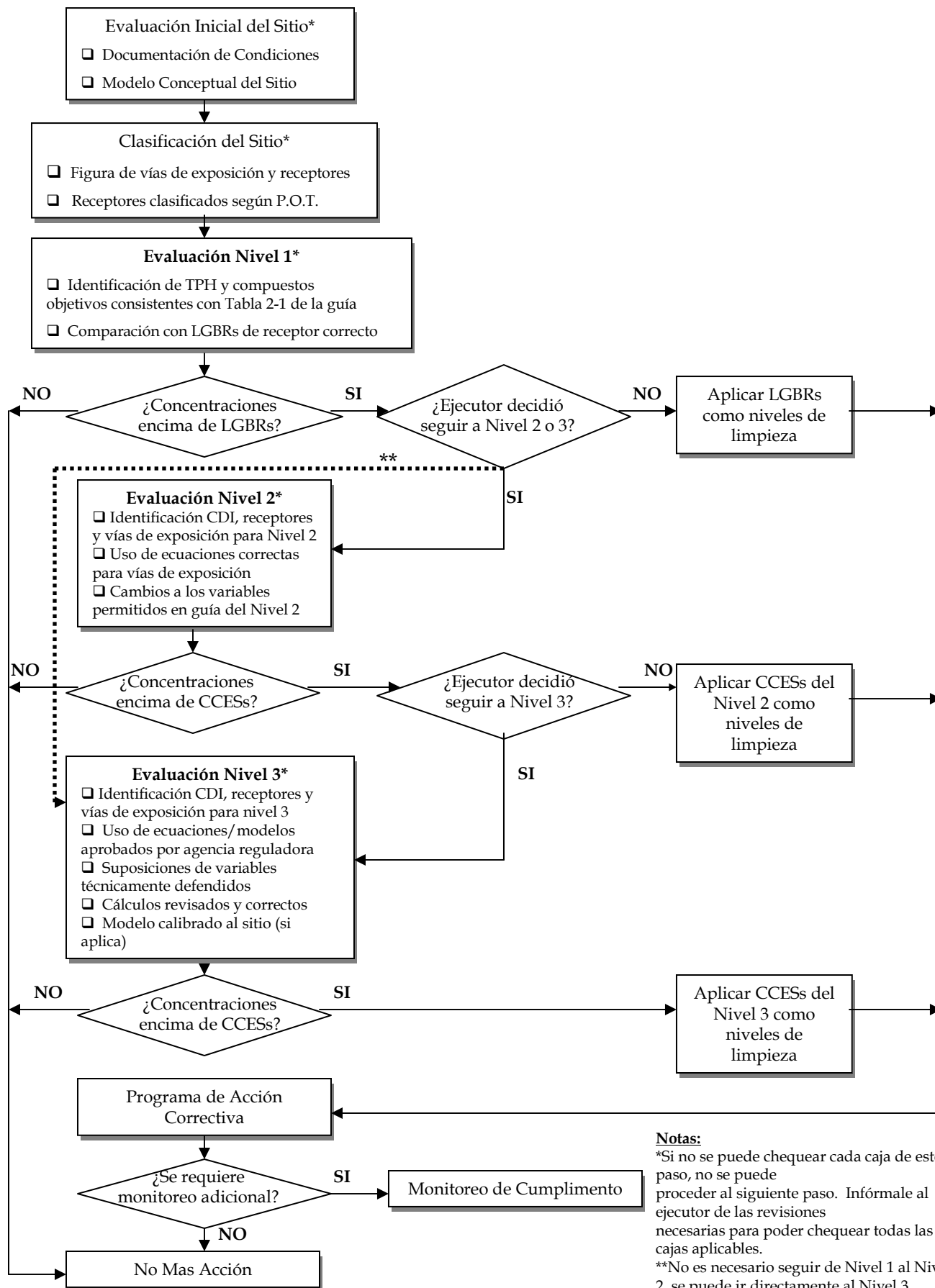
Figura 1-1
Sistema de Nivelación para Acción de Remediación Basada en
Riesgo (RBCA)



Notas:

*No es necesario seguir de Nivel 1 al Nivel 2, se puede ir directamente al Nivel 3.

Figura 1-2
Diagrama de Flujo para la Revisión de un Análisis de Riesgos (RBCA)



El proceso de análisis de riesgos está estructurado en tres niveles de evaluación, que incorporan grados crecientes de complejidad. El Ejecutor del plan de acción decidirá si continúa al siguiente nivel de evaluación o si procede a realizar la remediación a las metas de limpieza establecidas en el nivel finalizado.

2.1 PRIMER PASO – RECOLECCIÓN/EVALUACIÓN DE DATOS- EVALUACION AMBIENTAL

2.1.1 Documentar las Condiciones del Sitio

Un análisis de riesgos comienza con la evaluación ambiental de un sitio impactado, la cual debe ser iniciada reuniendo los siguientes datos:

- Identificar nombres y direcciones del propietario/operador del sitio;
- Lista de combustibles manejados en el sitio;
- Identificar el tipo de producto liberado y la fuente de la fuga o derrame (tuberías de conducción, tanques de almacenamiento, drenajes, etc.);
- Identificar los medios afectados (suelo, agua subterránea, agua superficial, sedimentos, etc.);
- Identificar la distancia horizontal a las poblaciones humanas más cercanas y a pozos de aprovechamiento de agua;
- Identificar la distancia horizontal a cuerpos de agua superficial más cercanos;
- Identificar las rutas de migración más probables;
- Identificar el tipo de suelo y la profundidad de las aguas subterráneas;
- Proporcionar un plano del sitio que muestre la ubicación de edificios principales, tanques, tuberías, servicios públicos, corrientes de agua, etc. adjuntar un mapa topográfico del sitio, si está disponible; e
- Identificar si es necesaria una acción provisional inmediata, tal como la extracción de producto libre.

2.1.2 Modelo Conceptual del Sitio

Un modelo conceptual del sitio (MCS) describe todas las **fuentes** de fuga/derrame de hidrocarburos ya conocidas o sospechosas; la manera

como estos podrían moverse por el ambiente (**vías**) y se identifica quién o qué potencialmente podrían verse afectados por los hidrocarburos (**receptores**).

El MCS es el que dirige el análisis de riesgos. Dentro del MCS, se analiza si existen escenarios de riesgo que están teóricamente completos, donde existe la fuente, algún (o varias) vías de exposición y receptor(es) que se identificaron en la evaluación ambiental.

Una vez identificados los escenarios de riesgo que puedan estar completos en el sitio, se enfoca la evaluación ambiental y el análisis de riesgos para evaluar si cada escenario de riesgo está completo y así evaluar el riesgo real del sitio.

Durante el proceso de la evaluación ambiental y el análisis de riesgos, se revisa el MCS, ajustando la hoja de trabajo proporcionada en la Figura 2-1. En los casos donde no se encuentra un escenario de riesgo posiblemente completo, no se recomienda la remediación. En caso de que la evaluación ambiental y análisis de riesgos, esté completo, la remediación del sitio se debe enfocar en tratar el impacto hasta niveles donde no existe riesgo para los receptores y así eliminar los escenarios de riesgo teóricamente completos.

2.2 *INVESTIGACIÓN DE SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA*

2.2.1 *Ubicación de Puntos de Muestreo y Toma de Muestras*

Con base en las condiciones y el modelo conceptual del sitio, se evalúa y delimita el área impactada por las fuentes identificadas. Para iniciar este proceso se recomienda el muestreo de 5 pozos ubicadas de la siguiente forma:

- El primer pozo debe estar ubicado en el centro del área que se considera la más impactada (pozo central); y
- Cuatro pozos adicionales deben estar ubicados de dos a seis metros de los ejes perpendiculares del pozo central (pozos laterales).

En el caso de que se encuentre más de un área de impacto en el mismo sitio, se sugiere combinar los pozos laterales y ubicar un pozo central en cada área impactada. Por ejemplo, si se encuentra un sitio con dos áreas impactadas, se recomienda perforar seis pozos iniciales, uno en cada área impactada y cuatro pozos laterales en ejes perpendiculares de un punto entre estas áreas.

Para la perforación de pozos nuevos, se toman muestras de suelos cada 0.5 metros (m) para evaluación de:

- Litología;
- Concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) con un Medidor de Vapores Orgánicos (OVM); y
- Evidencia organoléptica de hidrocarburos.

Con base en los resultados de la evaluación anterior, para cada perforación se debe recolectar y enviar al laboratorio la muestra con la mayor concentración de COV y/o la que presente la mayor evidencia organoléptica de hidrocarburos. Se debe tomar un volumen de muestra suficiente para utilizarla en caso en que se decida pasar al Nivel 2 y haya necesidad de realizar análisis adicionales.

Para los puntos que se ubican en el centro de la que se presume el área más impactada, se deben recolectar y enviar al laboratorio las siguientes muestras:

- Una muestra de la parte superior de la perforación (0-0.5 m de profundidad);
- La muestra con la mayor concentración de COV y/o la que presente la mayor evidencia organoléptica de hidrocarburos; y
- Una muestra inmediatamente antes del nivel freático. En los casos donde éste no se detecte, se debe tomar una muestra a la profundidad total de la perforación.

La profundidad total de la perforación debe ser como mínimo de 6 metros (m), pero debe definirse por los valores obtenidos de COV y/o la evidencia organoléptica de hidrocarburos.

Las perforaciones ubicadas en la zona perimetral del área impactada, tienen por objeto la delineación lateral de la misma. En estas perforaciones se recolectará y enviará al laboratorio la muestra con la mayor concentración de COVs o con la mayor evidencia organoléptica de hidrocarburos.

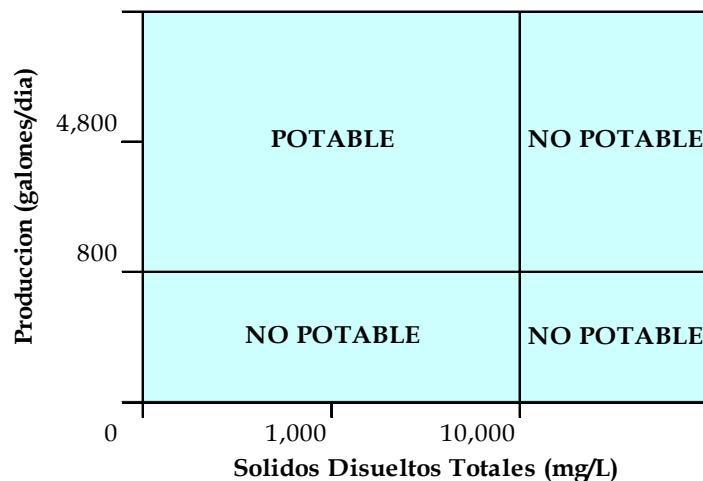
La ubicación de todas las muestras se debe presentar en un plano del sitio y se debe documentar cualquier observación importante sobre características del suelo o agua subterránea, por ejemplo olor, color, textura, claridad, etc.

Antes de iniciar la perforación, deben tomarse todas las medidas necesarias para evitar la afectación de cualquier estructura subterránea (ej. tanques, líneas, servicios públicos, etc).

Al escoger el método de perforación, se debe procurar mantener las muestras inalteradas, ej. cuchara partida (split spoon), corazonamiento, etc. Debe evitarse al máximo el uso de lodos o fluidos de perforación que pueden alterar las muestras. El procedimiento de la toma y manejo de las muestras deberá seguir el estándar ASTM D4700-91 (2006).

2.2.2 *Clasificación del Agua Subterránea*

Como parte de la Evaluación Ambiental se recomienda evaluar si un cuerpo de agua subterránea impactada es apto para ser desarrollado como una fuente de agua potable. La clasificación recomendada en esta sección no va en contra del Decreto No. 1541 de 1978 del MAVDT y por lo tanto, no reemplaza los requerimientos de lo mismo. Las dos variables que se tienen en cuenta para determinar si el cuerpo de agua subterránea es adecuada para ser recurso de agua potable son: la producción de pozos y los sólidos disueltos totales. Se incluye estos dentro de los parámetros evaluados por el MAVDT para considerar si agua subterránea es apta para uso como agua potable. Con base en las mediciones de la producción de pozos y los resultados analíticos de sólidos disueltos totales se clasifica el agua subterránea, de la siguiente manera:



Fuente: LDEQ 2003

En el caso que el agua subterránea debajo de un sitio impactado se clasifique como agua potable, los resultados analíticos de lo mismo se comparan con los LGBRs desarrollados para agua potable en la Tabla 2-4.

En el caso que el agua debajo de un sitio impactado se clasifique como no potable, los resultados analíticos del agua subterránea se deben comparar con los LGBRs desarrollados para agua no potable en la Tabla 2-4.

Cabe anotar que producción de un cuerpo de agua subterránea no es la misma propiedad que la conductividad hidráulica. Existen varias ecuaciones y modelos en libros de texto hidrogeológicos que se pueden utilizar para calcular la producción de un cuerpo de agua subterránea.

2.2.2.1 *Agua Somera o Agua Profunda*

Se recomienda evaluar si el agua subterránea es agua somera o agua profunda. El agua somera está expuesta a lixiviación de suelo impactado por la presencia de una vía de exposición completa del suelo impactado de un predio al agua somera.

Dependiendo de la distancia a un cuerpo de agua profunda y las propiedades físicas del suelo, puede que no sea factible que el impacto del suelo migre hasta el agua subterránea. En este caso se puede presentar evidencia demostrando que la lixiviación del impacto en el suelo a agua subterránea no es factible. Los modelos o estudios de distancias de migración establecidos para diferentes suelos se pueden presentar como evidencia, comparando lo mismo a las condiciones del sitio que se está evaluando. Si la evidencia presentada justifica que no es factible que el impacto migre al agua profunda, no se comparan los resultados analíticos del suelo a los LGBRs desarrollados para lixiviación a agua subterránea.

Esta evidencia se presenta por cada sitio donde se quiere establecer la presencia de agua profunda dado la variación de profundidad de agua subterránea y variación de tipos de suelo de sitio a sitio.

2.3 *INVESTIGACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL*

En caso de encontrar un cuerpo de agua superficial dentro del área de posible impacto según las condiciones iniciales documentadas (sección 2.1.1 de este manual) se debe evaluar las condiciones de lo mismo. Las condiciones se deben evaluar utilizando el siguiente procedimiento.

2.3.1 *Puntos de Muestreo*

Se recomienda el análisis de dos puntos de cada cuerpo de agua superficial identificada en la sección 2.1.1 que queda dentro de 500 metros del sitio, o de algún punto de muestreo de agua subterránea o suelo que este encima de los LGBRs. Los puntos se ubican:

- Un punto de muestreo se ubica aguas arriba de la estación de servicio; y
- Un punto aguas debajo de la estación de servicio.

Aguas arriba y aguas debajo se evalúa según el flujo de agua subterránea entre la estación y el río, y la dirección de flujo del río.

2.3.2 *Identificación de Receptores Sensibles*

Se asume que un receptor humano industrial o un receptor humano residencial pueden tener contacto con un cuerpo de agua superficial y por lo tanto se compara los resultados analíticos de las muestras del agua superficial a los valores en la Tabla 2.4. Si el cuerpo de agua se utiliza directamente como fuente de agua potable para algún receptor humano, los resultados analíticos de lo mismo se comparan a los LGBRs para agua potable. Si lo mencionado no es el caso, los resultados analíticos del agua superficial se comparan a los LGBRs para agua no-potable.

En el caso de que el cuerpo de agua superficial contenga receptores ecológicos (plantas marinas, manglares, peces, etc.), se debe completar la lista de chequeo para riesgos ecológicos, disponible con el MAVDT, para evaluar la necesidad de completar un análisis de riesgos ecológico. Lo mismo se completa como un análisis aparte del análisis de riesgos presentado dentro de este manual.

2.4 *ANÁLISIS DE MUESTRAS*

2.4.1 *Antecedentes*

Los sitios de distribución de derivados del petróleo pueden ser afectados por una variedad de productos tales como la gasolina, diesel, kerosén y aceites lubricantes. Históricamente, estos productos han sido medidos en el ambiente a través del análisis de Hidrocarburo Total de Petróleo (TPH). Este análisis comprende la mezcla de más de 250 componentes individualmente

identificados en cantidades que varían según el tipo de derivado del petróleo. Adicionalmente, la composición de los derivados del petróleo liberados al ambiente cambia con el tiempo y está sujeta al clima. Analizar todos los componentes de TPH identificados individualmente en el ambiente, sería excesivo y costoso. Además, la información de la toxicidad, el destino y el transporte de cada componente no está disponible.

Con el fin de establecer criterios de limpieza basados en una evaluación científica del riesgo toxicológico de los compuestos que conforman los TPH, se creó el Grupo de Trabajo de Criterios de Hidrocarburo Totales de Petróleo (TPHCWG) en 1993 conformado por expertos de la industria, el gobierno y la academia. Los estudios del TPHCWG fueron desarrollados en conjunto con la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), La Guía Estándar para la Acción Correctiva Basada en Riesgo Aplicada en Sitios de Petróleo (RBCA; 1995) y la guía del USEPA sobre evaluación de riesgo.

Con base en los estudios toxicológicos, físicos y químicos de los compuestos de los TPH, esta mezcla de compuestos se dividió en fracciones con propiedades similares.

El fraccionamiento de los TPH para el Nivel 1 se consiste en dos fracciones, una fracción que compone gasolina y otra fracción que compone diesel y orgánicos extendidos, los cuales forman aceites. Estos rangos de carbono son:

- El rango de gasolina orgánica (GRO) (C5 - C12); y
- El rango de diesel orgánico (DRO) (C8 - C36), el cual incluye el rango de orgánicos extendidos (ERO) (C8 - C36), aceites de hidrocarburo y aceites usados.

Los Límites Genéricos Basados en Riesgo (límites de limpieza) (LGBRs) para TPH fueron desarrollados utilizando las propiedades del compuesto más tóxico dentro de cada fracción.

Para caracterizar mejor el riesgo potencial, los análisis de los TPH se usan en combinación con el análisis de los compuestos claves de cada rango, los cuales son seleccionados con base en el tipo de producto de petróleo liberado en el ambiente.

Se analiza los compuestos claves y TPH porque los análisis de TPH representan la mezcla del producto liberado al medio ambiente y los

compuestos claves son una lista de compuestos que tienen propiedades tóxicas que ameriten análisis aparte de la mezcla.

Los compuestos objetivos pueden incluir:

- Rango GRO (C5 - C12): Benceno, Tolueno, Etil-benceno y Xilenos (BTEX)
- Rango DRO/ERO (C8 - C36); Hidrocarburos Policíclicos Aromáticas (PAHs)
 - PAHs Cancerígeno
 - Benzo(a)antraceno
 - Benzo(a)pireno
 - Benzo(b)fluoranteno
 - Benzo(k)fluoranteno
 - Criseno
 - Dibenz(a,h)antraceno
 - Indeno(1,2,3-cd)pireno
 - PAHs No Cancerígeno
 - Naftaleno
- Todos Rangos: Aditivos del Combustible:
 - Plomo
 - Etanol

El etanol es un aditivo potencial de combustible, cuyo uso está incrementándose como un oxigenante de la gasolina y como un sustituto del Metil Tertil Butil Eter (MTBE). El etanol no tiene las propiedades peligrosas de los compuestos claves y es fácilmente biodegradable bajo condiciones aerobias y anaerobias. El efecto principal del etanol en el medio ambiente es que puede aumentar el movimiento de compuestos claves. La toxicidad de estos compuestos no se afecta por la presencia de etanol y por lo tanto no se considera en el análisis de riesgos. El aumento del movimiento de los compuestos claves en la presencia de etanol es evidente en la distribución de la zona de impacto.

No se está considerando el aditivo MTBE por no utilizarse este aditivo en Colombia. El MTBE no se ha usado como aditivo a los productos petroleros en Colombia, y por eso no es un aditivo que se considera dentro de este documento.

2.4.2 *Análisis Recomendados con Base en el Tipo de Producto*

Los análisis a efectuar a las muestras enviadas al laboratorio deben comprender los compuestos tóxicos típicamente encontrados en el producto liberado al medio ambiente. La Tabla 2-1 presenta una lista de los rangos de TPH y los compuestos claves recomendados para diferentes derivados de petróleo.

Tabla 2-1 *Lista de rangos de TPH y Compuestos Claves recomendados para productos de petróleo*

Compuesto	Gasolina Corriente/premium Gasolina de Aviación (AvJet)	Diesel, Kerosene, Combustible de Aviación (Av Gas)	Aceites lubricantes	Aceite usado	Método de Análisis
BTEX	Suelo/AS	Suelo/AS		Suelo/AS	SW846 - 8021B/8260B
GRO	Suelo/AS			Suelo/AS	SW846 - 8015C
DRO/ERO		Suelo/AS	Suelo/AS	Suelo/AS	SW846 - 8015C
PAHs		Suelo/AS	Suelo/AS	Suelo/AS	SW846 - 8270C
MTBE	Suelo/AS	Suelo/AS		Suelo/AS	SW846 - 8260B
Plomo	Suelo/AS	Suelo/AS		Suelo/AS	SW846 - 6010/6020, 7000 serie

Nota: AS y Suelo indica el tipo de muestra que se recomienda para cada compuesto con base en el tipo de producto de petróleo.
AS = Agua Subterránea

2.4.3 *Control de Calidad de muestreo y análisis*

Para asegurar la calidad de las muestras que se analicen, se recomienda recolectar muestras para llevar a cabo el control de calidad (QA/QC). En la Tabla 2-2 se detallan los tipos de muestras para QA/QC, las cuales se deben recolectar de los pozos perforados durante la evaluación ambiental.

Tabla 2-2 Recomendaciones de Muestreo para Control de la Calidad (QA/QC)

Tipo de Muestra QA/QC	Medio	Comentario
Propiedad de la Matriz/Duplicado de la Propiedad de la Matriz (MS/MSD)	Suelo y Agua Superficial/Subterránea	<p>Mide la interferencia de las propiedades de la matriz de la muestra con los análisis a llevar a cabo.</p> <p>Se debe recolectar en un punto donde se estime poca contaminación para evitar interferencia analítica.</p> <p>Recolectar 1 muestra cada 20 muestras por medio muestreado.</p>
Duplicado Ciego	Suelo y Agua Superficial/Subterránea	<p>Prueba que mide confiabilidad de los resultados de laboratorio.</p> <p>Se debe recolectar en un punto donde se verifica la existencia de concentraciones detectables, duplicando una de las muestras enviadas al laboratorio.</p> <p>Recolectar 1 muestra cada 20 muestras por medio muestreado.</p>
Blanco de Equipo	Suelo y Agua Superficial/Subterránea	<p>Prueba que mide si se está realizando adecuadamente la descontaminación del equipo y la existencia de contaminación cruzada.</p> <p>Se recolecta únicamente cuando se utiliza el mismo equipo para la toma de varias muestras.</p> <p>Recolectar 1 muestra por cada día de campo.</p>
Blanco de Viaje	Suelo y Agua Superficial/Subterránea	<p>Prueba que mide si hubo interferencia de volátiles dentro del empaque que pudieron afectar las muestras.</p> <p>Analizar únicamente cuando se recolectan muestras para análisis de volátiles. El laboratorio provee los blancos de viaje y solamente se debe analizar un blanco de viaje por nevera que transporta muestras para análisis de compuestos volátiles al laboratorio.</p>

Fuente:
IDEM, 2006

Se debe tomar la lista completa de muestras para QA/QC recomendada en la Tabla 2-2 para muestreos asociados con procesos legales. Para muestreos que no estén asociados a procesos legales, se recomienda tomar un duplicado de matriz, el blanco de equipo y un duplicado ciego por proyecto. Cuando se envía al laboratorio una a dos muestras, no se requieren muestras de QA/QC.

