

***Refutación de la Afirmación del Señor Cabrera con Relación a la Presencia de Cromo Total y Hexavalente en Sitios de Exploración y Producción de Petróleo en Ecuador. Afirmación Relacionada con el Proceso Judicial de María Aguinda y otros en contra de Chevron Corporation.***

Preparado por: Sra. Deborah Proctor<sup>1</sup>  
Directora científica de salud  
Exponent, Inc.  
Irvine, California, EE.UU.

La Sra. Proctor es toxicóloga experta en la evaluación de riesgos medioambientales para la salud relacionados con el cromo. Ha publicado 17 manuscritos en la literatura científica arbitrada, así como también dos capítulos de un libro, que tratan específicamente sobre los riesgos para la salud y para el medio ambiente del cromo hexavalente y trivalente. Los estudios de la Sra. Proctor sobre los efectos del cromo a la salud se han utilizado como base para el desarrollo de criterios de toxicidad y evaluaciones de riesgos por parte de las agencias federales y estatales. Estos estudios se enumeran a continuación:

- Concentración de referencia (RfC, por sus siglas en inglés) para partículas de cromo hexavalente en el Sistema integrado de información de riesgos (IRIS, por sus siglas en inglés) de la Agencia de protección ambiental de los EE.UU. (USEPA, por sus siglas en inglés);
- Dosis de referencia (RfD, por sus siglas en inglés) dérmica para cromo hexavalente en madera tratada para la Oficina de Programas de Pesticidas de la USEPA;
- Norma de Cromo Hexavalente del 2006 para la Oficina de administración de seguridad y salud ocupacionales de los EE.UU (OSHA, por sus siglas en inglés); y
- Estándares dérmicos para cromo hexavalente en suelo y agua subterránea para el Departamento de protección ambiental de Nueva Jersey y de Massachusetts.

El curriculum vitae completo de la Sra. Proctor se encuentra en el Anexo 1.

---

<sup>1</sup> El curriculum vitae, la lista de publicaciones y la experiencia relevante se pueden encontrar en el Anexo 1.

***Refutación de la Afirmación del Señor Cabrera con Relación a la Presencia de Cromo Total y Hexavalente en Sitios de Exploración y Producción de Petróleo en Ecuador. Afirmación Relacionada con el Proceso Judicial de María Aguinda y otros en contra de Chevron Corporation.***

## **Conclusiones**

Los peritos sugeridos por los demandantes y los peritos sugeridos por la demandada han tomado cientos de muestras de suelo, sedimento, y agua y las han analizado en busca de cromo total y hexavalente [Cr(VI)] en los sitios que fueron parte de las Inspecciones Judiciales. Estos datos demuestran que los niveles de cromo hexavalente y total son consistentes con las concentraciones de fondo que se encuentran en la naturaleza y no presentan un riesgo para la salud de los individuos que puedan estar en contacto con los sitios, en la actualidad o en el futuro. Al presentar las conclusiones, se enfatiza que se necesita una revisión crítica de los métodos analíticos que fueron utilizados para el análisis de Cr(VI), ya que la gran mayoría de los resultados de los análisis de Cr(VI) proporcionados por los peritos sugeridos por los demandantes se realizaron utilizando métodos analíticos que no son capaces de aislar y medir el Cr(VI). La distinción entre los estados de valencia del cromo en el medio ambiente es esencial para una evaluación correcta de los riesgos o peligros potenciales para la salud o el medio ambiente que puedan estar relacionados con el cromo en el medio ambiente.

En resumen, las conclusiones específicas son:

1. Las concentraciones de Cr(VI) en suelos, sedimentos y agua en los sitios de las Inspecciones Judiciales, medidas utilizando métodos analíticos válidos para Cr(VI), no representan un riesgo potencial para la salud humana.
  - Las concentraciones de cromo hexavalente y total no exceden los criterios de evaluación de suelo (SSL, por sus siglas en inglés) de la Agencia de protección ambiental de EE.UU. (USEPA, por sus siglas en inglés) para la protección en caso de exposición residencial prolongada.
  - Los criterios de evaluación de suelo (SSL) de la USEPA para cromo hexavalente y trivalente proporcionan concentraciones de cromo en el suelo, específicos al estado de valencia de cromo, los cuales protegen en caso de exposiciones máximas razonables para la población humana. Existen muchos factores que, por diseño, hacen de los estándares protectores de la salud SSL se consideren conservadores (por ejemplo, que sobrevaloran la exposición potencial y el riesgo).
  - Las concentraciones de cromo total y hexavalente medidas en agua utilizando métodos analíticos confiables por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada, contienen niveles de cromo total y hexavalente que son menores al criterio de agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 0,05 mg/l para el Cr(VI), y menores al estándar de agua potable de los EE.UU. de 0,1 mg/l para cromo total.