2.4.4 *Cadenas de custodia*

Antes del envío de las muestras al laboratorio, se deben diligenciar las cadenas de custodia suministradas por el laboratorio analítico con la información de cada muestra para analizar. Los objetivos de la cadena de custodia son los siguientes:

- Comunicar la información requerida por el laboratorio para ejecutar los análisis incluyendo la identificación de la muestra, fecha y hora de muestreo, medio (agua o suelo) y análisis a ejecutar.
- Controlar el manejo de las muestras durante el envío detallando las personas que intervinieron en el empaque y envío de las mismas y las fechas y horas en que esto se produjo.

Se debe mantener comunicación con el laboratorio para asegurar que los Límites Reportables (LR) de análisis sean lo suficientemente bajos para evaluar las concentraciones de compuestos relativos a los LGBRs residenciales (suelo) y de agua potable.

Figura 2-1
Formulario de Escenarios de Exposición Conceptuales para el Sitio

Fuentes Primarias

Fuentes Secundarias
Comentarios

Vías de Exposición

Caracterización de Receptor*

Tanques de Producto (USTs/ASTs)

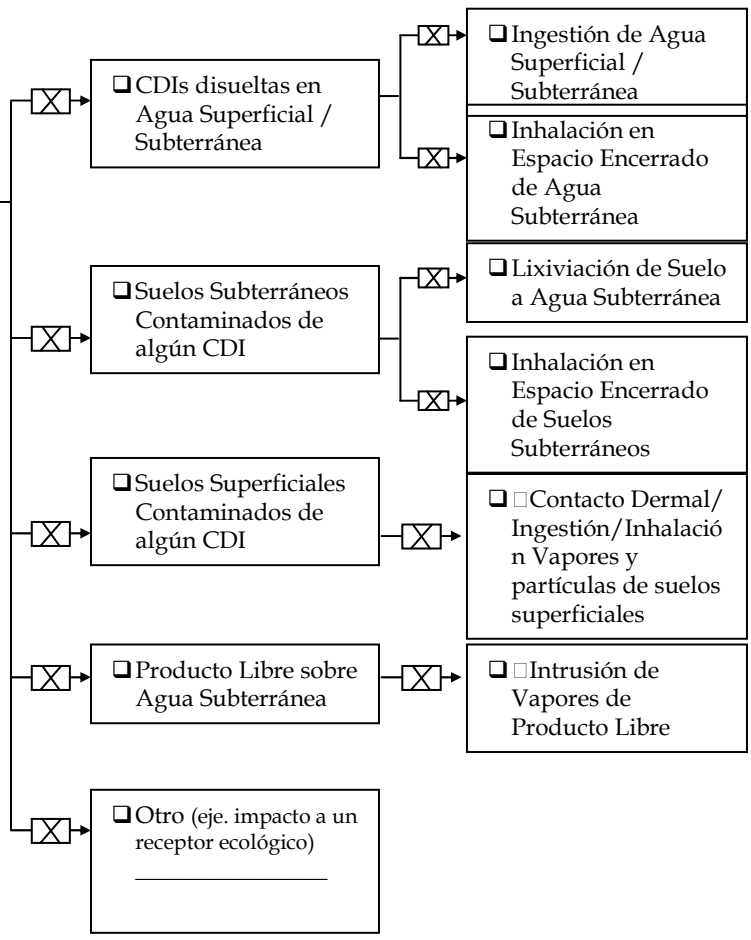
Tubería

Surtidores

Tubería Externa

Vehículo de Transporte

Otro: _____



Símbolos

- Caja de Chequeo
- Válvula Tapón

Notas:

1. Circula la "válvula tapón" cuando una vía de exposición está incompleta o no es aplicable al sitio.
2. Si se determina que una vía está incompleta o no es aplicable, se numera la "válvula tapón" y se describe la razón de la decisión en el número correspondiente, en la sección de comentarios.
3. Se completa la vía según se indica, usando las cajas de chequeo.

* La caracterización del receptor se debe determinar según la clasificación del P.O.T. cuando este disponible

Residencial

Agricultura

Comercial

1. _____

2. _____

Residencial

Agricultura

Comercial

3. _____

4. _____

Residencial

Agricultura

Comercial

5. _____

6. _____

Residencial

Agricultura

Comercial

7. _____

- Residencial
- Agricultura
- Comercial
- Residencial
- Agricultura
- Comercial
- Residencial
- Agricultura
- Comercial
- Residencial
- Agricultura
- Comercial
- Explosión/Incendio
- Salud Crónica

2.5

NIVEL 1 - COMPARACION CON LIMITES GENERICOS BASADOS EN RIESGO

Una vez recibidos los resultados del laboratorio, se inicia la comparación de éstos con los LGBRs del Nivel 1, los cuales se derivan de parámetros de exposición conservadores predefinidos.

Si las concentraciones de los componentes están por debajo de los LGBRs, se puede concluir que el sitio no representa un riesgo para la salud humana, por lo que no se requeriría acción adicional. Si las concentraciones de los componentes están por encima del LGBR, el ejecutor decidirá continuar a una evaluación Nivel 2 o remediar hasta los valores de los LGBRs del Nivel 1. Usualmente, el motivo de esta decisión se basa en una evaluación técnico-económica que estima si el costo proyectado de la remediación requerida para cumplir con los límites del Nivel 1 es mayor o menor que el costo de continuar con el análisis de riesgo y remediar a los límites propuestos en el Nivel 2.

Para el caso de la disposición de los suelos extraídos de un sitio impactado, se deben comparar las concentraciones de los CDIs en el suelo extraído con los LGBRs aplicables al uso del suelo en el sitio de disposición. En caso de exceder estas concentraciones, los suelos deberán tratarse hasta alcanzar los LGBRs aplicables al sitio de disposición.

2.5.1

Desarrollo de LGBR para TPH y Compuestos Claves (Tablas de Referencia)

Se desarrollaron LGBRs para suelo en terreno aprobado para uso como comercial/industrial o residencial/agrícola, lo cual se determina para cada sitio según la clasificación del Plan de Ordenamiento Territorial P.O.T.

Para uso comercial/industrial los LGBRs se desarrollaron asumiendo frecuencias y duración de exposición consistente con los receptores humanos que están más expuestos en ese ambiente (por ejemplo empleados con jornada laboral de 8 horas, etc.). Para los LGBRs de uso residencial/agrícola, se asumió frecuencia y duración de exposición consistente con el tiempo promedio (según estadísticas internacionales referenciadas en Apéndices 1 y 2) que los receptores humanos pasan en sus residencias.

Para agua potable, se utilizó el consumo promedio de receptores humanos según estadísticas internacionales en el ambiente donde se consume la mayor cantidad de agua, siendo este un ambiente residencial. Se considera que en Colombia, el agua clasificada como no potable puede ser consumida

por algún receptor sensible, aunque no se considera que el agua no potable sea la fuente principal para esos receptores. Por lo tanto, se consideró la vía de exposición de ingestión para el desarrollo de LGBRs para agua no potable a una frecuencia y duración industrial/comercial. Se considera que este puede representar el peor caso, donde existe un pozo o punto de acceso al agua subterránea no potable, lo cual se ingiere esporádicamente.

2.5.1.1 TPH

Con objeto de desarrollar los LGBRs para los TPH a utilizar en Colombia, se revisaron las ecuaciones y valores predeterminados utilizados por numerosas agencias reguladoras, incluyendo:

- En los Estados Unidos el Departamento de Protección del Medio Ambiente de Massachussets [MADEP] y el Departamento de Calidad del Ambiente de Washington [WDEQ]; e
- Internacionalmente , la Organización Mundial de la Salud [WHO], Conservación de Aire y Agua Limpia en Europa [CONCAWE], en Canadá, la Provincia de British Columbia y las 4 Provincias Atlánticas, Australia y Nueva Zelanda.

Con base en esta revisión se adoptó para Colombia el fraccionamiento simple de los TPH para muestras de agua subterránea y suelo, basado en métodos analíticos tradicionales de la EPA (SW846-8015 modificado).

Las fracciones de los TPH incluyen:

- Rango de gasolina (GRO),
- Rango de diesel (DRO), y aceites a base de hidrocarburos y otros orgánicos de gama extendida (ERO).

Los resultados analíticos para cada uno de estos rangos se comparan con los LGBRs desarrollados para los mismos. Los LGBRs para GRO/DRO/ERO están basados en formulas teóricas para combustibles de gasolina y diesel “degradados”.

Las fórmulas asumen las fracciones de cadenas de Carbono alifáticas y aromáticas para Gasolina y Diesel presentadas en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Composición en Porcentajes Predeterminados de Fracciones de Equivalentes de Carbono en Gasolina y Diesel

Componente	Porcentaje de cada componente en la Gasolina	Porcentaje de cada componente en Diesel
<i>Alifáticas</i>		
EC 5-6	23	0.06
EC > 6-8	22	0.31
EC > 8-10	9	1.02
EC > 10-12	3	4.18
EC > 12-16	0	30
EC > 16-21	0	42.6
EC > 21-36	0	0
<i>Aromáticas</i>		
EC > 8-10	41	0.94
EC > 10-12	2	3.53
EC > 12-16	0	9.68
EC > 16-21	0	7.61
EC > 21-36	0	0.07
Total	100	100

Fuente: IDEM, 2006

Nota: Numero Equivalente de Carbono (EC)

Los valores predeterminados de LGBRs para los TPH son límites para la protección de la salud humana contra efectos no cancerígenos, a través del contacto directo y migración al agua subterránea.

Estos valores están basados en suposiciones predeterminadas bastante conservadoras (altamente protectoras) y un Coeficiente de Peligro (CP) igual a 1.

Las ecuaciones y los parámetros predeterminados usados para calcular los LGBRs para TPH son presentados en el Apéndice 1. La Tabla 2-4 detalla los LGBRs para GRO y DRO calculados para Colombia. Los LGBRs para DRO también son aplicables para los hidrocarburos de rango medio, aceites lubricantes y aceites usados (ERO). Las mezclas de gasolina y diesel se deben comparar con los LGBRs predeterminados de GRO.

2.5.1.2 *Compuestos Claves*

La Tabla 2-4 presenta los LGBRs calculados para Colombia para suelos y agua subterránea, específicos para los usos de suelo comercial/industrial y residencial/agricultura (suelo) o uso potable/no potable (agua) para los compuestos claves: BTEX, PAHs cancerígenos, naftaleno (representativo de PAHs no cancerígenos), y plomo.

Para el uso de la Tabla 2-4, se tiene que definir el uso del agua y del suelo para saber cuales valores de LGBR a utilizar. El uso del agua se define con base en la clasificación de agua subterránea presentada anteriormente en esta sección. El uso del suelo se define según el P.O.T. aplicable para la zona donde se ubica el sitio.

Estos valores representan niveles protectores de la salud humana, en el caso de contacto directo con estos compuestos y la migración a aguas subterráneas de los mismos.

Los LGBR para los compuestos claves se desarrollaron con base en suposiciones predeterminadas bastante conservadoras (altamente protectoras) de exposición: un riesgo de cáncer de 1×10^5 y un coeficiente de peligro (CP) no cancerígeno de 1.

Las ecuaciones y parámetros predeterminados utilizados para calcular los LGBRs para los compuestos claves se presentan en el Apéndice 2. Cabe anotar que algunos de los métodos analíticos recomendados en este manual (Tabla 2-1) para el análisis de estos compuestos tienen límites de cuantificación práctica (LCP) por encima de los LGBRs (por ejemplo LGBRs para PAHs cancerígenos en agua). En estos casos, es apropiado utilizar el LCP como el límite para la evaluación de riesgo Nivel 1.

Es importante aclarar que en los casos en que cuando las concentraciones de un compuesto dado son muy bajas o no detectables, el LD es igual al LCP. Pero en los casos en que las concentraciones en las muestras son demasiado elevadas, el LD excede el LCP. En estos casos es necesario determinar con el laboratorio cual es el LCP para el compuesto analizado y el método analítico utilizado.

La Tabla 2-4 presenta los LGBRs clasificados por el uso del suelo que se determina según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) aplicable para cada sitio y por el medio impactado (agua subterránea y suelo).

Impacto al suelo

Si el modelo conceptual del sitio indica que hay una vía de exposición completa desde el suelo hasta un receptor identificado, los resultados analíticos de la evaluación ambiental para suelo deben compararse con el valor aplicable de los LGBRs para saturación del suelo y contacto directo:

- Saturación de suelo: concentración mínima del compuesto a la cual se comienza a formar como fase libre. No está determinada para todos los constituyentes. Existen casos donde el LGBR para un CDI excede la concentración de saturación, lo cual indica que puede existir producto libre a concentraciones que no presentan un riesgo inaceptable para la salud humana.
- Contacto directo: Concentración mínima de cada compuesto a partir de la cual puede haber efectos nocivos para un receptor que tenga contacto directo con el suelo asumiendo unas condiciones de exposición predeterminadas, altamente conservadoras (protectoras de la salud humana).

Si el modelo conceptual del sitio indica que hay una vía de exposición completa desde el agua subterránea hasta un receptor identificado, los resultados analíticos de la evaluación ambiental para suelo deben compararse con el valor mínimo de los LGBRs para migración a agua subterránea:

- Migración a agua subterránea: Concentración mínima de cada compuesto a partir de la cual puede haber concentraciones del compuesto en agua subterránea originadas por lixiviación, que exceden los LGBRs protectores del agua subterránea, descritos más adelante.

Impacto al agua subterránea

Si el modelo conceptual del sitio indica que hay una vía de exposición completa desde el agua subterránea hasta un receptor identificado, los resultados analíticos de la evaluación ambiental para agua deben compararse con el valor desarrollado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En caso de que los valores del OMS no estén disponibles para un compuesto, los resultados analíticos se deben comparar con el valor aplicable de los siguiente LGBRs para agua subterránea:

- Solubilidad: Es la concentración mínima de cada compuesto en el agua subterránea a la cual se comienza a formar como fase libre. Estos límites de solubilidad fueron establecidos en laboratorio y no tienen en cuenta las variables específicas de cada sitio (clima, tipo de suelo, calidad del agua subterránea, etc). Existen casos donde el LGBR para un CDI excede el límite de solubilidad, lo cual indica que puede existir producto libre a concentraciones que no presentan un riesgo inaceptable para la salud humana.
- MCL (Maximum Contaminant Level): Concentración máxima en agua permitida por la USEPA para una lista de compuestos de alto riesgo, a partir de la cual puede haber efectos nocivos a un receptor que tenga contacto directo con el agua. Este se mide desde el punto de exposición, o sea donde el receptor sensible se encuentra con el impacto.
- Uso del agua subterránea: Concentración mínima en agua a partir de la cual puede haber efectos nocivos a un receptor de acuerdo con el uso del suelo, independientemente del uso del agua subterránea.

2.5.1.3 Determinación del riesgo

Para la determinación del riesgo se deben considerarse los siguientes escenarios:

- Si las concentraciones de los TPH y/o compuestos claves, obtenidas en las muestras tomadas durante la Evaluación Ambiental del sitio en los 5 pozos de monitoreo se encuentran por debajo de los LGBRs, no se requiere ninguna acción adicional en el sitio.

- Si las concentraciones de los TPH y/o compuestos claves en los cuatro pozos de monitoreo perimetrales están por debajo de los LGBRs, pero las concentraciones en el pozo central están por encima de los LGBRs, la concentración de cada elemento a ser comparada con los LGBRs consistirá en el promedio aritmético más una desviación estándar de las concentraciones en los 5 puntos. En caso de haber resultados no detectables (ND) esa concentración se debe representar como la mitad del LD para ese compuesto (LD/2).
- Si cualquiera de las concentraciones de los TPH y/o compuestos claves en los 4 pozos perimetrales está por encima del valor de los LGBR, se deben realizar perforaciones adicionales, aumentando la distancia al pozo central, siguiendo los ejes de cada pozo perforado hasta que todas las concentraciones de TPH y/o compuestos claves estén por debajo de los LGBRs.

Una vez el perímetro se haya delimitado, se recalculan las concentraciones a comparar con los LGBRs usando el promedio aritmético más una desviación estándar de las concentraciones de todos los puntos. Si los valores recalculados de las concentraciones están por debajo de los LGBRs, no se requiere acción adicional en el sitio. Si alguna de las concentraciones recalculadas está por encima de su respectivo LGBR, el sitio debe pasar al Nivel 2 de análisis de riesgo o a remediación, según sea la decisión del Ejecutor del plan de acción.

2.5.1.4 *Plomo*

Con base en la historia del uso de plomo como aditivo para derivados del petróleo en Colombia, el análisis de riesgo asociado al plomo se limitará a los siguientes criterios:

- El plomo se tendrá en cuenta para sitios que almacenaban, manejaban o comercializaban productos de hidrocarburos antes del año 1991; o
- Sitios que se encuentren en zonas de frontera.

Plomo en Suelo

- Los LGBRs para plomo en suelos residenciales/agrícolas están basados en el modelo de exposición integrado de consumo bio-cinético (IEUBK). El modelo IEUBK se usa para calcular niveles de plomo en suelos que estiman una probabilidad menor de 5% de que

un joven tendrá un nivel de plomo en la sangre por encima de 10 ug/dL (microgramos por decilitro). En áreas residenciales (donde se supone que habrá jóvenes) y agrícolas (donde se supone que habrá alimentos para consumo humano), el LGBR es de 400 mg/kg.

- En áreas industriales, se usa un modelo alternativo para estimar los niveles de plomo existentes en la sangre del feto de una mujer embarazada expuesta. Esto corresponde a un LGBR de 750 mg/kg.
- El LGBR que corresponde a la migración de plomo desde el suelo hasta el agua subterránea supone que ésta se utilizará como fuente de agua potable y se basa en el estándar de agua potable y en los resultados de pruebas de lixiviación de plomo en suelo (ODEQ, 2003).

Plomo en agua subterránea

El Estándar Nacional de Estados Unidos para Plomo en el Agua Potable es de 15ug/L. Aunque este no es un estándar basado en riesgo, es aceptado como protector a la exposición por agua potable en adultos y jóvenes (ODEQ, 2003).

2.5.2 *Puntos Calientes*

Cualquier muestra con concentraciones de 10 a 100 veces por encima del LGBR aplicable se debe tratar como un “punto caliente”, aun si el valor del promedio aritmético más una desviación estándar está por debajo de los LGBRs aplicables.

Los puntos calientes deben ser remediados o evaluados en más detalle en el Nivel 2, de acuerdo con la decisión del Ejecutor del plan de acción.

Además de cumplir con los valores de los LGBR, un sitio debe cumplir con los siguientes criterios estéticos, antes de que se pueda tomar la decisión de no realizar ninguna acción correctiva en el sitio:

- Minimizar las manchas u olores desagradables provenientes del suelo.
- No debe haber ningún sabor u olor desagradable en el agua subterránea potable.

2.5.3 *Ejemplo de un Análisis de Riesgos*

Un ejemplo de un análisis de riesgos se incluye en el Apéndice 3. Lo mismo se debe consultar como un manual de cómo ejecutar y revisar análisis de riesgos.

Tabla 2-4: Límites de Referencia para la Comparación de Sitios Impactados por Hidrocarburos

Límites Genéricos Basados en Riesgos (LGBRs) para Constituyentes de Interés

CDI de Petróleo	Exposición a Suelo Industrial/Comercial			Exposición a Agua Subterránea/Superficial No Potable		
	Saturación de Suelo (mg/Kg)	Contacto Directo (mg/Kg)	Migración a Agua Subterránea (mg/Kg)	Solubilidad (mg/L)	MCL (mg/L)	No Potable (mg/L)
TPH						
GRO		1.0 E+03	3.3 E+02			4.0 E+00
DRO/ERO		5.6 E+03	9.9 E+02			2.4 E+00
BTEX						
Benceno	5.9E+02	2.5E+02	3.5 E-01* c	1.8E+03	5.0E-03	5.2 E-02 c
Tolueno	3.1E+02	1.6E+04	1.0 E+02*	5.3E+02	1.0E+00	8.2E+00
Etilbenceno	1.6E+02	6.8E+03	2.0 E+02*	1.7E+02	7.0E-01	1.0E+01
Xilenos (mezclados)	1.7E+02	8.8E+02	4.3 E+02*	1.6E+02	1.0E+01	2.0E+01
PAHs Cancerígenos						
Benzo(a)antraceno		1.5 E+01 c	1.1 E+02 c	9.4E-03		7.0 E-03 c***
Benzo(a)pireno		1.5 E+00 c	2.9 E+01 c	1.6E-03	2.0E-04	7.0 E-04 c***
Benzo(b)fluoranteno		1.5 E+01 c	3.4 E+02 c	1.5E-03		7.0 E-03 c***
Benzo(k)fluoranteno		1.5 E+02 c	3.4 E+03 c	8.0E-04		7.0 E-02 c***
Criseno		1.5 E+03 c	1.1 E+04 c	1.6E-03		7.0 E-01 c***
Dibenz(a,h)antraceno		1.5 E+00 c	1.1 E+02 c	2.5E-03		7.0 E-04 c***
Indeno(1,2,3-cd)pireno		1.5 E+01 c	9.7 E+02 c	2.2E-05		7.0 E-03 c***
PAHs No Cancerígenos						
Naftaleno		8.0E+03	1.7E+02	3.1E+01		2.0E+00
Aditivos de Combustible						
Plomo		7.5 E+02 a	3.0 E+01 a		1.5 E-02 a	1.5 E-02 a

CDI de Petróleo	Exposición a Suelo Residencial/Agrícola			Exposición a Agua Subterránea/Superficial Potable		
	Saturación de Suelo (mg/Kg)	Contacto Directo (mg/Kg)	Migración a Agua Subterránea (mg/Kg)	Solubilidad (mg/L)	MCL (mg/L)	Uso Como Agua Potable (mg/L)
TPH						
GRO		5.9 E+02	2.5 E+01			3.2 E-01
DRO/ERO		2.6 E+03	7.9 E+01			2.9 E-01
BTEX						
Benceno	5.9E+02	7.5 E+01 c	3.4 E-02** c	1.8E+03	5.0E-03	1.0 E-02 c**
Tolueno	3.1E+02	8.8E+03	1.2 E+01**	5.3E+02	1.0E+00	9.3E-01
Etilbenceno	1.6E+02	4.6E+03	1.3 E+01**	1.7E+02	7.0E-01	1.6E+00
Xilenos (mezclados)	1.7E+02	6.9E+02	2.1 E+02**	1.6E+02	1.0E+01	2.7E-01
PAHs Cancerígenos						
Benzo(a)antraceno		5.0 E+00 c	1.1 E+02 c	9.4E-03		7.0 E-03c***
Benzo(a)pireno		5.0 E-01 c	2.9 E+01 c	1.6E-03	2.0E-04	7.0 E-04c***
Benzo(b)fluoranteno		5.0 E+00 c	3.4 E+02 c	1.5E-03		7.0 E-03 c***
Benzo(k)fluoranteno		5.0 E+01 c	3.4 E+03 c	8.0E-04		7.0 E-02 c***
Criseno		5.0 E+02 c	1.1 E+04 c	1.6E-03		7.0 E-01 c***
Dibenz(a,h)antraceno		5.0 E-01 c	1.1 E+02 c	2.5E-03		7.0 E-04 c***
Indeno(1,2,3-cd)pireno		5.0 E+00 c	9.7 E+02 c	2.2E-05		7.0 E-03 c***
PAHs No Cancerígenos						
Naftaleno		3.2E+03	6.1E+01	3.1E+01		7.3E-01
Aditivos de Combustible						
Plomo		4.0 E+02 a	3.0 E+01 a		1.5 E-02 a	1.5 E-02 a

Fuente: IDEM, 2006, Tabla 4.1-1 Modificada

Notas:

c = cancerígeno

MCL = Nivel Máximo de Contaminante

mg/Kg. = miligramos por kilogramo

mg/L = miligramos por litro

a = revisa el texto para una explicación del desarrollo de los LGBRs para plomo

*Los valores de agua no potable se usaron para calcular migración a agua subterránea en áreas clasificadas como comercial/industrial.