2. Las concentraciones de cromo en el suelo son consistentes con los niveles que naturalmente se presentan en todo el mundo (niveles de fondo) (concentraciones de aproximadamente 2000 mg/kg para cromo total).
3. El cromo hexavalente puede medirse solo si se extrae y se analiza utilizando métodos válidos para este propósito. Más del 98% de los datos de los peritos sugeridos por los demandantes con concentraciones de Cr(VI) en el suelo no se midieron utilizando un método capaz de aislar y medir el Cr(VI). Por el contrario, los métodos que se utilizaron sólo pueden medir el cromo total o el zinc. Estos datos no deberían utilizarse como base para evaluar si las concentraciones están por encima de los niveles de fondo ni para evaluar los posibles riesgos ambientales para la salud asociados con exposición a Cr(VI).
4. Las concentraciones de Cr(VI) detectadas en el suelo utilizando métodos confiables (el método 3060A de la USEPA para la extracción, seguido del método 7199 ó el método 7196A para el análisis) en las muestras recolectadas y analizadas por ambas partes (por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada) son muy bajas—menores o iguales a 0,129 mg/kg y en un 95% no se detectó Cr(VI). Los niveles bajos de Cr(VI) que se detectaron en una pequeña fracción de muestras pueden ser debidos a fuentes naturales.
5. El uso de los lignosulfonatos de cromo, conocidos con los nombres comerciales de Spersene y Q-Broxin, y el uso del sulfato potásico de cromo, un tipo de cromo trivalente, no aportaron Cr(VI) al ambiente en los sitios de las Inspecciones Judiciales. Aunque el uso de bicromato de potasio, una sal de Cr(VI) que es un aditivo para el fluido de empaque, potencialmente pudo haber aportado pequeñas cantidades de Cr(VI) al ambiente en los sitios de las Inspecciones Judiciales, los datos recolectados en los sitios de las Inspecciones Judiciales no indican que haya ocurrido una contaminación ambiental de Cr(VI) a niveles que puedan poner en peligro la salud humana.

Las bases de estas conclusiones se detallan a continuación.

### **Alcance de la revisión**

La revisión se enfocó en los niveles de cromo total y hexavalente reportados en las muestras de suelo, sedimento y agua tomadas por los peritos sugeridos por la demandada y por los peritos sugeridos por los demandantes en 41 sitios de Inspección Judicial que fueron utilizados por Texaco Petroleum Company (Texpet) para la exploración y la producción de petróleo en la región oriental del noreste del Ecuador, la cual se encuentra en la parte oeste de la Cuenca del Amazonas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> El análisis para cromo se propuso después del inicio de Las Inspecciones Judiciales. Por lo tanto, de los 48 sitios que fueron parte de las Inspecciones Judiciales, se revisaron los datos de los peritos para los 41 sitios donde se había analizado cromo. El cromo no se analizó en todos los sitios que fueron parte de las Inspecciones

Se revisaron los métodos analíticos que se reporta fueron utilizados por los laboratorios empleados por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada, para el análisis de cromo total y hexavalente y la revisión se enfocó en los datos analizados mediante métodos analíticos válidos y apropiados para el analito reportado. Esta revisión también incluye comparaciones entre los niveles de cromo medidos en diferentes medios en los sitios de Inspección Judicial, los niveles de cromo encontrados naturalmente en el suelo y los criterios de evaluación que no se consideran un riesgo potencial para la salud en base a los estándares y los criterios de salud de la USEPA y de la Organización Mundial de la Salud. Por último, se investigó el cromo en un aditivo de los lodos de perforación conocido como Spersene, que contiene lignosulfonato de cromo ferroso.

Los documentos que se revisaron para llegar estas conclusiones están enumerados en el Anexo 2.

### **Concentraciones de cromo en el medio ambiente**

Se recolectaron muestras de suelo, agua superficial, agua subterránea, agua para consumo humano y sedimentos (incluyendo sedimentos de drenajes y de fondos de piscinas y sedimentos naturales en esteros, lagunas, riachuelos y pantanos) de 41 sitios donde se llevaron a cabo las Inspecciones Judiciales en el Oriente.<sup>2</sup> Muchos de estos sitios fueron remediados por Texpet entre 1995 y 1998. Por lo tanto, los datos muestran las condiciones actuales del sitio (luego de la remediación) y pueden ser usados para evaluar los niveles residuales de cromo en el medio ambiente.

El conjunto de datos que se revisaron incluía los datos obtenidos por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada y fue compilado por GSI Environmental, Inc., un consultor de la demandada. Como se mencionó en el resumen, los datos se incluyen en el Anexo 3.

### **Métodos analíticos**

Las muestras ambientales han sido analizadas con varios métodos analíticos y por diferentes laboratorios. Los métodos analíticos que utilizaron los peritos sugeridos por los demandantes y los peritos sugeridos por la demandada, según lo reportado, para detectar cromo total y hexavalente en el suelo, el sedimento y el agua se resumen en la Tabla 1.

---

Judiciales debido a que no se consideró en *Plan de Analisis Aprobado por la Corte* (Agosto, 2004) pero fue incluido después del inicio de las Inspecciones Judiciales.

**Tabla 1. Métodos analíticos de la USEPA utilizados por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada para detectar cromo total y hexavalente en el suelo, el sedimento y el agua**

	Peritos sugeridos por los demandantes	Peritos sugeridos por la demandada
<b>Suelo</b>		
Cromo hexavalente	EPA 7191 <sup>a</sup> SM3500 Cr EPA 7199 EPA 7951 <sup>a</sup>	EPA 7196A
Cromo total	EPA 7190 SM3500 Cr	EPA 6010B
<b>Sedimento</b>		
Cromo hexavalente	EPA 7191 <sup>a</sup> SM3500 Cr EPA 7199	EPA 7196A
Cromo total	SM3500 Cr	EPA 6010B
<b>Agua</b>		
Cromo hexavalente	EPA 7196A APHA 3111 Cr B <sup>c</sup> SM3500 Cr	No se analizó <sup>b</sup>
Cromo total	EPA 7000 SM3500 Cr	EPA 200.7

<sup>a</sup> Los métodos EPA 7191 y EPA 7951 no pueden medir el Cr(VI).

<sup>b</sup> No se analizó porque se excedió el tipo de retención de 24 horas para el análisis, como se requiere para asegurar la calidad de los datos.

<sup>c</sup> El método APHA 3111 Cr B no es específico para el Cr(VI), pero puede medir el cromo total.

Según se reportó, los peritos sugeridos por los demandantes analizaron el Cr(VI) en muestras de suelo empleando a tres laboratorios: el Laboratorio Havoc utilizó el método EPA 7191; el laboratorio Cesaq utilizó el método EPA 7951 y el método estándar (SM, por sus siglas en inglés) 3500 Cr, y el Laboratorio Ambiental Calsciencias (Calsciencias) utilizó el método EPA 7199. Como se describe más adelante, el método EPA 7951 es para zinc, no para cromo. Según lo reportado, los peritos sugeridos por los demandantes analizaron cromo total en suelo utilizando el método EPA 7190 y el SM 3500 Cr. Los peritos sugeridos por los demandantes reportaron Cr(VI) en las muestras de sedimento; para los análisis el Laboratorio Havoc utilizó el método EPA 7191, Calsciencias utilizó el método EPA 7199 y Cesaq utilizó el método SM 3500 Cr. Los peritos sugeridos por los demandantes, según se reporta, utilizaron el método SM 3500 Cr para analizar el cromo total en sedimentos.

Para las muestras de agua, según lo reportado, los peritos sugeridos por los demandantes utilizaron el método SM 3500 Cr para analizar cromo total y hexavalente y el método EPA 7196A para analizar Cr(VI). Según se reportó, el laboratorio Havoc también utilizó el método “APHA 3111 Cr B” para analizar Cr(VI). El método de la Asociación Norteamericana de

Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés) para analizar Cr(VI) es 3500; el método APHA 3111 B es un método analítico para analizar cromo total y no puede distinguir Cr(VI) específicamente. Según lo reportado, los peritos sugeridos por los demandantes también analizaron cromo total en una muestra de agua utilizando el método EPA 7000.

El laboratorio Severn Trent realizó todos los análisis para los peritos sugeridos por la demandada. Para las muestras de suelo y sedimentos, se utilizó el método 7196A para analizar Cr(VI) y el método EPA 6010B para analizar cromo total. Los peritos sugeridos por la demandada utilizaron el método EPA 200.7 para analizar cromo total en las muestras de agua. Los peritos sugeridos por la demandada no analizaron Cr(VI) en las muestras de agua, debido a que las muestras no se pudieron transportar desde los sitios de Inspección Judicial hasta un laboratorio capaz de analizar Cr(VI) dentro del período de 24 horas estipulado para el método EPA 218.4.

El primer paso crítico para cualquier análisis válido de Cr(VI) en suelo, sedimento o cualquier medio sólido es la extracción del Cr(VI) de la matriz sólida sin convertirlo al estado trivalente. El método más confiable para extraer Cr(VI) de una muestra sólida es el método EPA 3060A. Todas las muestras de suelo y de sedimento de los peritos sugeridos por la demandada se extrajeron utilizando el método EPA 3060A, sin embargo no se encontró ninguna información que describiera los método(s) de extracción utilizado(s) en ninguna de las muestras de los peritos sugeridos por los demandantes.

Cada método se analiza detalladamente a continuación.

#### **Método EPA 7191—Cromo (Absorción atómica con técnica de horno)<sup>3</sup>**

El método EPA 7191 se utiliza para medir el cromo total mediante absorción atómica. Este método no distingue entre el cromo hexavalente y el cromo trivalente, sólo reporta el cromo total, el cual podría incluir todo el cromo trivalente, todo el cromo hexavalente o una mezcla de las dos valencias.

#### **Método EPA 7190—Cromo (Absorción atómica con aspiración directa)<sup>4</sup>**

El método EPA 7190 se utiliza para medir el cromo total mediante la absorción atómica utilizando aspiración directa. Este método no distingue entre el cromo hexavalente y el cromo trivalente, sólo reporta el cromo total.

#### **Método EPA 7951—Zinc (Absorción atómica con técnica de horno)<sup>5</sup>**

El método EPA 7951 es el método de absorción atómica para zinc; no proporciona datos de cromo hexavalente o cromo total.

---

<sup>3</sup> <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/7191.pdf>

<sup>4</sup> <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/7190.pdf>

<sup>5</sup> <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/7951.pdf>

**APHA 3111B—Cromo 3111B.6 (Método directo con llama aire-acetileno) de la Asociación Norteamericana de la Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés)**

El método APHA 3111B se utiliza para medir el cromo total mediante la absorción atómica, y es similar al método EPA 7190. Este método no distingue entre el cromo hexavalente y el cromo trivalente, sólo reporta el cromo total. El método APHA 3500 es el método de la APHA para el análisis de cromo hexavalente pero no fue citado como uno de los métodos analíticos utilizados por los peritos sugeridos por los demandantes.

**SM 3500 Cr—Método estándar 3500-Cr<sup>6</sup>**

El método SM 3500 Cr es un método colorimétrico utilizado para medir el cromo hexavalente en el agua. Para su análisis en suelo y en matrices sólidas, se necesita una extracción inicial o un procedimiento de digestión para extraer el Cr(VI) de la matriz.. Para analizar Cr(VI), se necesita una digestión alcalina, como el método EPA 3060A. Para cromo total, se utilizaría una digestión ácida, como el método EPA 3050. Este método no incluye una columna separadora de intercambio de iones, similar al método EPA 7199 (que se describe más adelante) y, en consecuencia, el método tiene una sensibilidad menor (límite alto de detección).

**Método EPA 6010B—Plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de emisión atómica (ICP-AES)<sup>7</sup>**

El método EPA 6010B mide los elementos traza, incluyendo el cromo total en una solución, similar al método EPA 200.7.