**Los MCL (cuando disponible) publicados por la USEPA se usaron para calcular migración a agua subterránea en áreas clasificadas como residencial/agrícola.

***Estos valores se tomaron directamente de la Organización Mundial de la Salud. Estos valores se utilizan por defecto como el LGBR de ese compuesto.

3 *EVALUACIÓN NIVEL 2*

3.1 *INTRODUCCIÓN*

En los casos donde las concentraciones reportadas por el laboratorio durante la Evaluación Ambiental del Sitio o las recalculadas en el análisis del Nivel 1 estén por encima de los LGBRs, el Ejecutor del Plan de Acción podrá elegir si realiza una evaluación del Nivel 2 o si realiza una remediación.

Usualmente, el motivo de esta decisión se basa en una evaluación técnico-económica que estima si el costo proyectado de la remediación requerida para cumplir con los límites del Nivel 1 es mayor o menor que el costo de continuar con el análisis de riesgo y remediar a los límites propuestos en el Nivel 2.

El objetivo del Nivel 2 es calcular las Concentraciones Específicas para el Sitio (CCESs), incorporando para esto las condiciones específicas del sitio y de los hidrocarburos presentes.

Las CCESs generalmente son más altas que los LGBRs porque reemplazan las suposiciones genéricas y conservadoras con valores más reales y específicos al sitio, pero mantienen el mismo nivel de protección a la salud humana porque:

- El límite de riesgo cancerígeno aceptable se mantiene en 1×10^5 ; y
- El Coeficiente de Peligro (CP) no cancerígeno se mantiene en 1.0.

Para el cálculo de las CCESs en el Nivel 2 se deben seguir los siguientes pasos:

- 1- Establecer los CDIs para el Nivel 2.
 - Los CDIs del Nivel 2, son los compuestos analizados en el Nivel 1 cuyas concentraciones recalculadas exceden los LGBRs.
 - Los CDIs del nivel 2 pueden consistir en algunas fracciones de los TPH y/o son compuestos claves (tal como se definieron en el Nivel 1).

- Al ser los TPH una mezcla de muchos compuestos, en el Nivel 2, los TPH deben analizarse a través de métodos analíticos de fraccionamiento para obtener 13 fracciones específicas, las cuales tienen propiedades toxicológicas, químicas y físicas similares. Los compuestos claves no son una mezcla y por eso no requieren análisis adicionales para obtener información más específica.

2- Definir los medios impactados

En el Nivel 2, se enfocan las acciones adicionales únicamente en los medios en los que se determinaron concentraciones que excedían los LGBRs. Para estos medios, las acciones adicionales del Nivel 2 toman en cuenta también los procesos físicos que ocurren en estos medios durante la movilización de los CDIs y no sólo sus características químicas.

3- Verificar vías de exposición

Se verifica si las vías de exposición identificadas en el modelo conceptual del sitio son completas, es decir, si llegan hasta los receptores identificados.

3.2

CÁLCULO DE LAS CCESS PARA LOS TPH

El sistema desarrollado por el grupo TPHCWG divide los hidrocarburos en el ambiente en rangos, de acuerdo con el número de carbonos y características similares.

A su vez, los rangos se clasifican en dos categorías principales: compuestos alifáticos y compuestos aromáticos. Los compuestos aromáticos tienden a ser más solubles en agua y ligeramente menos volátiles que los compuestos alifáticos. La Tabla 3-1 presenta las fracciones divididas en grupos.

El TPHCWG subdividió los compuestos alifáticos y aromáticos en 13 fracciones con características específicas de lixiviación y de volatilidad.

Tabla 3-1: Fracciones de Petróleo de acuerdo con el TPHCWG

Número Equivalente de Carbono ¹
Fracciones Alifáticas
>5-6, >6-8
>8-10, >10-12, >12-16 y
>16-35
Fracciones Aromáticas
>5-7 (benceno)
>7-8 (tolueno)
>8-10, >10-12, >12-16
>16-21 y >21-35

Fuente:

TPHCWG Volumen 5, tabla 2 modificada.

Dosis de Referencia Protectoras de la Salud Humana

Es la dosis de un compuesto específico que puede ser ingerida o inhalada por un humano sin que se presenten efectos nocivos para la salud. Estas dosis han sido establecidas con base en estudios toxicológicos y se desarrollaron para cada fracción de TPH, teniendo en cuenta las propiedades del compuesto más tóxico en cada fracción.

Las dosis de referencia para cada fracción se presentan en la Tabla 3-2.

Las CCESs para las fracciones de los TPH se calculan utilizando la misma metodología que se aplicó para calcular los LGBRs para los rangos de gasolina y diesel en el Nivel 1. El Apéndice 1 contiene las ecuaciones y las variables que se utilizaron para desarrollar los LGBRs. Para el desarrollo de las CCESs se utilizan las mismas ecuaciones, reemplazando las dosis de referencia del rango de gasolina y diesel por las dosis de referencia de las fracciones.

Las CCESs se desarrollan para los CDIs del Nivel 2, el medio impactado y las vías de exposición completas, según el modelo conceptual del sitio.

3.2.1 *CCESs para TPH en agua subterránea*

Para el cálculo de las CCESs en agua subterránea se utiliza la ecuación del CP relacionado con el uso real del agua subterránea en el sitio. Teniendo en cuenta que el CP debe ser igual a 1.0, la CCES es igual a la concentración en agua subterránea calculada a partir del despeje de la ecuación.

En el caso que la CCES para una muestra exceda su límite de solubilidad, indica que se pueda formar producto libre, pero a concentraciones que no son riesgosas para la salud humana. Se debe controlar la formación de producto libre, se debe muestrear el producto libre para verificar si las concentraciones están por debajo o encima de las CCESs. En caso de que la concentración esté debajo de las CCESs pero existe producto libre, se considera que el producto libre tiene concentraciones de los CDIs que no presentan riesgo inaceptable para la salud humana.

3.2.2 *CCESs para fracciones de los TPH en suelo*

El cálculo de las CCES para las fracciones de los TPH en suelo se basa en la ecuación de lixiviación de suelos al agua subterránea (Apéndice 1). Dado que la concentración de los TPH que lixivie al agua subterránea debe ser igual o menor a la CCESs de TPH en el agua subterránea calculada anteriormente, ésta se usa como la variable de concentración de agua subterránea en la ecuación. La concentración en suelo resultante de la ecuación es igual al CCESs en suelo.

Es importante anotar que las CCESs desarrollados para las fracciones de los TPH en suelos pueden exceder el límite de saturación teórica para esas fracciones (ver Tabla 2-4 para límites de saturación). En este caso, existe la posibilidad que el producto libre se forme, pero a concentraciones que no presentan un riesgo inaceptable para receptores humanos.

3.2.3 *Análisis de laboratorio para determinar las fracciones de TPH*

La siguiente sección recomienda análisis que no estaban disponibles en Colombia cuando se desarrolló este manual. Actualmente los análisis de fracciones alifáticas y aromáticas se pueden hacer en algunos laboratorios en Norteamérica, Europa y otros países fuera de Latinoamérica. Cabe anotar que este análisis se presenta como una opción para una evaluación Nivel 2 y no es obligatorio para completar un análisis de riesgos. Incluir fracciones alifáticas y aromáticas de TPH como una opción en este manual presenta la oportunidad para los laboratorios de Colombia a desarrollar esta tecnología que es valiosa para la evaluación ambiental de un sitio impactado por hidrocarburos.

Los otros análisis presentados en este manual se pueden ejecutar actualmente por laboratorios Colombianos.

Las muestras cuyas concentraciones recalculadas de TPH en el Nivel 1 excedieron los LGBRs, debe ser analizadas nuevamente utilizando el método mas actualizado que provee las fracciones presentadas en la Tabla 3-1. En el momento que se publicó este manual, opciones de métodos para el análisis de fracciones incluyen:

- El método de TPH Working Group, el mas recomendado por ser los análisis del TPHCWG;
- TDEQ método 1006 del estado de Texas en Estados Unidos; o
- VPH/EPH (hidrocarburos de petróleo volátiles (VPH) e hidrocarburos de petróleo extraíbles (EPH)).

Los métodos recomendados:

- Presentan una mejor recuperación de hidrocarburos livianos; y
- Presentan una mejor recuperación de hidrocarburos aromáticas más pesados.

El laboratorio debe reportar los resultados en las mismas fracciones indicadas en la Tabla 3-1.

Tabla 3-2: Datos de fracciones específicas

Fracción de Hidrocarburo	Sustituto	Dosis de Referencia Oral (mg/kg-día)	Dosis de Referencia de Inhalación (mg/kg-día)	Método Analítico
<u>Alifática</u>				
EC>5-6	Ciclohexano	1.7	1.7	VPH
EC>6-8	Ciclohexano	1.7	1.7	VPH
EC>8-10	JP-8*	0.03	0.085	VPH/EPH
EC>10-12	JP-8*	0.03	0.085	VPH/EPH
EC>12-16	JP-8*	0.03	0.085	EPH
EC>16-21	Aceite Blanco Mineral	2.0	Ninguno	EPH
EC>21-36	Aceite Blanco Mineral	2.0	Ninguno	EPH
<u>Aromática</u>				
EC>8-10	Naftaleno	0.02	0.02	VPH
EC>10-12	Naftaleno	0.02	0.02	VPH/EPH
EC>12-16	Naftaleno	0.02	0.02	EPH
EC>16-21	Pireno	0.03	Ninguna	EPH
EC>21-36	Pireno	0.03	Ninguna	EPH

*Combustible de jet
Fuente: IDEM, 2006.

3.3 *CALCULO DE LAS CCESS PARA COMPUESTOS CLAVES*

Las CCESS para compuestos claves (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenz(a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, y plomo) pueden ser calculadas usando las ecuaciones presentadas en el Apéndice 2, que fueron utilizadas para el cálculo de los LGBRs de los compuestos claves en el Nivel 1, pero utilizando las variables específicas del sitio, como se presenta a continuación.

3.3.1 *Ajustes Específicos al Sitio para el Cálculo de las CCESS para compuestos claves*

Las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de las CCESS para compuestos claves se pueden ajustar para analizar los riesgos actuales del sitio. Los ajustes que se permiten en esta sección se deben realizar a partir del uso de los siguientes modelos/ecuaciones:

- Modelo de Partición de Suelo a Agua Subterránea; y
- Limite de Saturación del Suelo.

El modelo de partición del suelo se utiliza para calcular la lixiviación de compuestos detectados en suelo a agua subterránea y reemplaza la ecuación (Apéndice 2) que se utilizó para desarrollar los LGBRs del Nivel 1 incluidos en la Tabla 2-4. La utilidad de realizar este modelo es que permite el uso de parámetros específicos al sitio en vez de parámetros predeterminados.

La ecuación para el límite de saturación del suelo que se presente a continuación permite el uso de parámetros específicos al sitio en vez del límite de saturación del suelo predeterminado en la Tabla 2-4.

3.3.1.1 *Modelo de Partición de Suelo al Agua Subterránea*

Con el objeto de evaluar la lixiviación de compuestos claves del suelo al agua subterránea, se utiliza un Modelo de Partición al Agua Subterránea. En este modelo se consideran procesos como la Atenuación y Dilución, los cuales disminuyen la concentración de un compuesto en el agua subterránea y el Coeficiente de Partición del suelo al agua subterránea, que estima la probabilidad que tiene ese compuesto de lixiviar.

Factores de Atenuación y Dilución (FAD)

Los factores de Atenuación y Dilución pueden ser establecidos de las siguientes maneras:

- Factores de Atenuación y Dilución (FAD) predeterminados. La siguiente tabla presenta los FAD que se han estimado para fuentes de diferentes extensiones, asumiendo que las propiedades acuíferas son homogéneas e isotrópicas (basado en la EPA Guía de Investigación de Suelo: Documento Técnico de Soporte, 1996).

Factores de Atenuación y de Dilución

Tamaño de Fuente	FAD
1000 m ² o menos	30
>1000 m ² a 2025 m ²	20
> 2025 m ² a 125,000 m ²	10

- Calcular un factor de dilución específico al sitio, utilizando información de conductividad hidráulica del acuífero, gradiente hidráulico, tasa de infiltración, profundidad de la zona de mezcla, longitud de la fuente en la dirección del flujo del agua subterránea, y el espesor de acuífero.

Ecuación del Factor de Dilución

$$\text{Factor de Dilución} = 1 + \frac{Kid}{IL}$$

Dónde:

$$d = (0.0112L^2)^{0.5} + d_a \left(1 - \exp \left\{ \frac{(-LI)}{(Kid_a)} \right\} \right)$$

Y donde:

- K = Conductividad Hidráulica del acuífero (m/año)
- i = Pendiente Hidráulica (m/m)
- I = Tasa de Infiltración m/año (tasa de recarga m/año)
- d = Profundidad de la zona de mezcla (metros)

L = longitud de la fuente en la dirección del flujo de agua subterránea
 d_a = espesor de acuífero (metros)

• **K**, la conductividad hidráulica, se debe estimar a través de alguno de los siguientes procedimientos:

- realizar por lo menos tres pruebas de 'slug';
- hacer un análisis de tamaño de grano del suelo;
- utilizar fuentes de información hidrogeológica publicada;
- ejecutar pruebas del acuífero; y/o
- calcular la velocidad del movimiento del compuesto.

• **i**, La pendiente hidráulica se debe estimar a partir de por lo menos tres pozos de agua subterránea (o piezómetros), considerando fluctuaciones de temporada, etc.

• d_a , el espesor de acuífero, se debe basar en la mejor información disponible y siempre debe estar acompañado de una búsqueda regional lo más completa posible de información litológica de pozos de agua existentes que debe incluir profundidades de pozos y su relación con el espesor del acuífero.

• **I**, la tasa de la infiltración o la tasa de recarga, se debe basar en pruebas de campo o en información disponible publicada.

• **L**, la longitud de la fuente en la dirección del agua subterránea, se determina a través de las mediciones de campo.

Coefficiente de Partición de Suelo a Agua Subterránea

El Coeficiente de Partición de Suelo a Agua Subterránea (K_d) puede ser establecido de las siguientes maneras:

- Utilizar los valores publicados en la Tabla A2-3 del Apéndice 2, utilizados para el cálculo de los LGBRs del Nivel 1. Cabe anotar que el K_d para compuestos orgánicos se calcula multiplicando el K_{oc} por la Fracción de Carbono Orgánico en suelo (f_{oc}), incluidos en la Tabla A2-3 del Apéndice 2.

- Realizar un análisis de laboratorio utilizando el Procedimiento de Lixiviación de Precipitación Sintética (SPLP), a través del método EPA SW-846 Método 1312, u otros métodos analíticos apropiados para predecir de manera precisa la lixiviación específica del suelo a las aguas subterráneas. El factor de lixiviación específico del sitio reemplaza al coeficiente de partición de suelo a agua subterránea (K_d) en el Modelo de Partición de Suelo a Agua Subterránea.

Fracción de Carbono Orgánico en suelo (foc)

La Fracción de Carbono Orgánico en suelo, indica la cantidad de carbono orgánico existente naturalmente en el suelo y se expresa como la cantidad de carbono orgánico sobre la cantidad de suelo. Existe un valor predeterminado para esta variable (detallado en la descripción de la ecuación abajo), basado en la Guía de Investigación de Suelo: Documento Técnico de Soporte, 1996, de la EPA.

Ya que el Modelo de Partición de Suelo a Agua Subterránea es especialmente sensible a la foc, éste puede ser analizado en el laboratorio para proveer un valor específico para el sitio. Lo mismo se puede hacer para hallar la Porosidad del Suelo y la Densidad del Suelo Seco.

El método de análisis de laboratorio para analizar la foc debe tener un límite de detección del 0,1 % o menos para carbono orgánico ya que el modelo de partición de suelo a agua subterránea no es válido para suelos que contengan menos del 0,1 % de materia orgánica.

A continuación se presentan algunas referencias de métodos analíticos para la determinación de la foc. Algunos se aplican a condiciones específicas, como sedimentos glaciales:

- Allen-Rey, R. M., y otros. 1997. "Organic Carbon Dominated Trichlorethene Sorption in a Clay-Rich Glacial Deposit." *Groundwater Journal*. Volumen 35. Número 1. Páginas 124 a 130.
- La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (1995). "Documento D2974, Método C."
- Nelson, D. W., y Sommers, L. E. 1982 Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter." In *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Second Edition. A.L. Page, editor. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. Volumen 9. Número 2. Páginas 539 a 579.

Porosidad del Suelo, Densidad del Suelo Seco

Existen valores predeterminados para estas variables (detalladas en la descripción de la ecuación abajo), basados en la Guía de Investigación de Suelo: Documento Técnico de Soporte, 1996, de la EPA.

Se puede analizar muestras de suelo para obtener valores más específicos al sitio para estas variables. El muestreo para estos parámetros se debe realizar en áreas impactadas. Puede ser necesaria más de una muestra por perforación para caracterizar completamente el suelo y los resultados deben ser usados para calcular un promedio para el sitio. A continuación se presentan algunas referencias de métodos analíticos para la determinación de la densidad del suelo seco y porosidad:

- La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. 1996. "ASTM D2937." Libro anual de Estándares de ASTM. Volumen 4,08. *Soil and Rock Building Stones*. Philadelphia, Pennsylvania.
- Klute, A. (editor). 1986. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Second Edition. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

También se puede obtener valores mas específicos al sitio usando información de literatura disponible. Varios estudios de las propiedades físicas e hidrológicas de diferentes tipos de suelo están disponibles. Algunas referencias que incluyen esta información incluye Freeze and Cherry 1979, Rawls and Brakensiek 1985, Carsel and Parrish 1988 y Maidment 1993. También se puede buscar estudios regionales con información hidrológica de suelos locales.

Ecuación para calcular el Modelo de Partición de Suelo al Agua Subterránea

Una vez establecidos los valores del Factor de Dilución y el Coeficiente de Partición de Suelo al Agua Subterránea, se calcula las CCESs para la lixiviación del suelo al agua subterránea de compuestos claves, utilizando el Modelo de Partición que se detalla a continuación:

$$CCES = CCES_w \times FAD \times K_{sw}$$

y:

$$K_{sw} = \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a H'}{\rho_b} \right]$$

Dónde:

CCES = Concentraciones Calculadas específicas para el sitio

CCES_w = Concentración específica para agua subterránea en el sitio (miligramos por litro)

FAD = Factor de atenuación y de dilución

FD = El factor de dilución que puede reemplazar el FAD

K_d = Concentración de carbono orgánico en el agua dentro de los poros del suelo

Para compuestos orgánicos, K_d es igual a K_{oc} x f_{oc} donde:

K_{oc} = Coeficiente de Partición de Carbono orgánico de suelo al agua subterránea (específico al compuesto en litros/kg de suelo)

f_{oc} = fracción de carbono orgánico del suelo (en suelo subterráneo = 0,002 predeterminado)

K_{sw} = Coeficiente de partición del Suelo al agua subterránea

θ_w = Porosidad del suelo lleno de agua (0,3 L agua/Kg suelo predeterminado)

θ_a = Porosidad del suelo lleno de aire (0,13 L aire/Kg suelo predeterminado)

H' = Constante de la Ley de Henry (específica al químico, sin dimensión)

ρ_b = Densidad de suelo seco (1,5 kg/L predeterminado)

3.3.1.2

Límite de saturación del suelo

Igual que con los TPH, las CCES desarrolladas para los compuestos claves en suelos no pueden exceder el límite de saturación para estos compuestos y se deben ajustar para igualar el límite de saturación.

Sin embargo, si el límite de saturación teórica es el valor que está definiendo las CCESs de los compuestos claves en el suelo, es recomendable calcular un valor más representativo de las condiciones actuales del sitio, a través de la ecuación del límite de saturación del suelo.

El límite de la saturación del suelo (C_{sat}) corresponde a la concentración del compuesto en el suelo cuando los siguientes límites se han alcanzado:

- (1) los límites de adsorción de las partículas de suelo;
- (2) los límites de la solubilidad del compuesto en el agua en los poros de suelo; y
- (3) la saturación del compuesto en el aire de los poros del suelo.

Cuando las concentraciones del compuesto exceden el límite de saturación del suelo, estos pueden estar presentes como producto libre. Para ajustar el límite de saturación se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Densidad del suelo seco
- Fracción de carbono orgánico del suelo (foc)
- Porosidad del suelo lleno de agua
- Porosidad del suelo lleno de aire
- Densidad de las partículas del suelo.

Ecuación del Límite de Saturación del Suelo

$$C_{sat} = \frac{S}{\rho_b} (K_d \rho_b + \theta_w + H' \theta_a)$$

Dónde:

C_{sat} = Es el límite de la saturación del suelo (específico para cada compuesto, mg/kg)

ρ_b = Densidad del suelo seco (1,5 Kg /lt, predeterminado)

K_d = coeficiente de partición del suelo al agua subterránea, lt/kg, donde:

K_d = $K_{oc} \times foc$ (para compuestos orgánicos)

K_{oc} = coeficiente de partición de carbón orgánico en suelo (específico para cada compuesto, lt/kg)

- foc = Fracción de carbón orgánico (para suelo superficial, 0,006 gr/gr, predeterminada)
- θ_w = Porosidad del suelo lleno de agua (0,15 Lt agua/Lt suelo, predeterminada)
- θ_a = Porosidad del suelo lleno de aire (2w Lt aire/ Lt suelo, predeterminada)
- S = solubilidad en agua (específico para cada compuesto en mg/Lt de agua)
- H' = Constante de la Ley de Henry (sin dimensión)

3.3.2 *Ajustes a las Vías de Exposición*

3.3.2.1 *Modelo de Exposición*

Durante la evaluación específica del sitio, pueden eliminarse las vías de exposición a través de controles apropiados, por ejemplo:

- Vías de contacto directo al subsuelo, si una superficie de asfalto u otra barrera previene efectivamente el contacto directo con el medio impactado;
- Vías de ingestión de aguas subterráneas, si se controla el uso de pozos que aprovechen los acuíferos superficiales impactados; y/o
- Vías de exposición por el uso del suelo, si se limita el uso del predio a un uso industrial o comercial.

Los criterios de evaluación para determinar si una vía fue eliminada incluyen lo siguientes:

- Evidencia de la exposición actual;
- Potencial de una exposición futura;
- Eficacia de controles; y/o
- Eficacia general de la remediación.

Los factores de exposición específicos tales como la rata de ingestión, área dérmica de contacto, la duración de la exposición, entre otros no serán ajustados con información específica del sitio para el cálculo de las CCES durante la evaluación del Nivel 2. Estos ajustes se pueden considerar en una evaluación Nivel 3.