**Método EPA 7000<sup>8</sup>**

Los peritos sugeridos por los demandantes reportaron que se utilizó el método EPA 7000 para medir el cromo total en una muestra de agua. EPA 7000 es una serie de métodos, que incluyen la absorción atómica y la aspiración directa (método EPA 7190) o técnicas de horno (método EPA 7191) descritos anteriormente para medir el cromo total.

**Método EPA 7199—Determinación de cromo hexavalente en agua potable, agua subterránea y aguas residuales industriales mediante la cromatografía de iones.<sup>9</sup>**

El método EPA 7199 se utiliza frecuentemente y es un método altamente confiable para medir el Cr(VI). Para suelo y matrices sólidas, se realiza una extracción inicial o un procedimiento de digestión, como el método EPA 3060A. Luego de la digestión, se utiliza una columna separadora de intercambio de iones para separar el  $\text{CrO}_4^{2-}$  de otros iones en la muestra que puedan interferir con el análisis. La medición del Cr(VI) posterior a la columna separadora se realiza colorimétricamente utilizando la reacción con difenilcarbazida y la medición a 530 nm.

---

<sup>6</sup> <http://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=222>

<sup>7</sup> <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/6010b.pdf>

<sup>8</sup> [http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/7\\_series.htm](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/7_series.htm)

<sup>9</sup> <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/7199.pdf>

### **Método EPA 7196A—Cromo, hexavalente (Colorimétrico)<sup>10</sup>**

El método EPA 7196A también se utiliza frecuentemente y es un método altamente confiable para medir el Cr(VI). Para suelo y matrices sólidas, se realiza una extracción inicial o un procedimiento de digestión, como el método EPA 3060A. Luego de la digestión, se realiza el análisis de Cr(VI) colorimétricamente utilizando la reacción con difenilcarbazida en una solución ácida. El método puede ser sensible a algunas sustancias que causan interferencia, tales como molibdeno, vanadio y mercurio, si están presentes en concentraciones muy altas. La ventaja de utilizar el método 7199 en lugar del método 7196A es que la posibilidad de interferencia se reduce con el primer método.

### **Método EPA 200.7—Elementos traza en agua, sólidos y biosólidos por Plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de emisión atómica (ICP-AES, por su siglas en inglés)<sup>11</sup>**

El método EPA 200.7 es un análisis por medio de ICP-AES de analitos disueltos en muestras acuosas, incluyendo el cromo total. Los instrumentos miden los espectros de emisión de línea característica mediante la espectrometría óptica. El ICP produce espectros de emisión específicos a los elementos y un dispositivo fotosensible monitorea los espectros de línea a una longitud de onda específica.

## **Análisis de los datos ambientales de cromo total y cromo hexavalente**

### **Suelo**

Los niveles de cromo total y de Cr(VI) reportados por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada se resumen en la Tabla 2. Esta tabla presenta los datos como se reportaron y se debe notar que más del 98% de los datos de Cr(VI) de los peritos sugeridos por los demandantes no se analizaron utilizando un método válido para Cr(VI).

### ***Cromo hexavalente***

Como se mencionó anteriormente, la gran mayoría (mas del 98%) de los datos de Cr(VI) de los peritos sugeridos por los demandantes no se basan en un método analítico capaz de aislar y medir Cr(VI) por separado del cromo trivalente o el cromo total. La concentración de Cr(VI) no se puede medir con el Método 7191 ni con el Método 7951. Asimismo, se debe cuestionar si los resultados obtenidos con el método SM 3500 Cr son representativos del contenido del Cr(VI) en el suelo y sedimento, debido a que este es un método para aguas y no se cuenta con información que indique el método de digestión utilizado para remover el Cr(VI) de la matriz de suelo. Solamente el Método EPA 7199 y el Método EPA 7196A, de los diferentes métodos utilizados por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada para analizar Cr(VI) en el suelo, generan valores confiables de Cr(VI).

---

<sup>10</sup> <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/7196a.pdf>

<sup>11</sup> [http://www.epa.gov/ogwdw000/methods/inch\\_tbl.html](http://www.epa.gov/ogwdw000/methods/inch_tbl.html)

**Tabla 2. Resumen de datos de cromo total y hexavalente reportados en suelos.**

	Peritos sugeridos por los demandantes		Peritos sugeridos por la demandada	
	Cromo total	Cromo hexavalente <sup>a</sup>	Cromo total	Cromo hexavalente
Número de sitios de Inspección Judicial de donde se tomaron muestras	7	38	24	24
Muestras analizadas, incluyendo las muestras duplicadas	45	292	376	376
Fracción con concentraciones ND <sup>a</sup>	4%	29%	0%	95%
Mínima Concentración detectable (mg/kg)	0,2	0,01	3,4	0,03J <sup>b</sup>
Máxima Concentración (mg/kg)	219	32,2	118	0,129J
Concentración media <sup>c</sup> aritmética (mg/kg)	54,5	0,906	24,5	0,02

<sup>a</sup> Datos de Cr(VI) tal como fueron reportados por los peritos sugeridos por los demandantes. Debe tomarse en cuenta que mas del 98% de los datos de Cr(VI) de los peritos sugeridos por los demandantes no se analizaron con un método específico para el Cr(VI) y, en consecuencia, no son confiables.

<sup>b</sup>J = Valor estimado

<sup>c</sup> Los valores no detectados se incluyeron como la mitad del límite de detección (LOD, por sus siglas en ingles), cuando se proporcionó el LOD, para el cálculo de la media aritmética. Cuando no se proporcionó ningún LOD, la muestra no se incluyó en el cálculo. Se usó el promedio de las muestras duplicadas de los peritos sugeridos por la demandada para calcular la media aritmética para los sitios de las Inspecciones Judiciales.