En lugar de esto, en el Nivel 2 puede ser necesario considerar vías de exposición adicionales que no fueron evaluadas en el Nivel 1. Un ejemplo de una vía de exposición se da en la agricultura, en la cual las poblaciones humanas están expuestas a los productos cultivados o al ganado, (frutas, vegetales, leche y carne) además del contacto directo con el suelo y el agua subterránea. Otro ejemplo puede ser la pesca a través de la cual, las poblaciones humanas consumen pescado capturado en cuerpos de agua impactados.

Cuando se establece que el sitio se encuentra en un área agrícola, los ejecutores del plan de acción pueden analizar el riesgo de las siguientes formas:

- Evaluar el sitio como si estuviera en una zona residencial, utilizando el contacto directo con el suelo y el uso potable del agua subterránea para calcular las CCESs de un receptor agrícola; o
- Evaluar el consumo de productos agrícolas o de pesca, siguiendo los procesos establecidos en las siguientes fuentes:
 - Departamento de Energía de Estados Unidos, Sistema de Información de Evaluación de Riesgo (RAIS) en http://risk.lsd.ornl.gov/prg/prg_ag_lu.shtml
 - Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Protocolo de Evaluación del Riesgo Final en la Salud Humana por Residuos Peligrosos de la Combustión en Instalaciones (HHRAP) en <http://www.epa.gov/combustion/risk.htm>
 - Guías para la Evaluación y el Manejo de sitios contaminados con Hidrocarburos en Nueva Zelanda (1999). <http://www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/oil-guide-jun99/>

3.4 *TOMA DE DECISIONES- NIVEL 2*

Si las concentraciones recalculadas están por debajo de las CCES, no se requiere de ninguna acción adicional en el sitio, excepto de un monitoreo periódico del agua subterránea (si aplica) por un periodo determinado de tiempo.

Si las concentraciones recalculadas están por encima de las CCES aplicables para uno o más CDIs, se procederá a evaluar los costos de las medidas

correctivas para cumplir con las CCEs aplicables. Si la acción correctiva no se considera costo-efectiva en este paso, el sitio deberá ser evaluado adicionalmente en el Nivel 3.

Aun si la decisión es proceder a una evaluación de Nivel 3, se podría requerir alguna acción correctiva provisional (ej. tratamiento de puntos calientes, controles apropiados, etc.) a juicio del ejecutor del Plan de Acción. Sin embargo, la Autoridad Ambiental puede, usando el principio de precaución, establecer acciones correctivas provisionales.

La evaluación de Nivel 3, se enfoca únicamente en los CDIs que exceden los CCESs establecidos en el Nivel 2, en los medios impactados y en las vías de exposición completas identificadas.

Una Evaluación de Nivel 3 puede comprender los siguientes aspectos:

- El uso de métodos analíticos más rigurosos para bajar los límites de detección;
- Ejecución y Calibración de modelos con datos medidos en el sitio;
- Verificación de modelos de exposición, recolectando datos en el sitio;
- Modificación de los criterios de toxicidad para compuestos no cancerígenos, cambiando los parámetros predeterminados en las ecuaciones de toxicidad por valores justificables con bases técnicas.

Una descripción más amplia de cada uno de estos aspectos se puede encontrar en las siguientes referencias:

- Ecology and Environment (E & E), Inc. 2002. *Development of an Interim Policy on Assessment of Petroleum Hydrocarbon Contamination under Indiana Department of Environmental Management (IDEM) Risk-Integrated System of Closure (RISC) Program*. Chicago, Illinois.
- New Zealand Ministry for the Environment. 1999. *Guidelines for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon Contaminated Sites in New Zealand, Users' Guide*. ISBN 0-478-09065-X. Wellington, New Zealand. August 1999. <http://www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/oil-guide-jun99/>
- United Kingdom Environment Agency. 2003. *Principles for Evaluating the Human Health Risks from Petroleum Hydrocarbons in Soil: A Consultation Paper*. R&D Technical Report P5-080/TR1. ISBN 1-84432-0162. Almondsbury, Bristol. June 2003. http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/petroleum_hydrocarbons1.pdf

4.2

USO DE NIVEL 3

El objetivo del Nivel 3 es utilizar herramientas técnicamente justificadas para realizar una evaluación menos conservadora del sitio, reemplazando los valores predeterminados de los Niveles 1 y 2 por valores más representativos de las condiciones reales del sitio. Por lo tanto, el alcance del Nivel 3 no se restringe a métodos o ecuaciones definidas en este Manual Técnico.

La sección del Nivel 3 recomienda varios cambios que se pueden desarrollar como parte del análisis de riesgos, pero el propósito del Nivel 3 es proveerle al ejecutor del plan de acción la oportunidad de utilizar todos los modelos, ecuaciones, métodos analíticos de laboratorio y valores/estadísticas documentadas y justificadas en la literatura para analizar el riesgo real del sitio. El Nivel 3 es flexible para utilizar todas las herramientas disponibles para evaluar el riesgo, siempre y cuando sean justificables y la Autoridad Ambiental de un concepto positivo a su uso.

El informe del Nivel 3 tiene que proveer copias de todas las referencias y todos los cálculos que se utilizaron para llevar a cabo el análisis. El informe debe contener suficiente información para que el mismo lector pueda reproducir los resultados del análisis.

El Ejecutor del Plan de Acción debe comunicar a la Autoridad Ambiental, para obtener su concepto positivo o negativo, las variaciones en los procesos predeterminados en los Niveles 1 y 2.

La comunicación que se entregue a la Autoridad Ambiental debe incluir todos los estudios, estadísticas, informes y referencias que apoyen las variaciones propuestas.

La Autoridad Ambiental podrá dar un concepto negativo a las variaciones propuestos por el Ejecutor del Plan de Acción cuando:

- No se suministre la justificación técnica adecuada;
- No se compruebe la aceptación de la variación a un nivel internacional; o
- No se haga referencia a la utilización de la variación en otro análisis de riesgos aceptado.

En tal caso, la Autoridad Ambiental le comunicará, mediante un acto motivado al Ejecutor del Plan de Acción, las razones por las cuales las variaciones fueron rechazadas. En caso contrario, la Autoridad Ambiental le comunicará al Ejecutor del Plan de Acción mediante acto motivado, la aceptación de las variaciones propuestas.

4.3 *AJUSTES RECOMENDADOS PARA UN ESTUDIO NIVEL 3*

4.3.1 *Disminución de los valores del Límite de Detección y análisis químicos avanzados*

Si los límites de detección son elevados debido a la interferencia de la matriz o por algún proceso del laboratorio, las concentraciones recalculadas de la exposición pueden ser más altas que las concentraciones de exposición reales.

Por este motivo, se debe evaluar con el laboratorio analítico la posibilidad de bajar los límites de detección antes de la recolección de muestras adicionales.

Existen nuevos métodos analíticos avanzados para medir las fracciones de hidrocarburos, por ejemplo:

- Métodos para hidrocarburos volátiles del petróleo (VPH) e hidrocarburos extraíbles del petróleo (EPH) del Departamento de Protección Ambiental de Massachusetts (MADEP).
- " Método Directo," para el análisis de fracciones de TPH, desarrollado por el grupo TPHCWG.
- Métodos modificados de MADEP y TPHCWG.

Las diferencias en métodos de recolección de muestras, conservación y análisis de laboratorio pueden producir diferencias significativas en los resultados analíticos. En el Nivel 3, el Ejecutor del Plan de Acción puede identificar los métodos más apropiados para aplicar al sitio, considerando estas variables.

El análisis para fracciones de los TPH puede incluir también compuestos claves que pueden cuantificarse de forma individual. Se debe determinar con el laboratorio si las fracciones reportadas incluyen una o más concentraciones de compuestos claves y si éstas se podrían cuantificar

individualmente, restándolas de la fracción reportada para evitar una doble cuantificación.

4.3.2 *Ejecución de Modelos Numéricos/Analíticos*

Se pueden utilizar modelos numéricos y/o analíticos para estimar concentraciones actuales y/o predecir concentraciones en el futuro al que estará expuesto un receptor sensible. Los modelos son muy útiles para estimar concentraciones en un punto donde no se pueden tomar muestras para analizar las concentraciones actuales en ese punto, o para predecir las concentraciones en el futuro.

Estos modelos numéricos y analíticos se calibran utilizando información recolectada del sitio. Para cada modelo se establecen las metas de calibración para que los resultados del modelo se consideren adecuadamente precisos. Cada modelo tiene metas de calibración que se encuentran en la literatura relacionada con ese modelo.

4.3.3 *Ejecución y Calibración de modelos con datos medidos en campo*

El Ejecutor del Plan de Acción podrá medir directamente las concentraciones en el punto de exposición identificado en el modelo conceptual del sitio, en lugar de depender de modelos teóricos. Un ejemplo, es la realización de estudios de gas en suelo para evaluar la volatilización de compuestos en la zona no saturada del suelo, los cuales permiten reafirmar las estimaciones del riesgo y reducir la aproximación conservadora inherente al cálculo de los LGBRs en el Nivel 1 o de los CCEs del Nivel 2.

En los casos en que una Evaluación de Nivel 2 incluya la evaluación de una vía de exposición agrícola, se utilizan modelos para estimar las concentraciones de contaminación en plantas. En una Evaluación de Nivel 3 se puede considerar la medición directa de contaminantes en los productos de cosecha.

4.3.4 *Verificación de modelos de exposición, recolectando datos en el sitio*

El Ejecutor del Plan de Acción puede realizar medidas e investigaciones detalladas para perfeccionar los parámetros predeterminados en los cálculos de exposición (por ejemplo, edad del receptor, características físicas de los receptores, actividades en los puntos de exposición, factores de ingestión, entre otros.). Además, puede evaluar las probabilidades de un riesgo

identificado para darle prioridad a los escenarios más críticos y enfocar allí las acciones correctivas.

4.3.5 *Modificación de los criterios de toxicidad para compuestos no cancerígenos*

Las ecuaciones utilizadas para el desarrollo de los LGBRs asumen que los CDIs impactan a todos los órganos mediante todos los mecanismos posibles, como por ejemplo contacto directo, inhalación, ingestión, entre otros factores. Un toxicólogo calificado puede analizar los CDIs no cancerígenos para determinar si los efectos tóxicos están limitados a un solo órgano o si se presenta un solo mecanismo de afectación al organismo. En tal caso, el toxicólogo puede proponer ecuaciones que se enfoquen en ese órgano y en el mecanismo identificado.

4.3.6 *Modificación de los criterios de exposición para receptores identificados*

Las ecuaciones que se usaron para el desarrollo de los LGBRs utilizan valores predeterminados para el escenario de exposición. Los valores de peso de cuerpo, área superficial de piel expuesta, duración de exposición, frecuencia de exposición, etc. son predeterminados, usando un promedio para esos factores. Se puede utilizar literatura que contenga estadísticas de estos factores para un área local o regional. Estos valores se pueden utilizar cuando estén documentados y la Autoridad Ambiental de un concepto positivo para su uso.

4.3.7 *Otras técnicas avanzadas de evaluación del riesgo*

Los Ejecutores del Plan de Acción pueden consultar las siguientes fuentes para información adicional en cuanto a técnicas avanzadas de evaluación del riesgo que se pueden aplicar en una Evaluación de Nivel 3:

ASTM Standard: E1739-95(2002) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Disponible en: http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/REDLINE_PAGES/E1739.htm?L+mys-tore+osvg4120+1153431467

USEPA Risk Assessment Guidance. Disponible en: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/index.htm>

Se pueden aplicar otros manuales y guías apropiadas y literatura científica en una Evaluación de Nivel 3. Las fuentes para métodos de Nivel 3 se deben

mencionar dentro del informe, proporcionando la aplicación de esos métodos específicos al sitio.

4.4 *MONITOREO PARA CIERRE DEL CASO*

Una vez que los niveles de cierre de los TPH específicos al sitio se han determinado utilizando el análisis de fraccionamiento, el cumplimiento con las CCEs se pueden demostrar utilizando un análisis de los TPH GRO simple o ERO (SW-846-8015D). Se debe demostrar el cumplimiento con las CCEs para los compuestos claves, utilizando los métodos de análisis que se utilizaron en la Evaluación Ambiental del sitio.

Se debe cumplir con estos niveles durante 4 trimestres consecutivos. Similar a los métodos descritos en el Nivel 1, el cumplimiento con las CCEs será demostrado a través de los cálculos de la concentración de exposición representados por los resultados del promedio aritmético más dos desviaciones estándar de las concentraciones reportadas por el laboratorio para el sitio.

REFERENCIAS (REVISADAS Y/O CITADAS):

Alaska Department of Environmental Conservation. 2000. *Guidance for the Cleanup of Petroleum Contaminated Sites*. Division of Spill Prevention and Response. Contaminated Sites Remediation Program. September 2000.

American Petroleum Institute (API). 2001. *Risk-Based Methods for Evaluating Petroleum Hydrocarbon Impacts at Oil and Natural Gas E&P Sites*. Regulatory and Scientific Affairs Department. API Publication Number 4709. February 2001. <http://api-ep.api.org/publications/index.cfm?bitmask=002002000000000000>

ASTM International. 2002. E1739-95(2002) *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*. http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/REDLINE_PAGES/E1739.htm?L+mystore+osvg4120+1151444738#REFDOCS

ASTM International. 2006. D4700-96 (2006) *Standard Guide for Soil Sampling from the Vadose Zone*. http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/REDLINE_PAGES/D4700.htm?E+mystore

Atlantic Canada. 2003. *Atlantic Risk-Based Corrective Action (RBCA), Version 2.0, For Petroleum Impacted Site in Atlantic Canada, User Guidance* http://www.atlanticrbca.com/eng/ref_doc_v2.html

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2001. *Canada-Wide Standards for Petroleum Hydrocarbons (PHC) in Soil*. Endorsed by CCME Council of Ministers, April 30-May 1, 2001, Winnipeg. http://www.ccme.ca/ourwork/soil.html?category_id=43

Carsel, R.F. and R.S. Parrish. 1988. "Developing Joint Probability Distributions of Soil Water Retention Characteristics," *Water Resources Research* 24(5), p. 755-769.

Conservation of Clean Air and Agua in Europe (CONCAWE). 1996. *Environmental Risk Assessment of Petroleum Substances: The Hydrocarbon Block Method*. CONCAWE Report Number 96/52. Brussels. February 1996. http://ecb.jrc.it/Documents/Biocides/ENVIRONMENTAL_EMISSION_SC

[ENARIOS/ESD_Ref_Concawe_Ecology_Group.pdf](#)

Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control (DNREC). 2000. *Delaware Risk-Based Corrective Action Program (DERBCAP), Guide for Underground Storage Tanks (UST) Sites*. UST Branch, Delaware Document Number 40-09/99/10/01. January 2000.

http://www.dnrec.state.de.us/dnrec2000/divisions/awm/ust/tgm/d_cap/default.htm

Ecology and Environment (E & E), Inc. 2002. Development of an Interim Policy on Assessment of Petroleum Hydrocarbon Contamination under Indiana Department of Environmental Management (IDEM) Risk-Integrated System of Closure (RISC) Program. Chicago, Illinois.

Freeze, R.A. and J.A. Cherry. 1979, *Groundwater*. Prentice Hall, Inc., New York, USA.

Fundación Seguridad y Democracia. 2006. *La Seguridad en los Ultimos Tres Periodos Presidenciales 1994-2006*. Informe Especial.

Indiana Department of Environmental Management (IDEM). 2006. Risk-Integrated System of Closure (RISC) Program. Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) Closure Draft. Including RISC Users Guide, RISC Technical Guide and associated Appendices. January 2006.

<http://www.in.gov/idem/programs/land/risc/index.html>

Louisiana Department of Environmental Quality (LDEQ). 2003. *Risk Evaluation/Corrective Action Program (RECAP)*. Corrective Action Group.

<http://deq.louisiana.gov/portal/Default.aspx?tabid=1569>

Maidment, D.R., ed. 1993. *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, Inc. New York, New York, USA.

Massachusetts Department of Environmental Protection (MADEP). 2002. *Characterizing Risks Posed by Petroleum Contaminated Sites: Implementation of the MADEP VPH/EPH Approach*, Final Policy. Commonwealth of Massachusetts, Executive Office of Environmental Affairs. Policy #WSC-02-411. October 2002.

<http://mass.gov/dep/cleanup/laws/policies.htm#vph>

Montana Department of Environmental Quality. 2003. *Montana Tier 1 Risk-Based Corrective Action Guidance for Petroleum Releases* (October 2003) and

Revised Technical Guidance Document #7 (2006). Helena, Montana.
<http://www.deq.state.mt.us/REM/hwc/rbca/LinksTOC.asp>

Nebraska Department of Environmental Quality (NDEQ). 2004. Risk-Based Corrective Action (RBCA) at Petroleum Release Sites: Tier 1/Tier2 Assessment & Reports, Environmental Guidance Document. LUST/RA Section. Report Number 01-082. February 2004.
<http://www.deq.state.ne.us>

New Zealand Ministry for the Environment. 1999. *Guidelines for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon Contaminated Sites in New Zealand, Users' Guide*. ISBN 0-478-09065-X. Wellington, New Zealand. August 1999.
<http://www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/oil-guide-jun99/>

Oregon Department of Environmental Quality (ODEQ). 2003. *Risk-Based Decision Making for the Remediation of Petroleum-Contaminated Sites*. Land Quality Division, Environmental Cleanup and Tanks Program. September 2003. <http://www.deq.state.or.us/lq/pubs/docs/RBDMGuidance.pdf>

Prince Edward Island, Canada. 1999. *Petroleum Contaminated Site Remediation Guidelines*. Technology and Environment. www.gov.pe.ca

Rawls, W.J. and D.L. Brakensiek. 1985. "Prediction of Soil Water Properties for Hydrologic Modeling", en Proceedings of Symposium on Watershed Management, ASCE, p. 293-299, New York, USA.

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group (TPHCWG). 1999. Volume 5, *Human Health Risk-Based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing the Working Group Approach*. Amherst Scientific Publishers, Amherst, Massachusetts. ISBN 1-884-940-12-9.
<http://www.aehs.com/publications/catalog/contents/tph.htm>

United Kingdom Environment Agency. 2003. *Principles for Evaluating the Human Health Risks from Petroleum Hydrocarbons in Soil: A Consultation Paper*. R&D Technical Report P5-080/TR1. ISBN 1-84432-0162. Almondsbury, Bristol. June 2003. http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/petroleum_hydrocarbons1.pdf

United States Department of Energy (U.S. DOE). 1998. *Risk-Based Corrective Action*. Office of Environmental Policy and Assistance. RCRA/CERCLA Division, EH-413. Environmental Guidance DOE/EH-413-9815. Washington, D.C.

<http://www.eh.doe.gov/oepa/guidance/rcra/risk-ca.pdf>

Washington State Department of Ecology (WSDOE). 2001. Workbook Tools for Calculating Soil and Ground Water Cleanup Levels Under the Model Toxics Control Act Cleanup Registration, Users Guide. Toxics Cleanup Program. Publication Number 01-09-073. August 2001.

<http://www.ecy.wa.gov/pubs/0109073.pdf>

World Health Organization (WHO). 2005. *Petroleum Products in Drinking-Water, Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality.*

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/Petroleum%20Productsrev071105.pdf

Wyoming Department of Environmental Quality (WYDEQ). 2005. *Soil Cleanup Level Look-Up Table Under the Voluntary Remediation Program. Fact Sheet #12.*

http://deq.state.wy.us/volremedi/downloads/Current%20Fact%20Sheets/F.S.12%20standardized%20_8-3-07_R1.pdf

Apéndice 1

ECUACIONES PARA LGBRSs PARA
HIDROCARBUROS TOTALES DE
PETROLEO, TPH POR DEFECTO
(Fuente: IDEM, 2006)

Apéndice 1: ECUACIONES PARA LGBRs PARA TPH POR DEFECTO

(Fuente: IDEM, 2006)

Las ecuaciones incluidas en este apéndice presentan variables que tienen valores predeterminados que se utilizaron para el desarrollo de los LGBRs del Nivel 1. Los valores predeterminados que se utilizaron se basan en una recolección vasta de estudios químicos, físicos, biológicos y toxicológicos que se han llevado a cabo durante las últimas tres décadas en Norteamérica, Europa y otras partes del mundo. Los valores son aplicables para áreas grandes donde se encuentra una variación de aspectos geográficos, geológicos, climatológicos y humanos, tal como se encuentra en la región entera de la República de Colombia.

Los Niveles 2 y 3 permiten el ajuste de algunos de estos variables para el desarrollo de los NOCESs que pueden variar en diferentes regiones y ambientes. Se puede utilizar estudios o estadísticas regionales o locales para justificar el cambio de algún variable en el estudio de Nivel 2 o 3. Se recomienda que el estudio o estadística se presente a la agencia reguladora antes de efectuar el cambio para asegurar que la fuente de la información sea aceptado.

$$TPH_{LGBR} = [1,000 \text{ mg/kg} \times 1.0 \text{ IP/IP}_{\text{combustible por defecto}}] \times 0.5^*$$

* Se aplicó un factor de falta de certeza a TPH_{LGBR} solamente para combustible de diesel

El cálculo del LGBR involucra la determinación del coeficiente de peligro (CP) para cada fracción de la composición por defecto de 1,000 mg/kg de un combustible teórico (refiere a Tabla 3). Se suman los CP para derivar el índice de peligro (IP) para el combustible por defecto. La proporción de el IP actual a un IP=1 se usa para determinar las concentraciones por defecto de TPH igual a un IP de 1.0.

Suelo de Superficie Industrial

$$CP = \frac{Cs \times EF \times ED \left[\frac{IngSuelo \times (SA \times AF \times ABS)}{RfDo \times 10^6} + \left(\frac{InhRitmo}{RfDi} \left(\frac{1}{VF} + 7.6 \times 10^{-10} \right) \right) \right]}{PC \times ATn \times 365 \text{ dias / año}}$$

Donde:

CP = Coeficiente de Peligro

Cs = Concentración en suelo, (mg/kg)

EF = Frecuencia de Exposición (250 días/año)

ED = Duración de Exposición (25 años por defecto)

IngSuelo = Ritmo de Ingestión de Suelo (50 mg/día por defecto)

SA = Área Superficial de Piel (3160 cm² por defecto)

AF = Factor de Adhesión del Suelo a la Piel (0.5 mg/cm²-día por defecto)

ABS = Absorción de Piel (0.1 para fracciones de TPH por defecto)

InhRitmo = Ritmo de Inhalación (20 m³/día por defecto)

PC = Peso de Cuerpo, (70 kg por defecto)

ATn = Tiempo en Promedio No Cancerígenos (25 años por defecto)

VF = Factor de Volatilización, calculado según indicado en la guía 1996 de la EPA para Evaluación de Suelos

RfDo = Dosis de Referencia, oral (ve Tabla A-1, mg/kg-día)

RfDi = Dosis de Referencia, inhalación (ve Tabla A-1, mg/kg-día)

7.6×10^{-10} = 1/PEF (Factor de Emisión de Partículas, según indicado en la guía 1996 de la EPA para Evaluación de Suelos)

Suelos de Superficie Residencial

$$CP = \frac{Cs \times EF \times \left[\left(\frac{IngFadj + (SFSadj \times ABS)}{RfDo \times 10^6} \right) + \left(\frac{InhFadj}{RfDi} \left(\frac{1}{VF} + 7.6 \times 10^{-10} \right) \right) \right]}{ATn \times 365 \text{ days / yr}}$$

Donde:

CP = Coeficiente de Peligro

Cs = Concentración en suelo, (mg/kg)

EF = Frecuencia de Exposición, (350 días/año por defecto)

IngFadj = Ritmo de Ingestión de Suelos ajustado por edad, (114 mg-año/kg-día por defecto) (ve abajo)

SFSadj = Área de Superficie de Piel ajustado por edad, (1,257 mg- año /kg- día por defecto) (ve abajo)

ABS = Ritmo de absorción de piel, (sin unidades, 0.1 para fracciones de TPH por defecto)

InhFadj = Factor de Inhalación ajustado por edad, (9.9 m³-año/kg-día por defecto) (ve abajo)

ATn = Tiempo en Promedio No Cancerígenos (30 años por defecto)

VF = Factor de Volatilización, calculado según indicado en la guía 1996 de la EPA para Evaluación de Suelos (ve Tabla A-1, mg/kg-día)

RfDo = Dosis de Referencia, oral (ve Tabla A-1, mg/kg-día)

RfDi = Dosis de Referencia, inhalación (ve Tabla A-1, mg/kg-día)

$7.6 \times 10^{-10} = 1/PEF$ (Factor de Emisión de Partículas, según indicado en la guía 1996 de la EPA para Evaluación de Suelos)

Las concentraciones de compuestos individuales (benceno, PAHs, etc) se deben comparar a sus niveles basados en riesgo de cumplimiento por defecto.

Lixiviación de Suelos Subterráneos a Agua Subterránea (Ecuación 7-1 de la Guía Técnica)

$$Cas = \frac{Csuelo}{DAF \left[Koc \times foc + \left(\frac{\theta_w + \theta_a H'}{P_b} \right) \right]}$$

Donde:

Cas = Concentración en agua subterránea, (mg/l)

Csuelo = Concentración en suelo, (mg/kg)

Koc = Coeficiente de Partición de Carbono Orgánico, (ve Tabla A-1, l/kg)

foc = Fracción de carbono orgánico en suelo subterráneo, (0.002 g/g)

θ_w = Porosidad de suelo lleno de agua, (0.3 l agua/l suelo por defecto,)

θ_a = Porosidad de suelo lleno de aire, (0.134 l aire/l suelo por defecto)

H' = Constante del Ley de Henry, HLC x 41 (ve Tabla A-1, sin dimensiones/unidades)

P_b = Densidad de suelo seco a granel, (1.5 kg/l por defecto)

DAF = Factor de dilución y atenuación (20 por defecto)

Agua Subterránea Comercial/Industrial (No-Cancerígeno)

$$CP = \frac{Cas \times EF \times ED \times \frac{IngRate}{RfDo}}{PC \times ATn \times 365 \text{ days / yr}}$$

Donde:

CP = Coeficiente de Peligro

Cas = Concentración en agua subterránea, (mg/l)

EF = Frecuencia de Exposición, (250 días/año por defecto)

ED = Duración de Exposición, (25 año por defecto)
 IngRate = Ritmo de Ingestión de Agua, (1.0 l/día por defecto)
 PC = Peso de Cuerpo, (70 kg por defecto)
 ATn = Tiempo en Promedio No Cancerígenos (25 años por defecto)
 RfDo = Dosis de Referencia, oral (ve Tabla A-1.)

Agua Subterránea Residencial (No-Cancerígeno)

$$CP = \frac{Cas \times EF \times ED \left[\left(\frac{IngR}{RfDo} \right) + \left(\frac{InhR \times K}{RfDi} \right) \right]}{PC \times ATn \times 365 \text{days/yr}}$$

Donde:

CP = Coeficiente de Peligro
 Cas = Concentración en agua subterránea, mg/l
 EF = Frecuencia de Exposición, (350 días/año por defecto)
 ED = Duración de Exposición, (30 años por defecto)
 IngR = Ritmo de Ingestión, (2.0 l/día por defecto)
 InhR = Ritmo de Inhalación, (15 m³/día por defecto)
 K = Factor de Volatilización en espacio cerrado de agua subterránea (0.5 l/m³ por defecto)
 RfDo = Dosis de Referencia, oral (ve Tabla A-1, mg/kg-día)
 RfDi = Dosis de Referencia, inhalación (ve Tabla A-1, mg/kg-día)
 PC = Peso de Cuerpo, (70 kg por defecto)
 ATn = Tiempo en Promedio No Cancerígenos (30 años por defecto)

Tabla A1-1: Propiedades Físicas y Toxicológicas Específicas a Químicos

Componentes	RfDo mg/kg-día	RfDi mg/kg-día	S mg/l	H' (41xH)	Koc l/kg	D _{i,a} * (cm ² /s)	D _{i,w} * (cm ² /s)
Alifático EC > 5-6	1.7	1.7	3.60E+01	4.70E+01	8.00E+02	0.088	9.80E-06
Alifático EC > 6-8	1.7	1.7	5.40E+00	5.00E+01	3.80E+03	0.088	9.80E-06
Alifático EC > 8-10	0.03	0.085	4.30E-01	5.50E+01	3.00E+04	0.088	9.80E-06
Alifático EC > 10-12	0.03	0.085	3.40E-02	6.00E+01	2.40E+05	0.088	9.80E-06
Alifático EC > 12-16	0.03	0.085	7.60E-04	6.90E+01	5.40E+06	0.088	9.80E-06
Alifático EC > 16-21	2		1.30E-06	8.70E+01	9.50E+09	0.088	9.80E-06
Alifático EC > 21-36	2		1.50E-11	1.30E+02	1.10E+13	0.088	9.80E-06
Aromático EC > 8-10	0.02	0.02	6.50E+01	3.90E-01	1.60E+03	0.088	9.80E-06
Aromático EC > 10-12	0.02	0.02	2.50E+01	1.30E-01	2.50E+03	0.088	9.80E-06
Aromático EC > 12-16	0.02	0.02	5.80E+00	2.80E-02	5.00E+03	0.088	9.80E-06
Aromático EC > 16-21	0.03		5.10E-01	1.90E-03	1.60E+04	0.088	9.80E-06
Aromático EC > 21-36	0.03		6.60E-03	1.70E-05	1.30E+05	0.088	9.80E-06

Fuente: IDEM, 2006

*Valores conservadores de benceno, lo cual tiene el valor mas elevado para esa propiedad.

Apéndice 2

Ecuaciones Matemáticas Usadas para Derivar LGBRs de Compuestos de Interés (Fuente, IDEM, 2006)

APENDICE 2 – Ecuaciones Matemáticas Usadas para Derivar LGBRs de Constituyentes

Objetivos

(Fuente, IDEM, 2006)

Las ecuaciones incluidas en este apéndice presentan variables que tienen valores por defecto que se utilizaron para el desarrollo de los LGBRs del Nivel 1. Los valores por defecto que se utilizaron se basan en una recolección vasta de estudios químicos, físicos, biológicos y toxicológicos que se han llevado a cabo durante las últimas tres décadas en Norteamérica, Europa y otras partes del mundo. Los valores son aplicables para áreas grandes donde se encuentra una variación de aspectos geográficos, geológicos, climatológicos y humanos, tal como se encuentra en la región entera de la República de Colombia.

Los Niveles 2 y 3 permiten el ajuste de algunos de estos variables para el desarrollo de los NOCES que pueden variar en diferentes regiones y ambientes. Se puede utilizar estudios o estadísticas regionales o locales para justificar el cambio de algún variable en el estudio de Nivel 2 o 3. Se recomienda que el estudio o estadística se presente a la agencia reguladora antes de efectuar el cambio para asegurar que la fuente de la información sea aceptado.

Los LGBRs por defecto consideran tres vías de exposición para usos de terreno comercial/industrial y residencial:

- Suelo superficial,
- Suelo subterráneo (para impactos potenciales a agua subterránea), y
- Agua subterránea.

Los LGBRs por defecto para suelos subterráneos son equivalentes a los números de *migración de Agua Subterránea*. La exposición total asociada con cada vía es la suma de las rutas de exposición:

- ingestión,
- absorción de piel, e
- inhalación.

La exposición de suelo residencial e industrial se determina tomando la suma del consumo de las rutas de ingestión, inhalación, y absorción por piel. Los LGBRs para contaminantes de suelo migrando a agua subterránea son protectivos de la vía de consumo de agua subterránea. La exposición a agua subterránea residencial se determina por la suma de consumo por las rutas de inhalación y ingestión (la ruta de absorción por piel no se considera significativo). La ruta de inhalación para agua subterránea industrial está considerada insignificante porque los ambientes industriales típicamente son bien ventilados. En casos donde los compuestos tienen respuestas cancerígenas y no cancerígenas, se calculó cada valor aparte, y se reportó el valor menor como el LGBRs.

La exposición a suelo residencial representa una ‘aproximación valorada’ que se usa para calcular valores residenciales de suelo superficial. El peso del cuerpo, la duración a la exposición, el área de superficie de piel, las cantidades de ingestión y el ritmo de inhalación fueron ajustados por edad o ‘valorada’ para cada uno de las tres rutas principales de absorción de suelo. Los valores de los supuestos por defecto representan el 90% a 95% de datos disponibles y fidedignos. Este acercamiento es más protector que el valor promedio y es generalmente aceptado como un límite de la población de mediciones muestreadas (ve EPA Risk Assessment Guidance for Superfund, EPA/540/1-89/002).

Los modelos y ecuaciones usados para tener en cuenta emisiones relacionadas con volatilización y partículas, saturación de suelo, ajustes para edad de ingestión de suelo, contacto directo con la piel e inhalación de vapores se tomaron del documento “EPA Soil Screening Guidance (1996 y 2002).

Tabla A2-1 – Ecuaciones de Exposición

Nombre del Ecuación	Ecuaciones de Exposición
<p>Agua Subterránea Residencial (Cancerígenos)</p>	<p style="text-align: center;">Compuestos Volátiles</p> $C_{\text{gwrc}} = \frac{PO \times PC_a \times AT_c \times 365 \text{ day/year}}{EF_r \times ED_r \times \left[(SF_o \times \text{IngR}_{\text{raw}}) + (SF_i \times \text{InhR}_{\text{raagw}} \times K) \right]}$ <p style="text-align: center;">Compuestos No Volátiles</p> $C_{\text{gwrc}} = \frac{PO \times PC_a \times AT_c \times 365 \text{ day/year}}{EF_r \times ED_r \times (SF_o \times \text{IngR}_{\text{raw}})}$
<p>Agua Subterránea Residencial (No Cancerígenos)</p>	<p style="text-align: center;">Compuestos Volátiles</p> $C_{\text{gwrn}} = \frac{CPO \times PC_a \times AT_n \times 365 \text{ days/year}}{EF_r \times ED_r \times \left[\left(\frac{\text{IngR}_{\text{raw}}}{\text{RFD}_o} \right) + \left(\frac{\text{InhR}_{\text{raagw}} \times K}{\text{RFD}_i} \right) \right]}$ <p style="text-align: center;">Compuestos No Volátiles</p> $C_{\text{gwrc}} = \frac{CPO \times PC_a \times AT_n \times 365 \text{ day/year}}{EF_r \times ED_r \times (\text{IngR}_{\text{raw}} / \text{RfDo})}$
<p>Contacto Directo con Suelo Residencial (Cancerígenos)</p>	$C_{\text{ssrc}} = \frac{PO \times AT_c \times 365 \text{ days/year}}{EF_{\text{rs}} \times \left[\frac{SF_o \left(\text{IngF}_{\text{adj}} + \left(\text{SFS}_{\text{adj}} \times \text{ABS} \right) \right)}{10^6 \text{ mg/kg}} + \text{InhF}_{\text{adj}} \times SF_i \left(\frac{1}{\text{VF}} + \frac{1}{\text{PEF}} \right) \right]}$

Tabla A2-1 – Ecuaciones de Exposición

Nombre del Ecuación	Ecuaciones de Exposición
Contacto Directo Residencial (No Cancerígenos)	$C_{ssrn} = \frac{CPO \times AT_n \times 365 \text{ days/year}}{EF_{rs} \left[\left(\frac{IngF_{adj} + (SFS_{adj} \times ABS)}{RFD_o \times 10^6 \text{ mg/kg}} \right) + \frac{InhF_{adj}}{RFD_i} \left(\frac{1}{VF} + \frac{1}{PEF} \right) \right]}$
Migración de Suelo a Agua Subterránea Residencial (Cancerígenos)	$C_{sbsrc} = C_{gwrc} \times 20 \left[K_d + \frac{\theta_{w\rho} + (\theta_{a\rho} \times H')}{\rho_b} \right]$
Migración de Suelo a Agua Subterránea Residencial (No Cancerígenos)	$C_{sbsrn} = C_{gwrn} \times 20 \left[K_d + \frac{\theta_{w\rho} + (\theta_{a\rho} \times H')}{\rho_b} \right]$
Agua Subterránea Comercial/Industrial (Cancerígenos)	$C_{gwic} = \frac{PO \times PC_a \times AT_c \times 365 \text{ days/year}}{EF_i \times ED_i \times (SF_o \times IngR_{iaw})}$
Agua Subterránea Comercial/Industrial (No Cancerígenos)	$C_{gwin} = \frac{CPO \times PC_a \times AT_n \times 365 \text{ days/year}}{EF_i \times ED_i \left(\frac{IngR_{iaw}}{RFD_o} \right)}$
Comercial/Industrial Contacto Directo con Suelo (Cancerígenos)	$C_{ssic} = \frac{PO \times PC_a \times AT_c \times 365 \text{ days/year}}{EF_i \times ED_i \left[SF_o \times \left(\frac{IngR_{ias} + (SA_{ias} \times M \times ABS)}{10^6 \text{ mg/kg}} \right) + SF_i \times InhR_{iaa} \left(\frac{1}{VF} + \frac{1}{PEF} \right) \right]}$

Tabla A2-1 – Ecuaciones de Exposición

Nombre del Ecuación	Ecuaciones de Exposición
Comercial/Industrial Contacto Directo con Suelo (No Cancerígenos)	$C_{ssin} = \frac{CPO \times PC_a \times AT_n \times 365 \text{ days/year}}{EF_i \times ED_i \left[\frac{(\text{In}R_{ias} + (\text{SA}_{ias} \times M \times \text{ABS}))}{\text{RFD}_o (10^6 \text{ mg/kg})} + \frac{\text{Inh}R_{iaa}}{\text{RFD}_i} \left(\frac{1}{\text{VF}} + \frac{1}{\text{PEF}} \right) \right]}$
Migración de Suelo a Agua Subterránea Comercial/ Industrial (Cancerígenos)	$C_{sbsic} = C_{gwic} \times 20 \left[K_d + \frac{\theta_{w\rho} + (\theta_{a\rho} \times H')}{\rho_b} \right]$
Migración de Suelo a Agua Subterránea Comercial/ Industrial (No Cancerígenos)	$C_{sbsin} = C_{gwin} \times 20 \left[K_d + \frac{\theta_{w\rho} + (\theta_{a\rho} \times H')}{\rho_b} \right]$
Factor de Volatilización	<p>Donde:</p> $VF = \frac{Q}{C_{vf}} \times \frac{(3.14 \times D_a \times T)^{\frac{1}{2}} \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{cm}^2}{(2 \times \rho_b \times D_a)}$ $D_a = \left[\frac{(\theta_{avf}^{10/3} D_{i,a} H' + \theta_{wvf}^{10/3} D_{i,w})}{\rho_b K_d + \theta_{wvf} + \theta_{avf} H'} \right]$

Tabla A2-1 – Ecuaciones de Exposición

Nombre del Ecuación	Ecuaciones de Exposición
Factor de Emisión de Partículas	$PEF = \frac{Q}{C_p} \times \left[\frac{3,600 \text{ s/h}}{0.036 \times (1 - V) \times \left(\frac{U_m}{U_t} \right)^3 \times F(x)} \right]$
Ingestión de Suelo – Ajustado por edad	$IngF_{adj} \frac{\text{mg} - \text{yr}}{\text{Kg} - \text{day}} = \frac{ED_{ch} \times IngR_{rcs}}{PC_c} + \frac{(ED_r - ED_{ch}) \times IngR_{ras}}{PC_a}$
Contacto con Piel - Ajustado por edad	$SFS_{adj} \frac{\text{mg} - \text{yr}}{\text{Kg} - \text{day}} = \frac{ED_{ch} \times M \times SA_{rcs}}{PC_c} + \frac{(ED_r - ED_{ch}) \times M \times SA_{ras}}{PC_a}$
Inhalación – Ajustado por edad	$InhF_{adj} \frac{\text{M}^3 - \text{yr}}{\text{Kg} - \text{day}} = \frac{ED_{ch} \times InhR_{rea}}{PC_c} + \frac{(ED_r - ED_{ch}) \times InhR_{raas}}{PC_a}$
Modelo de Partición de Suelo a Agua Subterránea	$CCL = C_w \times FAD \times \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a H'}{\rho_b} \right]$
Límite de Saturación de Suelo	$C_{sat} = \frac{S}{\rho_b} (K_d \rho_b + \theta_w + H' \theta_a)$

Tabla A2-2 – Parámetros/variables de las ecuaciones de exposición y los valores por defecto

Símbolo	Parámetros	Valor
θ_{ap}	<i>Modelo de Porosidad de Partición de Suelo Lleno de Aire</i>	0.134 l aire/l suelo
θ_{avf}	Porosidad de Suelo Lleno de Aire - volatilización	0.284 l aire /l suelo
θ_{wp}	Modelo de Porosidad de Suelo Lleno de Agua	0.3 l agua/l suelo
θ_{wvf}	Porosidad de Suelo Lleno de Agua - volatilización	0.15 l agua /l suelo
ABS	Factor de Absorción a Piel (fracción absorbido)	Específico al Químico (Sin Unidades)
AT _c AT _n	Tiempo de Promedio (el suscrito dicta el tipo de químico)	C = 70 Años cancerígenos N = 30 Años residencial no cancerígenos 25 Años industrial no cancerígenos
CPO	Coficiente del Peligro Objetivo	1 (sin unidades)
D _a	Capacidad de difusión Aparente	Específico al Químico cm ² /s
D _{i,a}	Capacidad de difusión en el Aire	Específico al Químico cm ² /s
D _{i,w}	Capacidad de difusión en el Agua	Específico al Químico cm ² /s
ED _{ch}	Duración de Exposición Joven	6 años
ED _i	Duración de Exposición Comercial/Industrial	25 años
ED _r	Duración de Exposición Residencial	30 años
EF _i	Frecuencia de Exposición Comercial/Industrial	250 días/año
EF _r	Frecuencia de Exposición Residencial	350 días/año
EF _{rs}	Frecuencia de Exposición Residencial Suelo	250 días/año
F(x)	Función Dependiente de U _m /U _t	0.194 (sin unidades)
f _{oc}	Fracción de Carbono Orgánico en Suelo	0.002 para suelo subterráneo 0.006 para suelo superficial
FAD	Factor de Atenuación y Dilución	10 (Por Defecto para Nivel 1)
H'	Constante del Ley de Henry x 41	Específico al Químico (sin unidades)
IngF _{adj}	Factor de Ingestión de Suelo (Ajustado por edad)	114 mg- año/kg-día
IngR _{ias}	Ritmo de Ingestión de Suelo Comercial/Industrial Adulto	50 mg/día
IngR _{iaw}	Ritmo de ingestión de Agua Comercial/Industrial Adulto	1.0 l/día
IngR _{ras}	Ritmo de Ingestión de Suelo Residencial Adulto	100 mg/día
IngR _{raw}	Ritmo de Ingestión de Agua Residencial Adulto	2.0 l/día
IngR _{rcs}	Ritmo de Ingestión de Suelo Residencial Joven	200 mg/día
InhF _{adj}	Factor de Inhalación Ajustado por Edad	10.9 m ³ - año /kg-día

Tabla A2-2 – Parámetros/variables de las ecuaciones de exposición y los valores por defecto

Símbolo	Parámetros	Valor
InhR _{caa}	Ritmo de Ingestión de Aire Construcción Adulto	20 m ³ /día
InhR _{iaa}	Ritmo de Inhalación de Aire Comercial/Industrial Adulto	20 m ³ /día
InhR _{raagw}	Ritmo de Inhalación de Aire Residencial Adulto – Ecuaciones de Agua Subterránea	15 m ³ /día
InhR _{raas}	Ritmo de Inhalación de Aire Residencial Adulto – Ecuaciones de Suelo	20 m ³ /día
InhR _{rca}	Ritmo de Inhalación de Aire Residencial Joven	10 m ³ /día
K	Factor de Volatilización en Sitios Encerrados (Inhalación de volátiles en agua subterránea)	0.5 (sin unidades)
K _d	Coefficiente de Partición Suelo/Agua $K_d = K_{oc} \times f_{oc}$ para Orgánicos	Específico al Químico (l/kg)
K _{oc}	Coefficiente de Partición Carbono Orgánico de Suelo/Agua	Específico al Químico (l/kg)
M	Factor de Adhesión Suelo a Piel	0.5 mg/cm ² -día
n	Porosidad Total de Suelo	0.433962264 l poro/l suelo
P _b	Densidad de Suelo Seco a Granel	1.5 kg/l
PEF	Factor de Emisión de Partículas	1.316 x 10 ⁹ m ³ /kg
P _s	Densidad de Partículas de Suelo	2.65 g/cm ³
PC _a	Peso de Cuerpo Adulto	70 kg
PC _c	Peso de Cuerpo Joven	15 kg
PO	Peligro Objetivo	1 x 10 ⁻⁵ (sin unidades)
Q/C _{vf}	Inversión de la Concentración Promedio en el Centro de un Fuente de 0.5 acres – factor de volatilización	68.81 $\frac{g}{m^2 \cdot s}$ kg/m ³
Q/C _p	Inversión de la Concentración Promedio en el Centro de un Fuente de 0.5 acres	90.80 $\frac{g}{m^2 \cdot \text{Segundos}}$ kg/m ³
RFD _i	Referencia de la Dosis de Inhalación	Específico al Químico (mg/Kg - día)
RFD _o	Referencia de la Dosis Oral	Específico al Químico (mg/Kg - día)
S	Solubilidad en Agua	Específico al Químico (mg/l-agua)
SA _{cas}	Superficie de Piel de Adulto Expuesto en sitios de Construcción	3160 cm ²
SA _{ias}	Superficie de Piel de Adulto Expuesto en sitios Comercial/Industrial	3160 cm ²
SA _{ras}	Superficie de Piel de Adulto Expuesto en Sitios Residenciales	5000 cm ²
SA _{rcs}	Superficie de Piel de Joven Expuesto en Sitios Residenciales	2000 cm ²
SF _i	Inclinación del Potencial Cancerígeno a Base de Inhalación	Específico al Químico (mg/Kg - día) ⁻¹

Tabla A2-2 – Parámetros/variables de las ecuaciones de exposición y los valores por defecto

Símbolo	Parámetros	Valor
SF _o	Inclinación del Potencial Cancerígeno a Base de Oral	Específico al Químico (mg/Kg - día) ⁻¹
SFS _{adj}	Factor de Piel para Suelo (Ajustado por Edad)	1257 mg- año/kg- día
T	Ecuación del Intervalo de Exposición por Volatilización	9.5 x 10 ⁸ s
U _m	Promedio Anual Velocidad de Viento	4.69 m/s
U _t	Valor Límite Equivalente a la Velocidad del Viento a 7 Metros	11.32 m/s
V	Fracción de Cobertura de Vegetación	0.5 (sin unidades, = 50%)
VF	Factor de Volatilización (Ver Tabla C)	Específico al Químico m ³ /kg