Debido a que el Cr(VI) se reportó incorrectamente en el resumen de datos, se reorganizaron los datos de acuerdo a los métodos analíticos utilizados por los peritos sugeridos por los demandantes (Tabla 3) y se agruparon todos los datos de Cr(VI) en suelo que fueron analizados por los peritos sugeridos por la demandada y los peritos sugeridos por los demandantes utilizando un método confiable para Cr(VI) (Tabla 4). Aunque los resultados obtenidos utilizando el método SM 3500 Cr podrían resultar útiles si a las muestras de suelo se les hubiera hecho una digestión alcalina, parece que los resultados no son confiables, porque las concentraciones reportadas mediante este método están muy por debajo del límite de detección analítico esperado para este método. Sólo los métodos 7199 y 7196A se conocen como métodos confiables para la detección de Cr(VI).

**Tabla 3. Resumen de los datos de cromo hexavalente en suelo obtenidos por cada método analítico utilizado por los peritos sugeridos por los demandantes (Sólo los datos obtenidos con el método EPA 7199 (en negrilla) representan concentraciones reales de cromo hexavalente)**

	Método analítico empleado				Total
	EPA 7191	<b>EPA 7199<sup>a</sup></b>	EPA 7951	SM3500 Cr	
Número de sitios de Inspección Judicial de donde se tomaron muestras	28	<b>3</b>	1	6	38
Cantidad total de muestras analizadas	217	<b>5</b>	12	58	292
Fracción con concentraciones ND	21%	<b>80%</b>	0%	59%	29%
Mínima Concentración detectable (mg/kg)	0,01	<b>0,087</b>	0,76	0,16	0,01
Máxima Concentración (mg/kg).	8,31	<b>0,087</b>	32,18	2,63	32,18
Concentración media <sup>b</sup> aritmética (mg/kg)	0,739	<b>No calculado<sup>c</sup></b>	5,97	0,503	0,906

<sup>a</sup> De los métodos utilizados por los peritos sugeridos por los demandantes, solo el método EPA 7199 mide acertadamente el Cr(VI).

<sup>b</sup> Los valores no detectados se incluyeron como la mitad del límite de detección (LOD), cuando se proporcionó el LOD, para el cálculo de la media aritmética.

<sup>c</sup> No se calculó porque sólo una muestra contenía una concentración detectable de Cr(VI).

**Tabla 4. Resumen de datos de Cr(VI) en suelo recolectados por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada utilizando métodos analíticos correctos (EPA 7199 o 7196A)**

	Peritos sugeridos por los demandantes	Peritos sugeridos por la demandada
	EPA 7199	EPA 7196A
Número de sitios de Inspección Judicial de donde se tomaron muestras	3	24
Muestras analizadas, incluyendo las muestras duplicadas	5	376
Fracción con concentraciones ND	80%	95%
Mínima Concentración detectable (mg/kg)	0,087	0,03 <sup>a</sup>
Máxima Concentración (mg/kg)	0,087	0,129 <sup>b</sup>
Concentración media <sup>b</sup> aritmética (mg/kg)	No calculado <sup>c</sup>	0,02

<sup>a</sup> J = Valor estimado

<sup>b</sup> Los valores no detectados se incluyeron como la mitad del límite de detección (LOD) para el cálculo de la media aritmética. Se usó el promedio de las muestras duplicadas de los peritos sugeridos por la demandada para calcular la media aritmética para los sitios de las Inspecciones Judiciales.

<sup>c</sup> No se calculó porque sólo una muestra contenía una concentración detectable de Cr(VI).

Los datos de Cr(VI) en suelos generados utilizando métodos analíticos correctos (métodos 7199 y 7196A) son razonablemente consistentes entre las muestras de los peritos sugeridos por los demandantes y las de los peritos sugeridos por la demandada (Tabla 4). Los peritos sugeridos por la demandada analizaron Cr(VI) en 376 muestras de suelo de 24 sitios de Inspección Judicial y 356 de esas muestras tuvieron concentraciones no detectables (95%). Veinte muestras tuvieron concentraciones detectables con niveles que van desde un valor estimado 0,03 mg/kg hasta un valor estimado de 0,129 mg/kg. Los peritos sugeridos por los demandantes analizaron Cr(VI) en cinco muestras de suelo de tres sitios de Inspección Judicial utilizando el método 7199. En cuatro de estas muestras (80%) no se detectó Cr(VI) y la quinta tuvo una concentración de sólo 0,087 mg/kg. Estas cinco muestras se recolectaron en noviembre del 2007 y fueron las últimas muestras que los peritos sugeridos por los demandantes recolectaron en el conjunto de datos que se revisaron. Calsciences analizó estas muestras. En base a los datos obtenidos utilizando los métodos analíticos válidos por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada, se puede decir que el Cr(VI) se detectó con muy poca frecuencia—solo 5% de las muestras contenían concentraciones detectables—en los suelos y se ha medido sólo en concentraciones muy bajas (menores o iguales a 0,129 mg/kg, como valor estimado). Los niveles más elevados de Cr(VI) que reportaron los peritos sugeridos por los demandantes se analizaron utilizando un método incorrecto y no son confiables. De hecho, el nivel más alto de Cr(VI) en suelo que reportaron los peritos sugeridos por los demandantes (32,18 mg/kg) era en realidad un análisis de zinc, no cromo o Cr(VI).