Tabla A2-3 – Parámetros específicos al químico

VALORES PARA PARÁMETROS ESPECÍFICOS AL QUÍMICO											
Contaminante	CAS	D _{i,a} cm ² /s	D _{i,a} Fuente	D _{i,w} cm ² /s	D _{i,w} Fuente	K _{oc} l/kg	K _{oc} Fuente	K _d l/kg	K _d Fuente	H' (Hx41)	H' Fuente
Benceno	71-43-2	0.088	SSG (2002)	0.0000098	SSG (2002)	58.9	SSG (2002)			0.228	SSG (2002)
Benzo(a)antraceno	56-55-3	0.051	SSG (2002)	0.000009	SSG (2002)	398000	SSG (2002)			0.000137	SSG (2002)
Benzo(a)pireno	50-32-8	0.043	SSG (2002)	0.000009	SSG (2002)	1020000	SSG (2002)			0.0000463	SSG (2002)
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	0.0226	SSG (2002)	0.00000556	SSG (2002)	1230000	SSG (2002)			0.00455	SSG (2002)
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	0.0226	SSG (2002)	0.00000556	SSG (2002)	1230000	SSG (2002)			0.000034	SSG (2002)
Criseno	218-01-9	0.0248	SSG (2002)	0.00000621	SSG (2002)	398000	SSG (2002)			0.00388	SSG (2002)
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	0.0202	SSG (2002)	0.00000518	SSG (2002)	3800000	SSG (2002)			0.00000603	SSG (2002)
Etilbenceno	100-41-4	0.075	SSG (2002)	0.0000078	SSG (2002)	363	SSG (2002)			0.323	SSG (2002)
Indeno(1,2,3-cd)pireno	193-39-5	0.019	SSG (2002)	0.00000566	SSG (2002)	3470000	SSG (2002)			0.0000656	SSG (2002)
Plomo	7439-92-1							270	R6 HWC	0	
Metil tert butil eter (MTBE)	1634-04-4	0.08	R9	0.00001	R9	11.2	ATSDR (1996)			0.0241	calc'd from H
Naftaleno	91-20-3	0.059	SSG (2002)	0.0000075	SSG (2002)	2000	SSG (2002)			0.0198	SSG (2002)
Tolueno	108-88-3	0.087	SSG (2002)	0.0000086	SSG (2002)	182	SSG (2002)			0.272	SSG (2002)
Xileno mezclado (total)	1330-20-7	0.07	SSG (2002)	0.0000078	SSG (2002)	407	SSG (2002)			0.301	SSG (2002)

Contaminante	CAS	ABS	ABS Fuente	S Mg/l-agua	S Fuente	MCL mg/l	MCL Fuente	MP °C	MP Fuente	BP °C	BP Fuente	MW g/mol	MW Fuente
Benceno	71-43-2	0.1	PEA	1750	SSG (2002)	0.005	NPDWS	5.5	ATSDR(1998)	80.1	ATSDR(1998)	78.1	ATSDR(1998)
Benzo(a)antraceno	56-55-3	0.13	SSG 2002	0.0094	SSG (2002)			159	ATSDR(1995)	435	ATSDR(1995)	228.3	ATSDR(1995)
Benzo(a)pireno	50-32-8	0.13	SSG 2002	0.00162	SSG (2002)	0.0002	NPDWS	179	ATSDR(1995)	443	RAIS	252.3	ATSDR(1995)
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	0.13	SSG (2002)	0.0015	SSG (2002)			168	ATSDR(1995)	443	RAIS	252.3	ATSDR(1995)
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	0.13	SSG (2002)	0.0008	SSG (2002)			216	ATSDR(1995)	480	ATSDR(1995)	252.3	ATSDR(1995)
Criseno	218-01-9	0.13	SSG (2002)	0.0016	SSG (2002)			256	ATSDR(1995)	448	ATSDR(1995)	228.3	ATSDR(1995)
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	0.13	SSG (2002)	0.00249	SSG (2002)			278	ATSDR(1995)	524	RAIS	278.4	ATSDR(1995)
Etilbenceno	100-41-4	0.1	PEA	169	SSG (2002)	0.7	NPDWS	-94.9	RAIS	136.5	RAIS	106.2	RAIS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	193-39-5	0.13	SSG (2002)	0.000022	SSG (2002)			164	ATSDR(1995)	530	ATSDR(1995)	276	ATSDR(1995)
Plomo	7439-92-1	0.01	PEA			0.015	NPDWS	327	ATSDR(1999)	1740	ATSDR(1999)	207	ATSDR(1999)
Metil tert butil eter (MTBE)	1634-04-4	0.1	PEA	48000	ATSDR (1996)	0.04		-109	ATSDR (1996)	55.2	ATSDR (1996)	88.2	ATSDR (1996)
Naftaleno	91-20-3	0.13	SSG (2002)	31	SSG (2002)			80.5	ATSDR(1995)	218	ATSDR(1995)	128.2	ATSDR(1995)
Tolueno	108-88-3	0.1	PEA	526	SSG (2002)	1	NPDWS	-94.9	RAIS	110.6	RAIS	92.1	RAIS
Xileno mezclado (total)	1330-20-7	0.1	PEA	161	SSG (2002)	10	NPDWS	-25.2	RAIS	141	ATSDR	106.2	ATSDR

Los valores para los parámetros en la tabla están calculados para 25° C y 760 mm Hg.

Tabla A2-3 – Parámetros específicos al químico

Términos

Di,a	Capacidad de difusión en el aire
Di,w	Capacidad de difusión en el agua
Koc	Coefficiente de partición de carbono orgánico de suelo con agua
Kd	Coefficiente de partición de suelo y agua
H'	Constante del Ley de Henry sin dimensiones (una medida de la afinidad de un compuesto a volatilizar de agua)
ABS	Fracción de absorción por la piel
S	Solubilidad en agua
MCL	Acta de Agua Potable Segura – nivel máximo de contaminante
MP	Punto de fusión
BP	Punto de ebullición
MW	Peso molecular

Fuentes de Datos Físicas y Químicas

ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
NPDWS	National Primary Drinking Water Standards (United States)
PEA	Preliminary Endangerment Assessment Guidance, EPA-CA, 1994
R6 HWC	USEPA Region 6 Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, volume 2 Appendix A: Chemical-Specific Data
R9	USEPA Region 9 Preliminary Remediation Goal (PRG) Tables
RAIS	Risk Assessment Information System
SSG	USEPA Soil Screening Guidance: Technical Background Document and/or User's Guide (2002)

Los valores para los parámetros físicos/químicos se tomaron de las siguientes fuentes (en orden de importancia):

1. United States Environmental Protection Agency. USEPA. 1996. Soil Screening Guidance Document, Users Guide, 9355.4-23, EPA/540/R-96/018, April; Technical Background Document, 9355.4-17A, EPA/540/R-95/128, May as updated in SUPPLEMENTAL GUIDANCE FOR DEVELOPING SOIL SCREENING LEVELS FOR SUPERFUND SITES, 9355.4-24, December 2002. Available on-line at: <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/>
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Toxicological Profiles, available on-line at: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>
3. EPA Region 9, Region 6, and Region 3 Preliminary Remediation Goals, Physical and Chemical Parameters; available online at: <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/riskmenu.html> <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/index.html> and <http://www.epa.gov/region6/6en/xp/eri.pdf>
4. Otras Fuentes de la USEPA, incluyendo el 'Superfund Chemical Data Matrix'
5. Fuentes de otras agencias estadistas de los EU
6. Otra literatura publicada

Tabla A2-4 – Referencias/Fuentes de los Valores Predeterminados

REFERENCIAS DE LAS SUPOSICIONES DE EXPOSICION PREDETERMINADAS		
PARAMETRO	VALOR	REFERENCIA
Riesgo de Objetivo	10^{-5} (sin unidades)	política en borrador
Coefficiente de Peligro Objetivo	1.0	política en borrador
Índice de Peligro Objetivo	1.0	política en borrador
Factor de Inclinación Cancerígeno	Específico al Químico Oral o Inhalación (mg/kg-día) ⁻¹	IRIS, HEAST, NCEA, Regiones 3, 6, 9
Dosis de Referencia Oral o Inhalación	Específico al Químico (mg/kg-día)	IRIS, HEAST, NCEA, Regiones 3, 6, 9
Peso de Cuerpo Adulto	70kg	RAGS (Parte A) EPA 1989 EPA/540/1-89/002
Tiempo Promedio	Cancerígeno-70 años No cancerígeno-Duración de Exposición	RAGS (Parte A) EPA 1989 EPA/540/1-89/002
Área Superficial de Piel Adulto	5000 cm ² (25%)	Factores de Exposición, EPA 1989 OSWER No. 9285.6-03
Área Superficial de Piel Joven	2000 cm ² (25%)	Evaluación de Piel, EPA 1992 EPA/600/8-91/011B
Área Superficial de Piel Adulto Construcción en Área Industrial	3160 cm ²	Evaluación de Piel 1992, Construcción , (cabezas, manos, brazos)
Factor de Adhesión	0.5 mg/cm ⁵ -día	Evaluación de Piel, EPA 1992
Absorción de Piel	0.1 most organics 0.01 most metals (Select compounds have other values)	EPA, Cal-EPA-(DTSC, 1994)
Ritmo de Inhalación Residencial, Espacio Encerrado, Adulto	15 m ³ / día	RAGS Parte B
Ritmo de Inhalación Residencial, Espacio Abierto, Adulto	20 m ³ / día	OSWER No. 9285.6-03
Ritmo de Inhalación Ocupacional Adulto	20 m ³ / día	RAGS Parte B OSWER No. 9285.6-03
Ritmo de Inhalación Joven	10 m ³ / día	EPA Región 6, 9 (con referencia a RAGS Parte A, EPA/540/1-89/002)
Ingestión de Agua Potable Adulto	2.0 l/ día	RAGS Parte A
Ingestión de Agua Potable Joven	1.0 l/ día	PEA, Cal-EPA (DTSC, 1994)
Ingestión de Agua Potable Ocupacional	1.0 l/día	IDEM VRP (OER, Octubre 1995)
Ingestión de Suelo Adulto	100 mg/día	OSWER No. 9285.6-03 RAGS 1989

Tabla A2-4 – Referencias/Fuentes de los Valores Predeterminados

REFERENCIAS DE LAS SUPOSICIONES DE EXPOSICION PREDETERMINADAS		
PARAMETRO	VALOR	REFERENCIA
Ingestión de Suelo Joven	200 mg/día	OSWER No. 9285.6-03 RAGS 1989
Ingestión de Suelo Ocupacional Adulto	50 mg/día	OSWER No. 9285.6-03
Frecuencia de Exposición Residencial	350 días/año	OSWER No. 9285.6-03
Frecuencia de Exposición Ocupacional	250 días/año	OSWER No. 9285.6-03
Duración de Exposición Residencial	30 años	OSWER Directiva: 9285.6-03
Duración de Exposición Ocupacional	25 años	OSWER Directiva: 9285.6-03
Factor de Volatilización Espacio Encerrado	0.5	RAGS Parte B
Modelo del Factor de Emisión de Partículas	$1.32 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{kg}$	EPA 1996, EPA 540/R-96/18 Por Defecto según listado
Modelo del Factor de Volatilización en Suelo Espacio Abierto	Específico al Químico m^3/kg	EPA 1996, EPA 540/R-96/18 Defecto según listado
Modelo de Partición de Suelo a Agua Subterránea	Específico al Químico mg/kg	EPA 1996, EPA 540/R-96/18 Defecto según listado
Límite de Saturación de Suelo	Específico al Químico mg/kg	EPA 1996, EPA 540/R-96/18 Defecto según listado
Factores Ajustados por Edad		
Ingestión de Suelos	114 mg- año/kg-día	RAGS Parte B
Contacto con Piel	1257 mg- año/kg-día	RAGS Parte B por análogo
Inhalación	10.9 m^3 - año/kg-día	RAGS Parte B por análogo

Tabla A2-5 Valores toxicológicos por defecto específicos al químico

Contaminante	CAS	Crónico								Sub-Crónico			
		SF _o (mg/kg-día) ⁻¹		RfD _o mg/kd-día		SF _i (mg/kg-día) ⁻¹		RfD _i mg/kd-día		RfD _o mg/kd-día		RfD _i mg/kd-día	
		Valor	Fuente	Valor	Fuente	Valor	Fuente	Valor	Fuente	Valor	Fuente	Valor	Fuente
Benceno	71-43-2	0.055	I	0.004	I	0.027	I	0.0086	I				
Benzo(a)antraceno	56-55-3	0.73	RR3,6,9(n)			0.73	R9(r)						
Benzo(a)pireno	50-32-8	7.3	I			7.3	R9(r)						
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	0.73	RR3,6,9(n)			0.73	R9(r)						
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	0.073	RR3,6,9(n)			0.073	R9(r)						
Criseno	218-01-9	0.0073	RR3,6,9(n)			0.0073	R9(r)						
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	7.3	R3,9(n)			7.3	R9(r)						
Etilbenceno	100-41-4			0.1	I			0.29	I		ATSDR	1.24	ATSDR
Indeno(1,2,3-cd)pireno	193-39-5	0.73	RR3,6,9(n)			0.73	R9(r)						
Plomo	7439-92-1												
Metil tert butil eter (MTBE)	1634-04-4	0.004	R3(o)	0.86	R9(r)	0.00091	R9(c)	0.86	I				
Naftaleno	91-20-3			0.02	I			0.00086	I				
Tolueno	108-88-3			0.08	I			1.4	I			0.26	RAIS
Xileno mezclado (total)	1330-20-7			0.2	I			0.029	I			0.87	ATSDR

SF_o = Factor de Inclinación Oral; SF_i = Factor de Inclinación Inhalación; RfD_o = Dosis de Referencia Oral; RfD_i = Dosis de Referencia Inhalación

Fuentes:

ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
I	IRIS
N	NCEA (USEPA National Center for Environmental Assessment draft value)
O	Otro
R	ruta extrapolada
R3	USEPA Region 3 Risk-Based Concentration (RBC) Tables
R6	USEPA Region 6 Human Health-Medium Specific Screening Levels Tables
R9	USEPA Region 9 Preliminary Remediation Goal (PRG) Tables

Tabla A2-6 – Organos objetivos de quimicos (para quimicos en que la información este disponible)

Químico	CAS No.	Categorías de Efectos Críticos	Vías de Exposición Afectadas	Fuente
		Efecto Crítico Primario		
Etilbenceno	100-41-4	Sistémico (Hígado, Riñón)	Oral	IRIS
		Avance (Teratológico)	Inhalación	IRIS
Plomo	7439-92-1	Neurológico (Sistema Central de Nervios)	Oral, Inhalación	ATSDR
Naftaleno	91-20-3	Sistémico (No Especificado)	Oral	IRIS
		Respiratorio (Nasal)	Inhalación	IRIS
Tolueno	108-88-3	Sistémico (Hígado, Riñón)	Oral	IRIS
		Neurológico (Sistema Central de Nervios)	Inhalación	IRIS
		Respiratorio (Nasal)	Inhalación	IRIS
Xilenos (isómeros mezclados)	1330-20-7	Sistémico (No Especifico)	Oral	IRIS
		Neurológico (Sistema Central de Nervios)	Inhalación	IRIS

Categorías de Efectos Críticos y Órganos Objetivo

	Categorías de Efectos Críticos	Órganos Objetivo
1.	Sistémico	Hígado, Riñones, Urinario
2.	Circulatorio	Arterias, Venas, Corazón, y Sangre
3.	Gastrointestinal	Cavidad Bucal, Esófago, Estómago, Intestinos y Vesícula Biliar
4.	Músculo / esqueleto	Músculos, Huesos, y Tejidos Conectivos
5.	Respiratorio	Pulmones, Traquea y la Vía Nasal
6.	Inmunológico	Fluidos de Linfa y Tejidos, Bazo y Ganglio Linfático
7.	Neurológico	Cerebro, Cuerda Espinal, Neuronas y Neuroglia
8.	Reproductiva/Endocrina	Testes, Ovarios, Tiroides, Adrenal, Pituitario, Páncreas y Paratiroides
9.	Avance	Teratología, Retraso de Crecimiento, Defectos Estructurales, y Desarrollo anormal
10.	Piel/Ocular	Piel y Ojos

Los efectos críticos primarios y órganos objetivos para cada químico se tomaron de las siguientes fuentes (en orden de importancia):

1. IRIS (EPA 2000) (<http://www.epa.gov/iriswebp/iris/subst/index.html>)
2. ATSDR Toxicological Profiles (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>)

Referencias para el Apéndice 2:

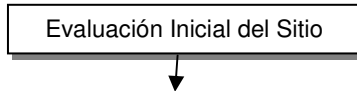
- EPA, 1992 Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications, EPA/600/8-91011B
- EPA, 1996 Soil Screening Guidance: Technical Background Document, EPA/540/R-95/128
- EPA, 2002 Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels For Superfund Sites, OSWER 9355.4-24. Available on-line at: <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/>
- EPA Regions 3, 6, & 9 <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rbc/rbc1005.pdf>, (10/2005 Table); <http://www.epa.gov/region6/6en/xp/eri.pdf> ; and <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/files/04prgtable.pdf>, (10/2004 Table)
- EPA, CAL-EPA-(DSTC, 1994) California EPA, 1994. Preliminary Endangerment Assessment Manual (PEA), Department of Toxic Substances Control, Sacramento California.
- EPA, 1989 Exposure Factors EPA, 1989 Exposure Factors Handbook, EPA/600/8-89/043
- HSDB Hazardous Substances Data Bank. (See NLM.)
- IDEM, VRP Voluntary Remediation Program, ReFuente Guide, OER, IDEM October 1995.
- IRIS Integrated Risk Information System, EPA <http://www.epa.gov/iris>
- NCEA National Center for Exposure Assessment, <http://www.epa.gov/ncea>
- OSWER No. 9285.6-03 Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance “Standard Default Exposure Factors”, March 25, 1991
- RAGS Part A EPA, 1989 Risk Assessment Guidance for Superfund, Human Health Evaluation Manual Part A, EPA/540/1-89/002
- RAGS Part B Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual, Part B Development of Risk Based Preliminary Remediation Goals, publication 9285.7-01B, December 1991

Apéndice 3

Ejemplo de un Análisis de Riesgos

Apéndice 3: EJEMPLO DE UN ANALISIS DE RIESGOS

Este ejemplo incluye una situación hipotética de una estación de servicio impactada. En varios lugares de este ejemplo se presentan secciones de la Figura 1-1 de este manual (Sistema de Nivelación para Acción de Remediación Basada en Riesgo) para demostrar como se sigue el sistema de nivelación.



La Situación

Una estación de servicio empezó a notar pérdidas de 2% del producto almacenado en sus tanques. La pérdida se venía presentando desde hace 4 meses.

El Sitio

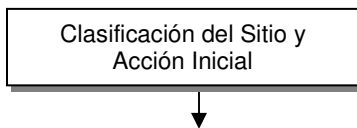
La Figura A3-1 presenta un plano de una estación de servicio (el sitio) ubicado en una zona urbana de Colombia. El sitio cuenta con tres tanques enterrados que contienen los siguientes productos:

- Un tanque de 10,000 galones de gasolina corriente;
- Un tanque de 10,000 galones de diesel; y
- Un tanque de 10,000 galones de gasolina premium.

Los tanques se instalaron hace 20 años y no se ha realizado una prueba de hermeticidad desde hace 5 años.

El sitio cuenta con tres pozos de monitoreo en el área de tanques que llegan a una profundidad de 6 metros debajo de la superficie (dds). En promedio, el nivel freático se encuentra a una profundidad de 4 metros dds, con fluctuaciones anuales de +/- 0.5 metros.

El sitio está ubicado en una zona de uso mezclado, con propiedades de comercio, industria liviana y residencias dentro de 500 metros del sitio.



Notificación

Al revisar los inventarios mensuales de compra y venta de los derivados del petróleo, el operador nota que ha tenido pérdidas de 2% en el tanque # 4 de Gasolina Premium. El tanque es de acero y tiene 20 años de uso en el sitio.

El operador ejecuta las gestiones para hacer una prueba de hermeticidad de los tanques. Los resultados de la prueba indican que hay una falla en el tanque de gasolina premium y que los tanques de diesel y de gasolina corriente pasaron la prueba.

El operador del sitio procede a notificar a la Autoridad Ambiental con copia a la compañía mayorista al que está afiliada la estación, la pérdida de gasolina premium y los resultados de las pruebas de hermeticidad.

Con base en la investigación ejecutada por parte de la Autoridad Ambiental y el contrato entre el operador y la compañía mayorista, se decidirá quien será el obligado de hacer las gestiones para ejecutar un plan de acción para evaluar el impacto relacionado con el sitio.

Clasificación del Sitio

El responsable de hacer las gestiones para ejecutar un plan de acción (de ahora en adelante se refiere como el cliente del consultor ambiental) decide contratar un consultor ambiental para hacer una investigación del impacto al medio ambiente relacionado con las pérdidas de la estación. El consultor ambiental procede a ejecutar una evaluación ambiental, comenzando con la recolección de la siguiente información:

- Identificar nombres y direcciones del propietario/operador del sitio;
- Lista de combustibles manejados en el sitio;
- Identificar el tipo de producto liberado y la fuente de la fuga o derrame (tuberías de conducción, tanques de almacenamiento, drenajes, etc.);
- Identificar la distancia horizontal a las poblaciones humanas más cercanas y a pozos de aprovechamiento de agua;
- Identificar la distancia horizontal a cuerpos de agua superficial más cercanos;
- Identificar las rutas de migración más probables;
- Identificar el tipo de suelo y la profundidad de las aguas subterráneas;
- Identificar los medios posiblemente afectados;
- Identificar el uso del terreno según el Plan de Ordenamiento Territorial (P.O.T.) aplicable para el sitio;
- Proporcionar un plano del sitio que muestre la ubicación de edificios principales, tanques, tuberías, servicios públicos, corrientes de agua, etc. adjuntar un mapa topográfico del sitio, si está disponible; e
- Identificar si es necesaria una acción provisional inmediata, tal como la extracción de producto libre.

Modelo Conceptual del Sitio

Los resultados de la primera parte de la evaluación ambiental indican que no se requiere una acción provisional inmediata. El modelo conceptual del sitio indica lo siguiente:

- La fuga fue de gasolina premium y se reporta que el sitio cuenta con un inventario aceptable de diesel y corriente;
- La fuga es de aproximadamente 2% de las compras/ventas de cada mes por los últimos cuatro meses y la estación vende un promedio de 20,000 galones de gasolina premium por mes;
- El sitio está ubicado en una zona mixta, lo cual incluye comercio, residencias e industria liviana (una planta donde se mezclan químicos para lavandería);
- El sitio cuenta con tres pozos de monitoreo existentes dentro de la zona de tanques las cuales no tienen producto en fase separado;
- Además de las residencias, el receptor sensible más cercano al sitio es un pozo de suministro de agua potable para la comunidad producido por un acuífero a 100 metros de profundidad y que está a una distancia de 20 metros al suroeste del sitio;
- No hay aguas superficiales dentro de un radio de 500 metros de la estación;
- El área alrededor de la estación está pavimentada y no se encuentran parques dentro de un radio de 500 metros de la estación; y
- No hay receptores sensibles ecológicos dentro de un radio de 1 Km. del sitio.

La información de la evaluación ambiental es utilizada por el consultor ambiental para crear el modelo conceptual del sitio incluido como la Figura A3-2.

Según los resultados del modelo conceptual y la evaluación ambiental para nuestro sitio, se compara los resultados analíticos de una investigación subterránea a los LGBRs para los suelos de una zona residencial. Los resultados de la prueba del acuífero indicarán a cuales LGBRs se van a comparar los resultados del agua subterránea.