### ***Cromo total***

Los niveles de cromo total en los sitios de Inspección Judicial son también razonablemente consistentes entre las muestras de los peritos sugeridos por los demandantes y de los peritos sugeridos por la demandada (Tabla 2). Los peritos sugeridos por la demandada analizaron cromo total en 376 muestras de suelo en 24 sitios de Inspección Judicial. Como era de esperarse, ya que el cromo trivalente se encuentra naturalmente en los suelos, se detectó cromo en todas las muestras, a niveles que van desde 3,4 mg/kg hasta 118 mg/kg. Asimismo, los peritos sugeridos por los demandantes reportaron que analizaron cromo en 45 muestras recolectadas de siete sitios de Inspección Judicial y dos de esas muestras tenían concentraciones no detectables (4%). En 43 muestras se detectó cromo total con niveles que van desde 0,2 hasta 219,24 mg/kg (Tabla 2). La concentración media aritmética de cromo total en las muestras recolectadas por los peritos sugeridos por la demandada fue de 24,5 mg/kg y la de las muestras recolectadas por los peritos sugeridos por los demandantes fue de 54,5 mg/kg. Como se menciona más adelante, los niveles de cromo total en suelo reportados por los peritos sugeridos por los demandantes y por los peritos sugeridos por la demandada se encuentran dentro del rango de niveles de cromo que ocurren naturalmente en el suelo.

### **Sedimento**

Tanto los peritos sugeridos por demandantes como los peritos sugeridos por la demandada reportaron concentraciones de cromo total y de Cr(VI) en sedimentos recolectados de drenajes y de fondos de piscinas, así como también de fuentes naturales tales como sedimentos en lagunas, esteros y pantanos. Los niveles de cromo total y hexavalente reportados en

sedimentos naturales (omitiendo las muestras recolectadas en drenajes y fondo de piscinas) se resumen en la Tabla 5.

Los métodos analíticos que utilizaron los peritos sugeridos por los demandantes y los peritos sugeridos por la demandada para sedimentos son similares a los que se utilizaron para los suelos (Tabla 1). Los niveles de cromo total que los peritos sugeridos por los demandantes reportaron en sedimentos parecen ser sumamente bajos para cromo total en sedimentos naturales, ya que deberían encontrarse niveles más altos de cromo naturalmente en los sedimentos. Los niveles de cromo total que ocurren naturalmente en el suelo se tratan en la siguiente sección, pero generalmente van desde 1 hasta 2000 mg/kg. Los datos de Cr(VI) en sedimentos de los peritos sugeridos por los demandantes son incorrectos ya que utilizaron métodos analíticos equivocados, a excepción de dos de las 38 muestras de sedimento, las cuales fueron analizadas con el método EPA 7199. Los peritos sugeridos por los demandantes no detectaron Cr(VI) en las dos muestras analizadas utilizando el método correcto (método EPA 7199).

**Tabla 5. Resumen de datos de cromo total y hexavalente reportados en sedimentos<sup>a</sup>**

	Peritos sugeridos por los demandantes		Peritos sugeridos por la demandada	
	Cromo total	Cromo hexavalente <sup>b</sup>	Cromo total	Cromo hexavalente
Número de sitios de Inspección Judicial de donde se tomaron muestras	1	15	8	8
Muestras analizadas, incluyendo las muestras duplicadas	5	38	40	40
Fracción con concentraciones ND	80%	18%	0%	93%
Mínima Concentración detectable (mg/kg).	0,58	0,01	6,8	0,097 <sup>Jc</sup>
Máxima Concentración (mg/kg).	0,58	1,9	168	1,11
Concentración media <sup>d</sup> aritmética (mg/kg)	0,156	0,379	27,9	0,0588

<sup>a</sup> Se incluyen datos de sedimentos naturales solamente; se excluyeron del resumen los sedimentos de drenajes y fondo de piscinas.

<sup>b</sup> Sólo dos de las muestras de los peritos sugeridos por los demandantes se analizaron utilizando un método analítico válido para Cr(VI); y en ninguna se detectó Cr(VI).

<sup>c</sup> J = Valor estimado

<sup>d</sup> Los valores no detectados se incluyeron como la mitad del límite de detección (LOD), cuando se proporcionó el LOD, para el cálculo de la media aritmética. Se usó el promedio de las muestras duplicadas de los peritos sugeridos por la demandada para calcular la media aritmética para los sitios de las Inspecciones Judiciales.

Los datos de cromo total y hexavalente en sedimentos de los peritos sugeridos por la demandada son consistentes con los datos de suelo que recogieron estos peritos. Se recolectaron 40 muestras de ocho sitios de Inspección Judicial y se analizaron Cr(VI) y cromo

total utilizando métodos válidos (Tabla 1). En todas las muestras se detectaron concentraciones de cromo total, que varían de 6,8 mg/kg hasta 168 mg/kg. Para Cr(VI), en 37 de las 40 muestras no se detectó Cr(VI). En 3 de esas muestras se detectó Cr(VI) con niveles que van desde un valor estimado 0,097 mg/kg hasta 1,11 mg/kg.

Los peritos sugeridos por los demandantes y los peritos sugeridos por la demandada también recolectaron muestras de sedimentos de fondos de piscinas y de drenajes. Los peritos sugeridos por los demandantes analizaron cromo total en una muestra y Cr(VI) en 14 muestras; sin embargo, ninguna de las muestras de Cr(VI) se analizó utilizando un método analítico válido para Cr(VI). Los peritos sugeridos por la demandada analizaron cromo total y Cr(VI) en ocho muestras. La concentración media de cromo total fue de 19,5 mg/kg y en ninguna de las muestras se detectó Cr(VI). Todas las muestras recolectadas por los peritos sugeridos por la demandada se analizaron con métodos analíticos válidos y confiables para los analitos (cromo total o hexavalente) reportados.

### **Agua**

Tanto los peritos sugeridos por los demandantes como los peritos sugeridos por la demandada, reportaron niveles de cromo total en agua y los peritos sugeridos por los demandantes analizaron Cr(VI) en las muestras de agua (Tabla 6). Los peritos sugeridos por los demandantes reportaron que analizaron cromo total en una muestra utilizando el método EPA 7000 y en las otras siete muestras utilizando el método SM 3500.

Según lo reportado, los peritos sugeridos por los demandantes analizaron Cr(VI) utilizando los métodos EPA 7196A, SM 3500 Cr y APHA 3111 Cr B (Tabla 1). Como se mencionó anteriormente, el método 7196A es un método analítico válido para Cr(VI) y el método APHA 3111 Cr B se utiliza para medir el cromo total pero no puede medir el Cr(VI) específicamente. No está claro si las muestras analizadas con el método SM 3500 Cr son específicas para Cr(VI) o para cromo total. Sin embargo, de las seis muestras analizadas con el método SM 3500 Cr, cinco tenían concentraciones no detectables (<0,01 mg/l) y una tenía una concentración detectada de 0,02 mg/l. Debido a que todas las muestras analizadas con el método SM 3500 contenían niveles de cromo que están por debajo de los estándares de calidad de agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) tanto para Cr(VI) como para cromo total, la conclusión anterior, de que las concentraciones en el agua no sugieren que exista un riesgo potencial para la salud, se mantiene sin importar si los resultados del método SM 3500 en agua reportan concentraciones de Cr(VI) o de cromo total (OMS 2003).

Los peritos sugeridos por la demandada analizaron cromo total con el método EPA 200.7, pero no analizaron Cr(VI), debido al tiempo de análisis limitado de 24 horas que se requiere para las muestras de agua y a que no se disponía de un laboratorio analítico capaz de llevar a cabo el análisis dentro de ese tiempo de análisis (Tabla 1).

**Tabla 6. Resumen de datos de cromo total y hexavalente en agua reportados.**

	Peritos sugeridos por los demandantes			Peritos sugeridos por la demandada	
	Cromo total	Cromo hexavalente <sup>a</sup>		Cromo total	Cromo hexavalente <sup>b</sup>
		Método EPA 7196A	Método APHA 3111 Cr B o SM 3500		
Numero de sitios de Inspección Judicial de donde se tomaron muestras	3	9	7	28	0
Muestras analizadas, incluyendo las muestras duplicadas	8	19	19	208	0
Fracción con concentraciones ND	75%	5%	32%	88%	No disponible
Mínima Concentración detectable (mg/l)	0,01	0,01	0,01	0,0011 <sup>c</sup>	No disponible
Máxima Concentración (mg/l)	0,02	0,02	0,11	0,026	No disponible
Concentración media aritmética <sup>d</sup> (mg/l)	0,008	0,01	0,047	0,0012	No disponible

<sup>a</sup> Sólo el uso del método EPA 7196A para el análisis de Cr(VI) es confiable.

<sup>b</sup> No se analizó porque no se pudo completar el análisis dentro de 24 horas, como se requiere, para asegurar la calidad de los datos.

<sup>c</sup> J = Valor estimado

<sup>d</sup> Los valores no detectados se incluyeron como la mitad del límite de detección (LOD), cuando se proporcionó el LOD, para el cálculo de la media aritmética. Se usó el promedio de las muestras duplicadas de los peritos sugeridos por la demandada para calcular la media aritmética para los sitios de las Inspecciones Judiciales.

Los peritos sugeridos por los demandantes recolectaron ocho muestras de agua de cuatro sitios de las Inspecciones Judiciales y analizaron cromo total (Tabla 6). En seis de las ocho muestras de agua no se detectaron concentraciones. Las dos muestras con concentraciones detectadas, reportaron valores que van de 0,01 hasta 0,02 mg/l. Los peritos sugeridos por los demandantes reportaron que analizaron Cr(VI) en 38 muestras en 16 sitios de Inspección Judicial; sin embargo, sólo las 19 muestras que se analizaron con el método EPA 7196A proporcionan datos confiables. 16 de las 19 muestras de agua que los demandantes analizaron utilizando el método analítico correcto tenían una concentración de 0,01 mg/l, 2 muestras contenían 0,02 mg/l y en una muestra, no se detectó Cr(VI). Los niveles más altos de Cr(VI) reportados por los peritos sugeridos por los demandantes (0,11 mg/l) correspondieron a tres muestras de agua superficial recolectadas en SSF-08 y analizadas con el método APHA 3111 Cr B. Estos datos no son válidos porque el método no es específico para Cr(VI).

No se espera que los niveles de Cr(VI) y de cromo total reportados con métodos analíticas confiables en las muestras de agua de los peritos sugeridos por los demandantes y de los peritos sugeridos por la demandada presenten un riesgo para la salud de los residentes locales que podrían tomar el agua. Los niveles de Cr(VI) que reportaron los peritos sugeridos por los

demandantes utilizando el método 7196A no exceden el criterio para Cr(VI) en agua potable de 0,05 mg/l (OMS 2003).

Los peritos sugeridos por la demandada recolectaron 208 muestras de agua de 28 sitios de Inspección Judicial y analizaron cromo total. 182 muestras tenían concentraciones no detectables (88%). En 26 de las muestras con concentraciones detectadas, los niveles van de 0,0011 hasta 0,026 mg/l. Todos los datos de cromo total de los peritos sugeridos por la demandada se obtuvieron con un método analítico confiable. Ninguna concentración de cromo total en las muestras de los peritos sugeridos por la demandada excede el criterio para Cr(VI) en agua potable de 0,05 mg/l de la OMS o el criterio para cromo total en agua potable de 0,1 mg/l de los EE.UU.