Investigación de Suelos y Agua Subterránea

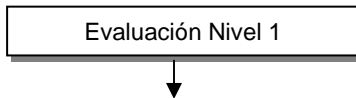
Con base en el modelo conceptual del sitio, el consultor crea un plan de trabajo para investigar el impacto. El consultor debe ubicar los pozos de monitoreo propuestos según la Sección 2.2.1 de este manual. El plan de trabajo incluye:

- Un plano del sitio incluyendo las estructuras principales del sitio, la ubicación de tanques y tubería subterránea (si está disponible), pozos de monitoreo existentes en el sitio y los pozos de monitoreo propuestos para delimitar la pluma de impacto lateral y vertical (incluida como Figura A3-3);
- Una tabla de los análisis químicos propuestos para las muestras de suelo y agua subterránea que se van a tomar según la Tabla 2-1 de este manual (incluida como Tabla A3-1).

- Texto explicando todos los procesos de cómo se va a ejecutar la investigación, incluyendo explicación detallada de cada paso de la investigación (incluyendo la perforación, instalación de pozos, muestreo, etc.), análisis físicos del sitio (prueba de acuífero para clasificar el agua subterránea, topografía, etc.), programa de control de calidad y programa de salud y seguridad.

La investigación de suelos y agua subterránea se ejecuta según el plan de trabajo. Inmediatamente se reciben todos los análisis y datos de la investigación, el consultor ambiental los analiza, produciendo los siguientes productos:

- Un plano piezométrico con contornos que estiman equipotenciales del agua subterránea (incluido como Figura A3-4);
- Una tabla con los resultados analíticos indicando si algunas muestras excedieron los LGBRs según la clasificación del sitio (incluida como Tabla A3-2);
- Planos de isoconcentración para los compuestos que exceden los LGBRs para alguna muestra (incluidos como Figuras A3-5 y A3-6).
- Gráfica de los resultados de la prueba del acuífero y los cálculos detallados de la producción del pozo en que se hizo la prueba.



Los resultados de la prueba de acuífero para nuestro sitio muestran una producción para los pozos de monitoreo encima de 800 galones/día y el resultado analítico para sólidos totales disueltos (STD) indica que hay una concentración de STD menos de 10,000 mg/L. Según la Sección 2.2.2, estos datos califican el agua subterránea como potable, al igual que los resultados analíticos de la evaluación ambiental, los cuales se comparan a los LGBRs de agua potable.

Los resultados analíticos para nuestro sitio están encima de los LGBRs para TPH-GRO y benceno en agua subterránea y suelo según los resultados analíticos para algunas muestras (ver Tabla A3-2).

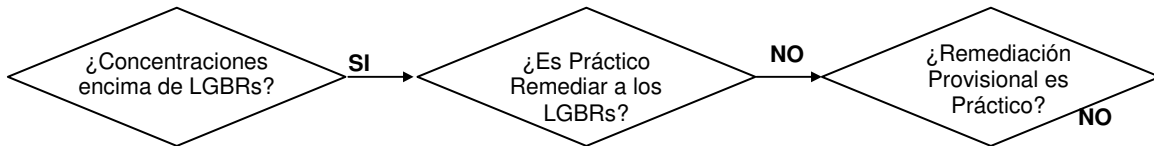
Siguiendo la Sección 2.5.1.3 de este manual, se calcula el promedio aritmético más una desviación estándar de todas las muestras para cada compuesto que se detectó encima de los LGBRs en por lo menos una de las muestras. El resultado de este cálculo incluido como la Tabla A3-3 indica que el promedio aritmético mas una desviación estándar para TPH-GRO en suelo está debajo del LGBR y encima de los LGBRs en TPH-GRO para agua subterránea y benceno en suelo y agua subterránea. Según las metas de riesgo aceptables de este manual, TPH-GRO en suelo no presenta un riesgo. El riesgo de TPH-GRO en suelo es aceptable y no se requiere acción adicional para lo mismo.

Pozos de Monitoreo Adicionales

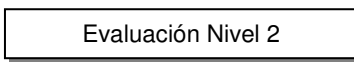
Con base en los resultados analíticos y la distribución de pozos de monitoreo, el consultor ambiental y su cliente deciden perforar pozos adicionales para delimitar

horizontalmente la pluma. Los pozos se ubican siguiendo la Sección 2.2.1 de este manual en los puntos ubicados en la Figura A3-7.

Según los resultados analíticos de los pozos adicionales, la pluma de TPH-GRO en agua subterránea se delineó a los LGBRs. La pluma de benceno se delineó aguas arriba y lateralmente en el eje transversal al flujo de agua. También se delineó la pluma de benceno aguas abajo, pero se encontró un receptor sensible entre la estación de servicio y el punto delimitante (ver Figura A3-7).



Los resultados de la evaluación Nivel 1 indican que hay un riesgo encima de las metas de riesgo presentadas en este manual para TPH-GRO en agua subterránea y para benceno en agua subterránea y suelo. El consultor ambiental presenta esta información a su cliente y ellos deciden seguir al Nivel 2 del análisis de riesgos.



Los resultados de la evaluación Nivel 1 indica que la lista de compuestos de interés para la evaluación Nivel 2 son TPH-GRO para agua subterránea y benceno para agua subterránea y suelo.

Se refiere al Capítulo 3 del manual para ver que ajustes se pueden hacer para desarrollar concentraciones calculadas específicos al sitio (CCESs) que reemplazan los LGBRs del Nivel 1.

Benceno en Suelo

Con el conocimiento que el factor de dilución y atenuación se puede ajustar por el tamaño de nuestro sitio (menos de 1,000 m²), el consultor ambiental aplica el modelo de partición de suelo a agua subterránea recomendada en la Sección 3.3.1.1 de este manual. La CCES que resulta del modelo de partición reemplazar el LGBR de lixiviación de suelo a agua subterránea para benceno. La diferencia entre la CCES y el LGBR es que el CCES se calcula con el modelo de partición, lo cual considera una condición específica del sitio (el tamaño) que no se consideró en el desarrollo del LGBR.

La comparación de los resultados analíticos de la evaluación ambiental indica que las concentraciones de benceno en suelo no presentan un riesgo según las metas de riesgo presentados en este manual.

TPH-GRO en Agua Subterránea

El consultor ambiental y su cliente acuerdan enviar muestras de agua subterránea al laboratorio para análisis de fracciones de TPH. Las fracciones identificadas para gasolina en la Sección 3.2 de este manual se analizaron para las muestras de agua subterránea, las cuales incluyen:

- Alifáticos: Equivalente de Carbono (EC) 5-6, EC >6-8, EC >8-10 y EC >10-12; y
- Aromáticos: EC 8-10 y EC >10-12.

Se desarrolla CCEs para esas fracciones de TPH utilizando las ecuaciones presentadas en el Apéndice 1. Los resultados analíticos se comparan con las CCEs desarrollados.

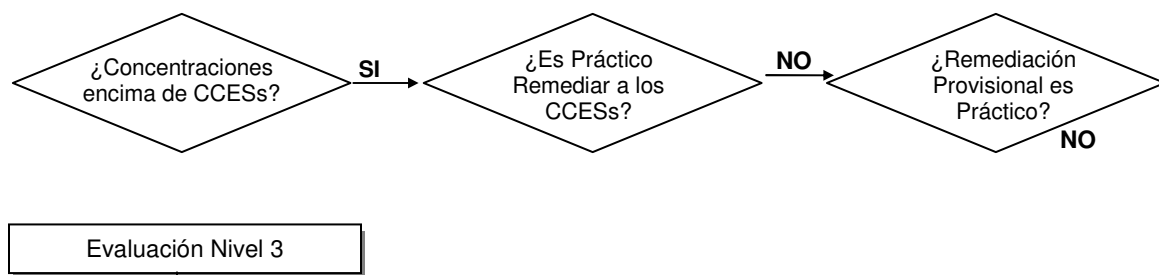
Los resultados analíticos para las muestras analizadas para nuestro sitio resultan debajo de los CCEs. Se considera que el sitio no posee un riesgo encima de las metas de riesgo presentadas como parte de este manual.

Benceno en Agua Subterránea

Con base en los pozos adicionales que se perforaron como resultado del análisis Nivel 1, la pluma de benceno se delineó, pero se encontró un receptor sensible, un pozo de suministro de agua potable para la comunidad, aguas abajo dentro del pozo delimitante para el benceno en agua subterránea. Esta situación presenta dos opciones para el consultor ambiental:

- Remediar hasta los LGBRs de benceno para que lo mismo no se detecta encima de los LGBRs aguas arriba del pozo de suministro; o
- Ejecutar ajustes técnicamente justificables según el manual en una evaluación Nivel 3.

El consultor ambiental y su cliente deciden evaluar el impacto de benceno en agua subterránea en una evaluación Nivel 3.



Con base en los resultados de la evaluación Nivel 2, el único compuesto de interés para el Nivel 3 es benceno en agua subterránea por la presencia de un receptor sensible (pozo de suministro de agua potable) dentro de la delineación aguas abajo del LGBR para benceno, y la posibilidad de volatilización de vapores para un receptor en el área de la pluma de impacto.

El consultor ambiental y su cliente deciden llevar a cabo un modelo numérico de tres dimensiones del agua subterránea y la pluma de benceno. El consultor ambiental se comunica con el representante de la Autoridad Ambiental y le avisa que va a crear un

modelo numérico del flujo de agua subterránea y la pluma de benceno utilizando el programa MODFLOW®. La Autoridad Ambiental acepta el modelo como una herramienta técnicamente justificable para la evaluación Nivel 3 y a MODFLOW® para la creación del modelo.

Según los resultados del modelo no hay forma que la pluma de benceno baje desde el nivel freático a 4 metros dds hasta la toma del pozo de suministro de agua potable, lo cual se encuentra a una profundidad de 100 metros dds.

Se corre un modelo de dispersión de vapores en aire abierto ya que no se encuentra espacio encerrado en el área de la pluma de benceno. El modelo de dispersión produce concentraciones en el agua que son protectivas de receptores en la superficie al aire libre. Los resultados del modelo demuestran que las concentraciones de benceno en agua no presentan riesgos a receptores en la superficie. No se encuentran receptores sensibles adicionales que se puedan afectar por la pluma de benceno.

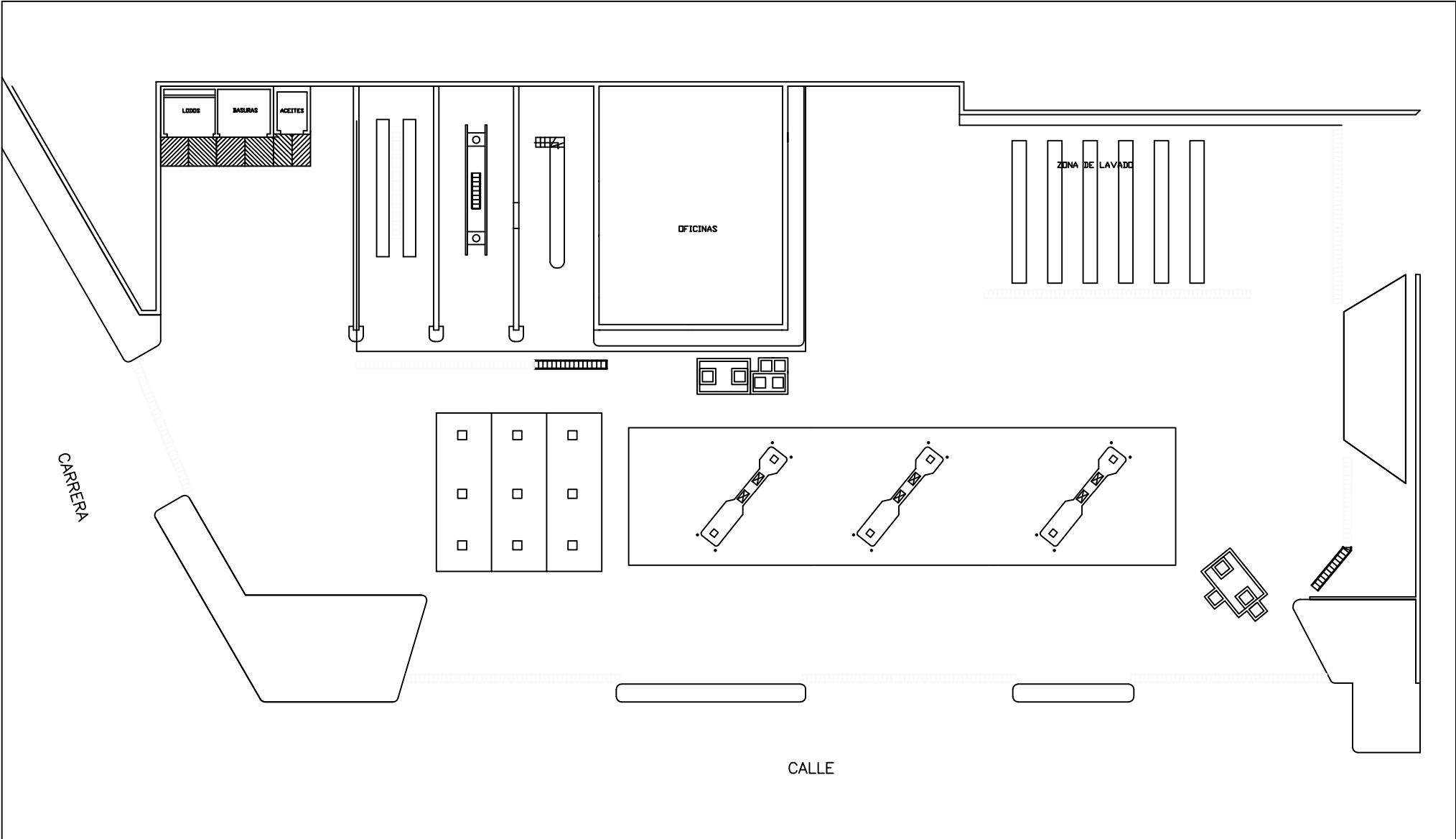
Según los resultados del análisis de riesgos Niveles 1, 2 y 3 no hay impacto relacionado con la estación de servicio que pueda afectar algún receptor sensible. El consultor ambiental y su cliente someten el informe del análisis de riesgos a la Autoridad Ambiental para su revisión y solicitan que basado en el informe se tome una decisión donde no se requiera remediación en el sitio.

No Se Requiere Mas Acción

Componentes del Informe

Los componentes del informe para un análisis de riesgos deben incluir como mínimo los ítems de la lista de chequeo presentado como la Figura 1-2 de este manual. En caso de que el informe para la situación descrita en este ejemplo cumpla con la lista de chequeo, los resultados del mismo serán aceptados por la Autoridad Ambiental.

Figuras del Apéndice 3



PLANO DE LA ESTACION DE SERVICIO

FIGURA A3-1

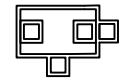
PLANO 1



ZONA DE TANQUES



ISLA DE COMBUSTIBLES



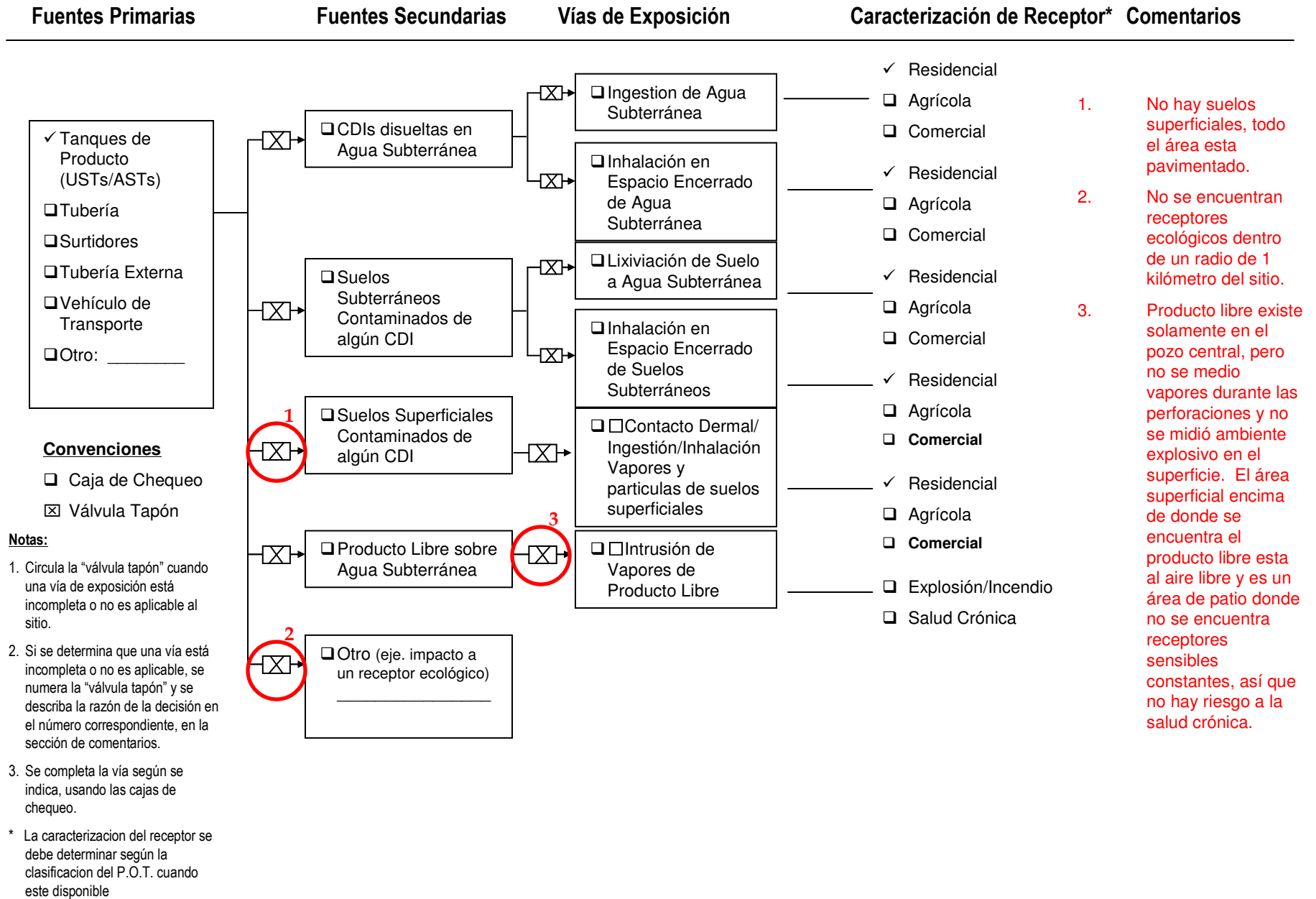
TRAMPA DE GRASAS

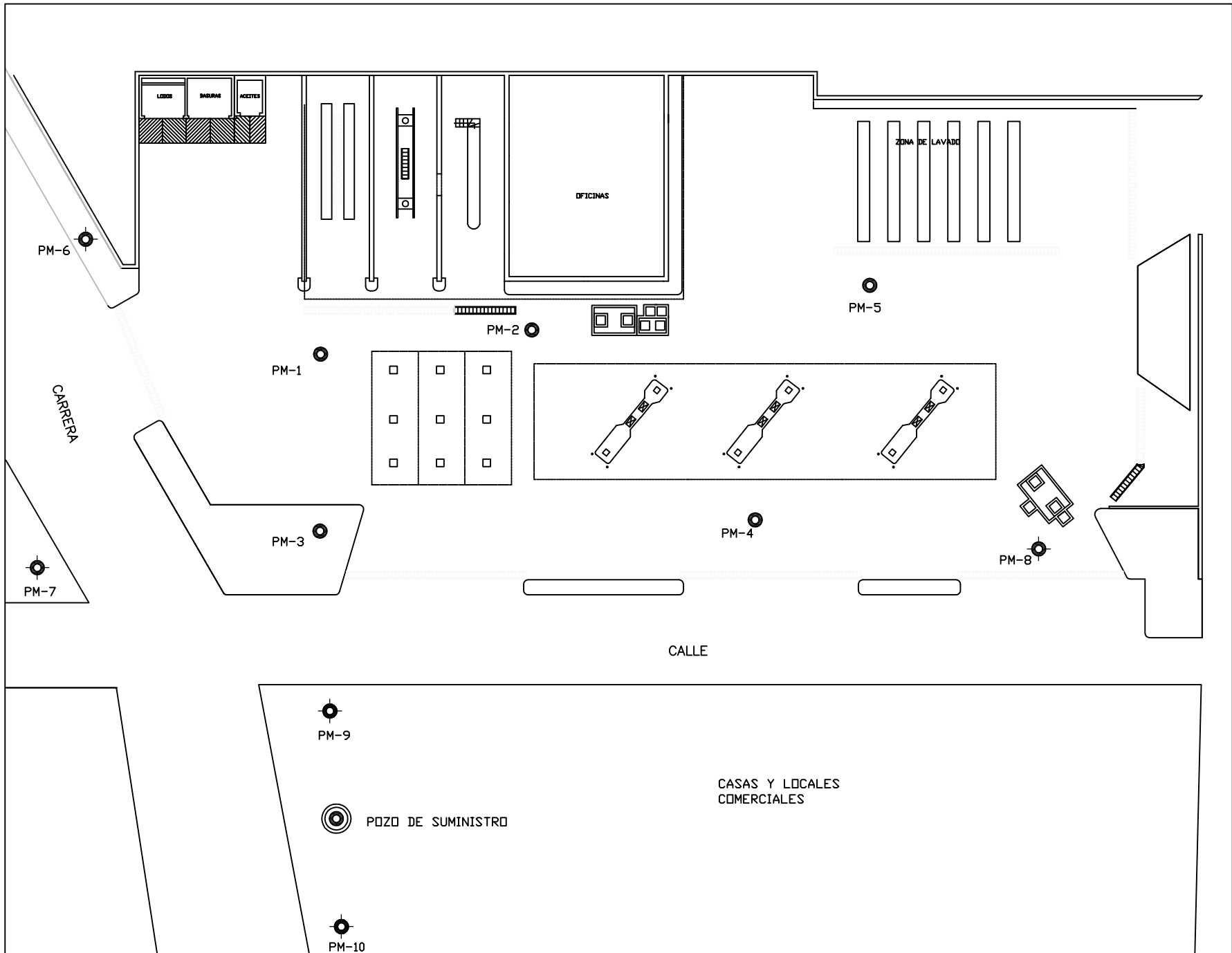


POZO DE MONITOREO



Figura A3-2
Escenarios de Exposición Conceptuales para el Sitio





PLANO DE POZOS PROPUESTOS
EN LA ESTACION DE SERVICIO

FIGURA
A3-3

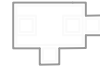
PLANO 1



ZONA DE
TANQUES



ISLA DE
COMBUSTIBLES



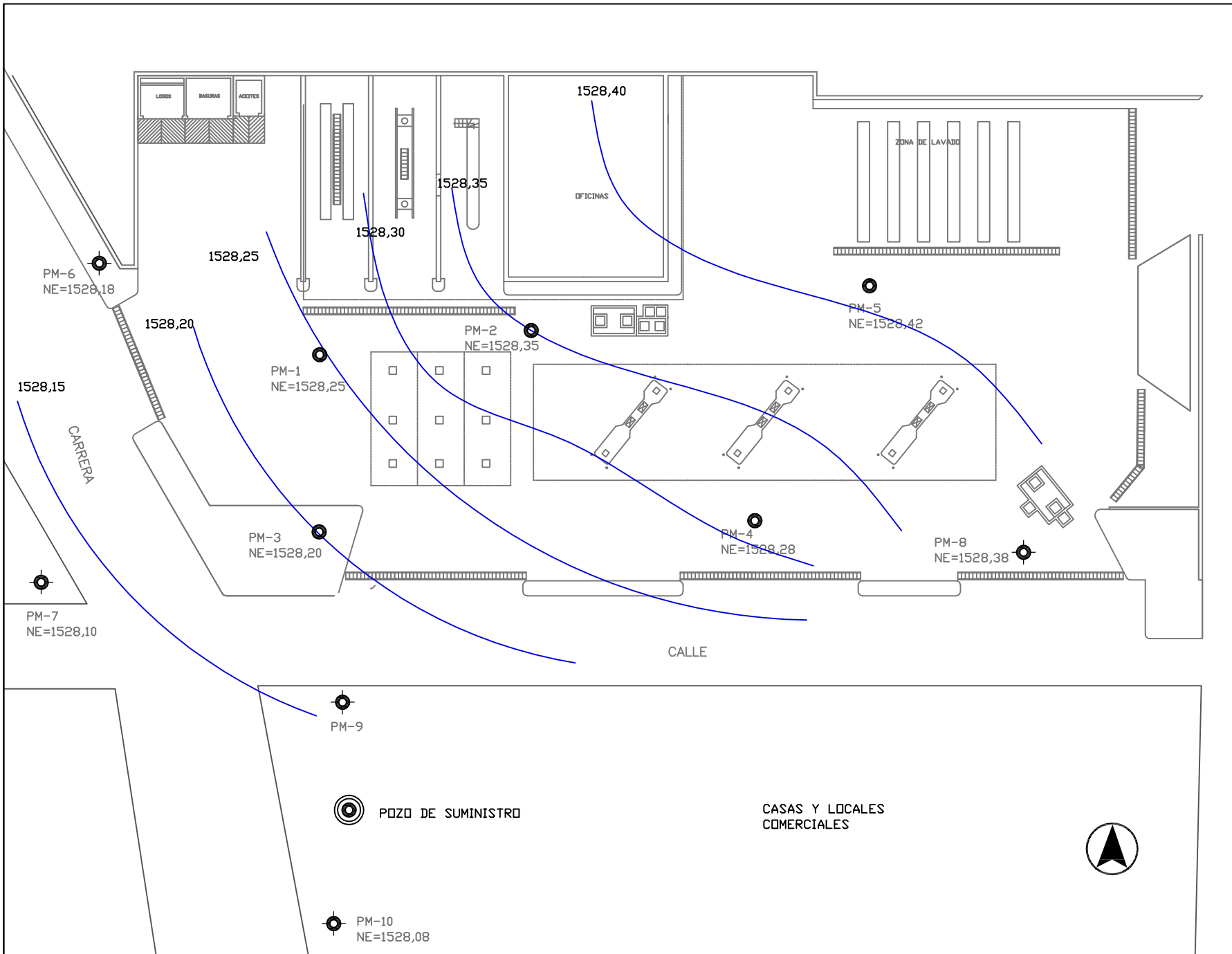
TRAMPA DE
GRASAS









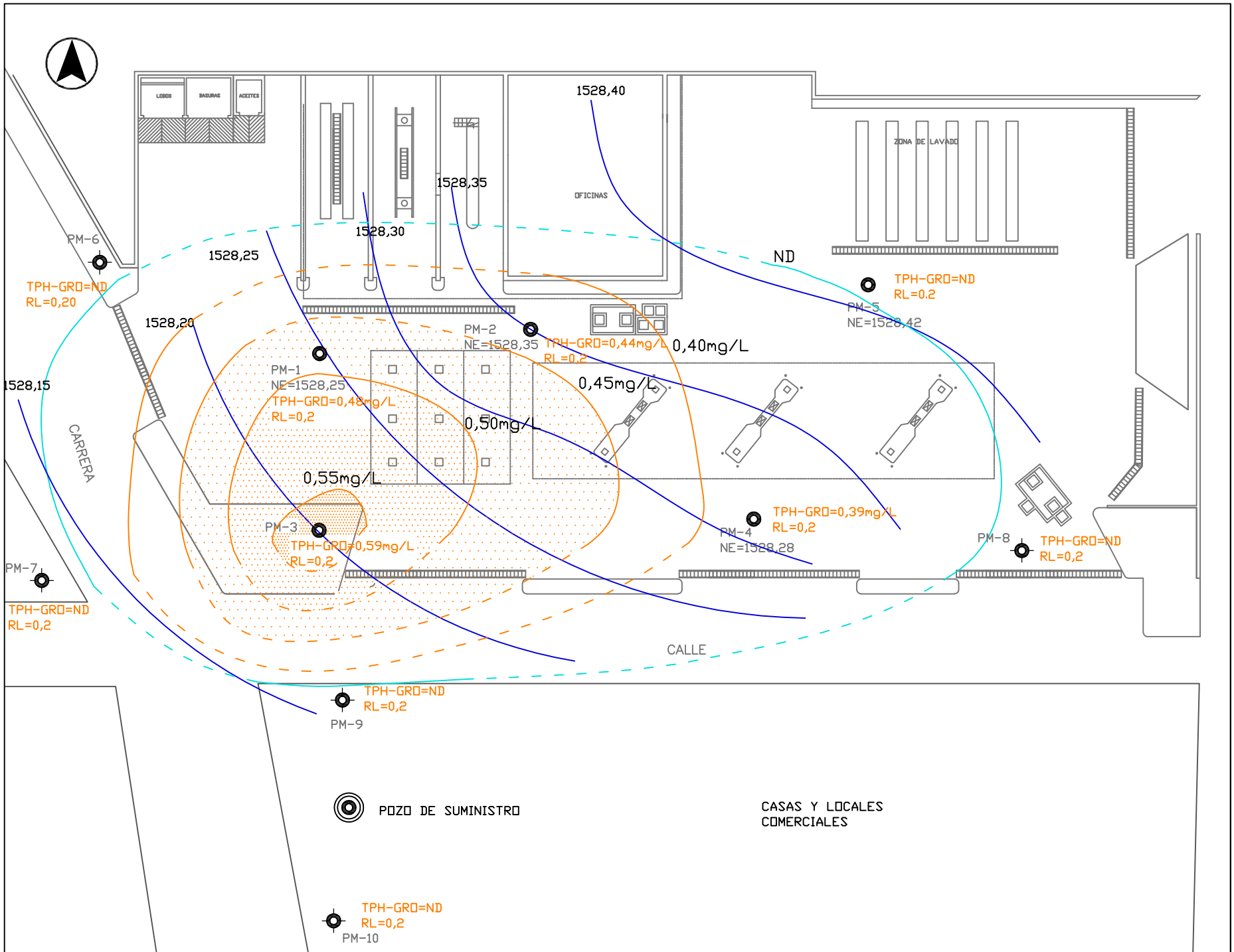
POZO DE
MONITOREO
EXISTENTE



POZO DE
MONITOREO
ADICIONAL






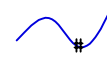



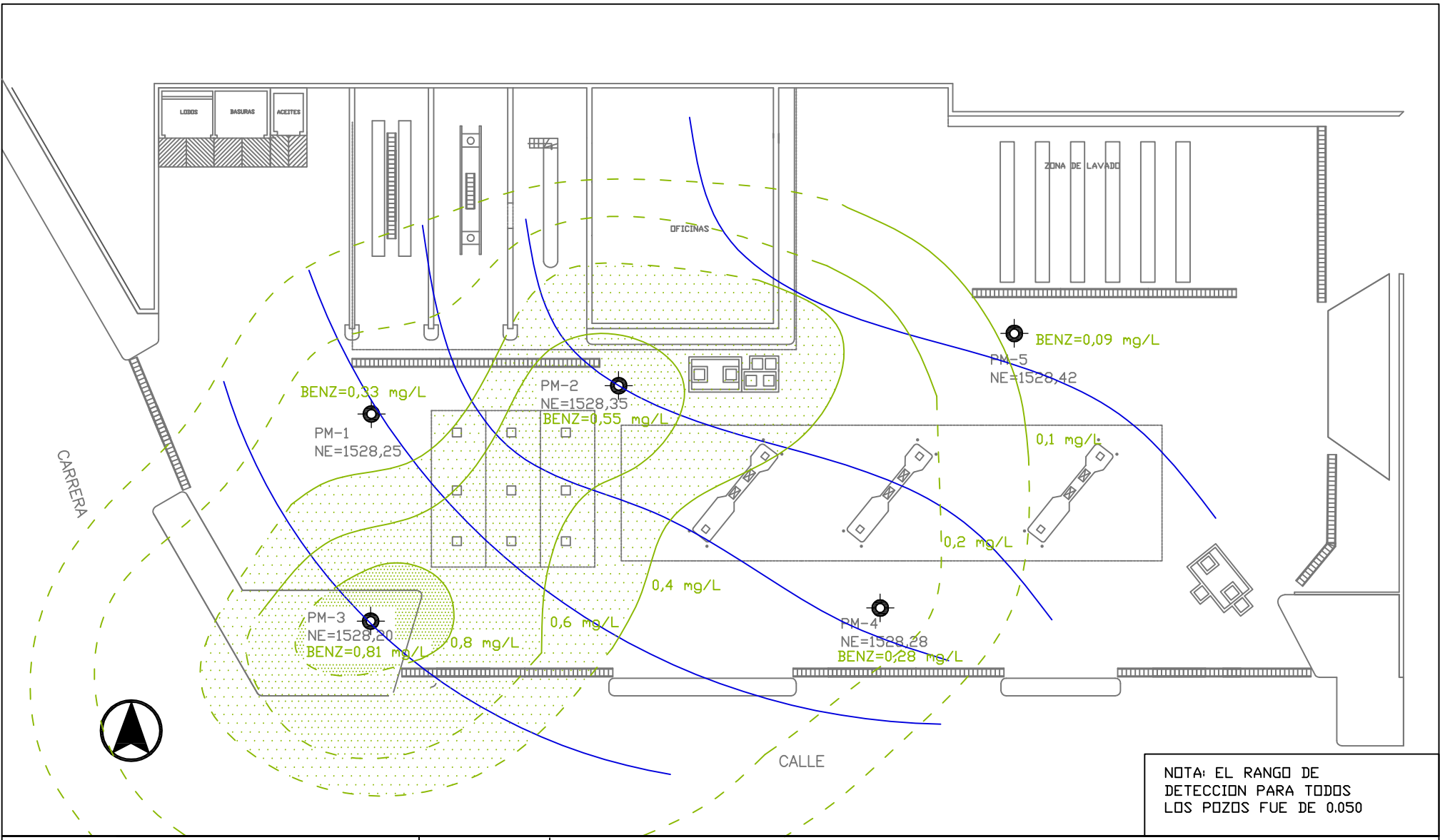
PLANO PIEZOMETRICO DEL SITIO	FIGURA A3-4	 ZONA DE TANQUES	 ISLA DE COMBUSTIBLES	 TRAMPA DE GRASAS	 POZO DE MONITOREO EXISTENTE	 POZO DE MONITOREO ADICIONAL	 LINEA EQUIPOTENCIAL	NE= # m.s.n.m NIVEL ESTADICO
	PLANO 1							



PLANO ISOCONCENTRACION DE TPH GRO EN AGUA mg/L INCLUYENDO LOS POZOS DE MONITOREO ADICIONALES

FIGURA A3-5
PLANO 1

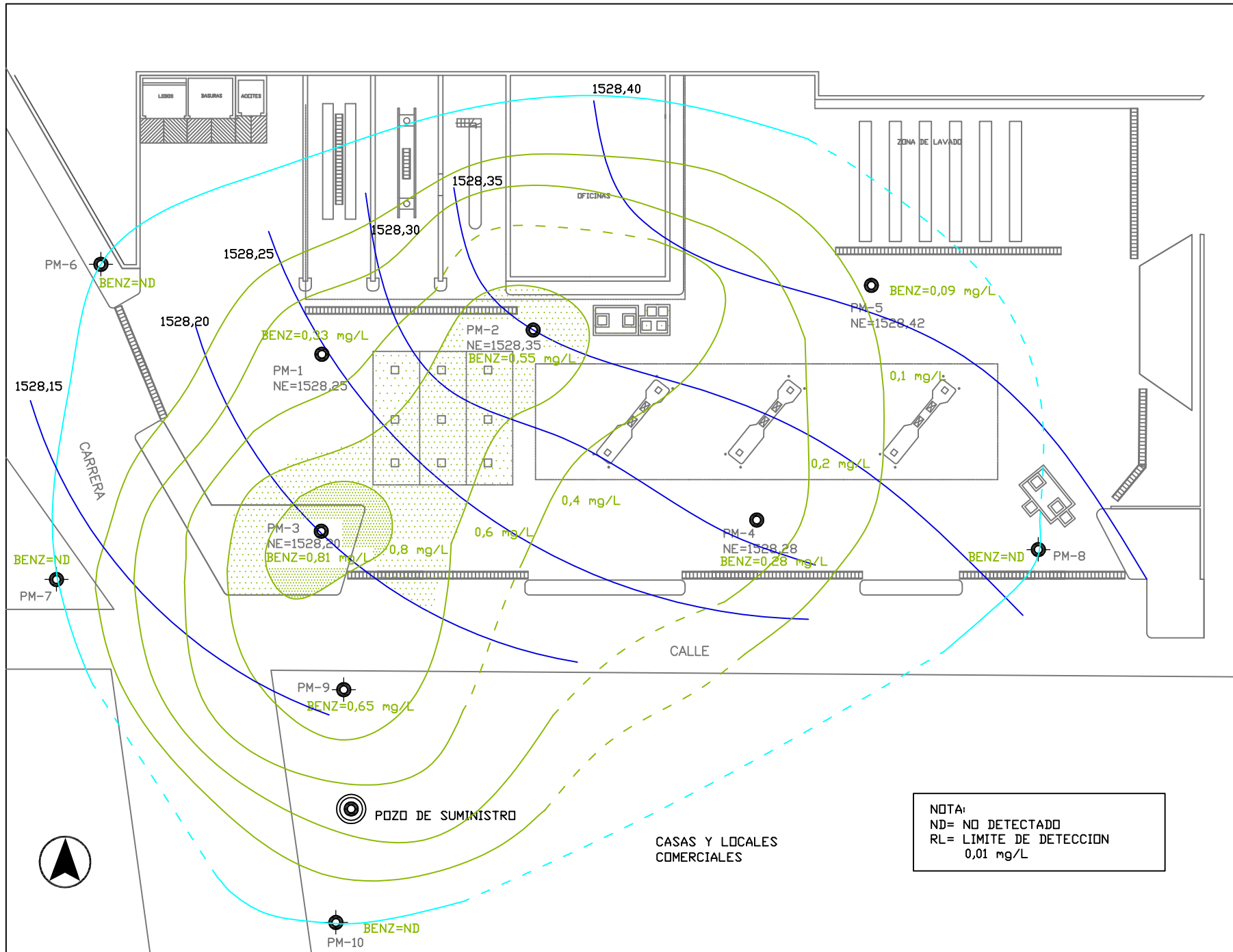
						
ZONA DE TANQUES	ISLA DE COMBUSTIBLES	TRAMPA DE GRASAS	POZO DE MONITOREO EXISTENTE	POZO DE MONITOREO ADICIONAL	LINEA EQUIPOTENCIAL	NIVEL ESTATICO



NOTA: EL RANGO DE DETECCION PARA TODOS LOS POZOS FUE DE 0.050

PLANO DE ISOCONCENTRACION PARA BENCENO EN AGUA
 FIGURA A3-6
 PLANO 1

						NE= # m.s.n.m
ZONA DE TANQUES	ISLA DE COMBUSTIBLES	TRAMPA DE GRASAS	POZO DE MONITOREO EXISTENTE	POZO DE MONITOREO ADICIONAL	LINEA EQUIPOTENCIAL	NIVEL ESTADICO



NOTA:
 ND= NO DETECTADO
 RL= LIMITE DE DETECCION
 0,01 mg/L

PLANO DE ISOCONCENTRACION PARA BENCENO EN AGUA INCLUYENDO POZOS DE MONITOREO ADICIONALES	FIGURA A3-7							NE= # m.s.n.m
	PLANO 1	ZONA DE TANQUES	ISLA DE COMBUSTIBLES	TRAMPA DE GRASAS	POZO DE MONITOREO EXISTENTE	POZO DE MONITOREO ADICIONAL	LINEA EQUIPOTENCIAL	NIVEL ESTADICO

Tablas del Apéndice 3

TABLA A3-1
ANÁLISIS DE LABORATORIO PROPUESTOS
SITIO IMPACTADO

Análisis	Método	ID de Muestra Tipo de Local	Pozos Originales de la Evaluación Ambiental					Pozos Adicionales para Delineación				
			PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	PM-9	PM-10
			Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo
Hidrocarburos de Petróleo Totales (TPH)*												
TPH-GRO	FL-PRO		2,4	2,4	1,2,3,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Compuestos Volátiles Orgánicos (VOCs)*												
Benceno	SW-846 8260B		2,4	2,4	1,2,3,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Etilbenceno	SW-846 8260B		2,4	2,4	1,2,3,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Tolueno	SW-846 8260B		2,4	2,4	1,2,3,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Xilenos (Total)	SW-846 8260B		2,4	2,4	1,2,3,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Metales*												
Plomo	SW-846 6010B		2,4	2,4	1,2,3,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

Notas:

- 1 - Superficie de la Perforación (0-1 metros) - Muestra de Suelo
 - 2 - Medición de VOC Mas Alta o Evidencia Organoleptica Mas Notable - Muestra de Suelo
 - 3 - Profundidad Máxima de la Perforación - Muestra de Suelo
 - 4 - Muestra de Agua Subterránea
 - 5 - Muestra de Control de Calidad
- *Análisis Recomendado según la Tabla 2.1 de esta guía
 TPH-GRO - Rangos de Carbón C8-C10
 QA/QC - Muestra de Control de Calidad

TABLA A3-2
RESULTADOS ANALÍTICOS DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

Agua Subterránea													
Constituyente	Método Analítico	Unidades	LR	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	PM-9	PM-10
TPH-GRO	SW-846 8015D	mg/l	0.2	0.48	0.44	0.59	0.39	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benceno	SW-846 8260B	mg/l	0.01	0.33	0.55	0.81	0.28	0.09	ND	ND	ND	0.65	ND
Etilbenceno	SW-846 8260B	mg/l	0.5	0.53	ND	1.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tolueno	SW-846 8260B	mg/l	0.50	ND	ND	0.53	ND	ND	ND	ND	ND	0.058	ND
Xilenos (Total)	SW-846 8260B	mg/l	0.10	ND	ND	0.18	ND	ND	ND	0.19	ND	0.13	ND
Plomo	SW-846 6010B	mg/l	0.01	ND	ND	0.014	ND	ND	0.01	0.012	ND	ND	ND

Notes:
 SW-846 - Código establecido por la USEPA para guías en métodos analíticos
 LR - Limite de Reportaje
 ND - No Detectado
 mg/L - miligramos por Litro de agua

Suelo															
Constituyente	Método Analítico	Unidades	LR	PM-1	PM-2	PM-3	PM-3	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	PM-9	PM-10
				(Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	(Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	(Intervalo = 0-0.5 m dds)	(Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	(Intervalo = 4.0-4.5 m dds)	(Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	(Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	(Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	(Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	(Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	(Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	(Intervalo = 3.5-4.0 m dds)
TPH-GRO	SW-846 8015D	mg/Kg	10	18	18	24	26	30	18	19	ND	ND	ND	18	ND
Benceno	SW-846 8260B	mg/Kg	0.010	0.020	0.025	0.016	0.2	0.25	0.011	0.014	ND	ND	ND	0.017	ND
Etilbenceno	SW-846 8260B	mg/Kg	10	ND	ND	12.5	12.7	12.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tolueno	SW-846 8260B	mg/Kg	10	ND	ND	11.6	11.7	11.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Xilenos (Total)	SW-846 8260B	mg/Kg	100	ND	ND	160	180	200	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Plomo	SW-846 6010B	mg/Kg	10	12	13	13	14	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Notes:
 SW-846 - Código establecido por la USEPA para guías en métodos analíticos
 LR - Limite de Reportaje
 ND - No Detectado
 mg/Kg - miligramos por Kilogramo de suelo
 m dds - metros debajo del superficie

TABLA A3-3
CALCULO DEL PROMEDIO ARITMÉTICO MAS UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

Agua Subterránea													Promedio Aritmético	Desviación Estándar	Promedio Aritmético +1 Desviación Estándar	LGBR para agua potable
Constituyente	Unidades	LR	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	PM-9	PM-10				
TPH-GRO	mg/l	0.2	0.48	0.44	0.59	0.39	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.25	0.20	0.45	0.32
Benceno	mg/l	0.01	0.33	0.55	0.81	0.28	0.09	0.005	0.005	0.005	0.65	0.005	0.273	0.30	0.58	0.01
Etilbenceno	mg/l	0.5	0.53	0.25	1.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.373	0.30	0.68	1.6
Tolueno	mg/l	0.50	0.25	0.25	0.53	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.278	0.09	0.37	0.93
Xilenos (Total)	mg/l	0.10	0.05	0.05	0.18	0.05	0.05	0.05	0.19	0.05	0.13	0.05	0.085	0.06	0.14	0.27
Plomo	mg/l	0.01	0.005	0.005	0.014	0.005	0.005	0.01	0.012	0.005	0.005	0.005	0.0071	0.00	0.011	0.015

Notes:
LR - Limite de Reportaje
ND - No Detectado
mg/L - miligramos por Litro de agua
No detectados, se usa la función (LR/2) para este calculo según Sección 2.3.1.3

Valores que se detectaron encima de los LRs
[Valores encima del LGBR](#)

Suelo															Promedio Aritmético	Desviación Estándar	Promedio Aritmético +1 Desviación Estándar	LGBR limitante para suelo (lixiviación)
Constituyente	Unidades	LR	PM-1 (Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	PM-2 (Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	PM-3 (Intervalo = 0-0.5 m dds)	PM-3 (Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	PM-3 (Intervalo = 4.0-4.5 m dds)	PM-4 (Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	PM-5 (Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	PM-6 (Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	PM-7 (Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	PM-8 (Intervalo = 3.0-3.5 m dds)	PM-9 (Intervalo = 3.5-4.0 m dds)	PM-10 (Intervalo = 3.5-4.0 m dds)				
TPH-GRO	mg/Kg	20	18	18	24	26	30	18	19	10	10	10	18	10	18	6.7	24	25
Benceno	mg/Kg	0.010	0.020	0.025	0.016	0.2	0.25	0.011	0.014	0.005	0.005	0.005	0.017	0.005	0.048	0.084	0.13	0.034
Etilbenceno	mg/Kg	10	5	5	12.5	12.7	12.9	5	5	5	5	5	5	5	6.9	3.5	10.4	13
Tolueno	mg/Kg	10	5	5	11.6	11.7	11.8	5	5	5	5	5	5	5	6.7	3.0	9.7	12
Xilenos (Total)	mg/Kg	100	50	50	160	180	200	50	50	50	50	50	50	50	83	59	142	210
Plomo	mg/Kg	10	12	13	13	14	12	5	5	5	5	5	5	5	8	4	12	400

Notes:
LR - Limite de Reportaje
ND - No Detectado
mg/Kg - miligramos por Kilogramo de suelo
m dds - metros debajo del superficie
No detectados, se usa la función (LR/2) para este calculo según Sección 2.3.1.3

Valores que se detectaron encima de los LRs
[Valores encima del LGBR](#)