### **Niveles de fondo de cromo en suelo**

Es ampliamente conocido que el cromo es un mineral que ocurre naturalmente en estado trivalente en suelos y sedimentos (OMS 1988) y hay evidencia reciente de que el Cr(VI) puede encontrarse en la naturaleza en ciertos suelos y aguas subterráneas (Oze et al. 2007). Sobre todo, los suelos de serpentina derivados de rocas ultramáficas están enriquecidos con cromo. El cromo se presenta naturalmente en los suelos con concentraciones que van desde 1 a 2000 mg/kg. Dragun y Chaisson (1991) reportaron una concentración promedio y una desviación media de 54 mg/kg y 57 mg/kg, respectivamente, de cromo total para suelos norteamericanos. La Encuesta Geológica de los EE.UU. (USGS, por sus siglas en inglés) reporta niveles de cromo total que van desde 1 hasta 2000 mg/kg a lo largo de los EE.UU., con niveles promedio de 56 y 52 mg/kg en el oeste y el este de los EE.UU., respectivamente (Shacklette y Boerngen 1984). Se reporta que los niveles relativamente altos de cromo que se encuentran en el norte de California y el sur de Oregon, incluyendo las concentraciones más altas, coinciden con la presencia de rocas ultramáficas en el área (Gustavasson et al. 2001). Los niveles en estas áreas tienen un promedio de aproximadamente 200 mg/kg.

Se espera que todos los suelos tengan, de forma natural, niveles de fondo de cromo, incluyendo los suelos de los sitios de las Inspecciones Judiciales. Los niveles de cromo total detectados en las muestras que no contienen hidrocarburos totales de petróleo (TPH, por sus siglas en inglés) y que, por lo tanto, se asume que no fueron afectados por las operaciones petroleras, van desde 5,5 hasta 118 mg/kg. Asimismo, los niveles de Cr(VI) en las mismas muestras van desde <0,026 hasta 0,113 mg/kg (Anexo 4). Se ha medido recientemente la ocurrencia natural de Cr(VI) en agua subterránea y agua de poro asociada con suelos y sedimentos derivados de rocas ultramáficas en varios sitios en California, en el Valle de León, Guanajuato en México y en la provincia de Spezia en Italia (Oze et al 2007).

Los niveles de cromo total medidos en sitios de Inspección Judicial son consistentes con los niveles de cromo total que se encuentran naturalmente en suelos en todo el mundo. Los niveles de Cr(VI) detectados utilizando métodos analíticos confiables son extremadamente bajos y podrían potencialmente representar minerales que se encuentran naturalmente en el suelo.

## **Niveles de evaluación de suelo de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (USEPA)**

La USEPA ha desarrollado niveles de evaluación de suelo (SSL, por sus siglas en inglés) para evaluar la necesidad de realizar futuras investigaciones y de realizar una remediación de compuestos químicos en el suelo, para proteger a las poblaciones humanas. Los SSL Residenciales se desarrollaron inicialmente en 1996. En 2002, se desarrollaron valores para áreas comerciales e industriales y se actualizaron los valores para zonas residenciales. Los SSL de 1996 para cromo trivalente, Cr(VI) y para cromo total se resumen en la Tabla 7. La USEPA desarrolló valores para cromo total que son consistentes con aquellos para Cr(VI) para ser utilizados en casos donde no hay datos específicos del compuestos disponibles [por ejemplo, cuando no se analizó específicamente el Cr(VI)]. Debido a que se tienen datos disponibles para los sitios de Inspección Judicial y los niveles de Cr(VI) que se recolectaron utilizando métodos analíticos válidos son muy bajos, los niveles de cromo total en las muestras de suelo de las Inspecciones Judiciales deberían compararse con los SSL para cromo trivalente [Cr(III)], ya que cromo total es la suma de Cr(VI) y Cr(III).

Los SSL de la USEPA están diseñados para proteger la salud humana en las condiciones de exposición máxima razonables. Hay muchos factores que hacen que los SSL sean conservadores (por ejemplo, sobrevaloración de la exposición y riesgos para la salud). Por ejemplo, los SSL se basan en un supuesto de exposición casi continua en el sitio. Los SSL residenciales suponen que un individuo vive en el sitio, con una exposición que dura los 350 días del año por 30 años. Los SSL no incorporan presunciones que limitan la exposición en base a las condiciones esperadas o específicas del sitio, tales como el hecho de que las inclemencias del tiempo restringen el contacto con el suelo, los químicos en el suelo no se absorben tan bien como los químicos puros utilizados en las pruebas de toxicidad (como la bio-disponibilidad limitada) y el hecho de que los residentes generalmente dejan sus hogares por una parte del día o del año para trabajar, estudiar, viajar y otras razones. Además, los SSL se basan en los criterios de toxicidad de la USEPA, que están diseñados para proteger a las subpoblaciones sensibles y tiene en cuenta las incertidumbres y limitaciones en la literatura disponible sobre toxicología. La combinación de las suposiciones conservadoras de exposición y criterios de toxicidad conservadores, genera SSL que posiblemente sean sobreprotectores en casi todas, si no todas, las condiciones de exposición.

Se entiende que los SSL residenciales de 1996 para ingestión e inhalación de partículas fugitivas se utilizaron para evaluar las concentraciones de compuestos químicos en el medio ambiente durante el proceso de las Inspecciones Judiciales. Sin embargo, en consistencia con las pautas de la OMS, los SSL basados en un punto final de cáncer se modificaron para ser consistentes con el nivel teórico de riesgo excesivo de contraer cáncer de diez en un millón ( $10^{-5}$ ). Tal como se publicaron, los SSL de la USEPA para puntos finales de cáncer protegen el nivel teórico de riesgo excesivo de contraer cáncer de uno en un millón ( $10^{-6}$ ). Sólo se calculan los SSL para Cr(VI) por inhalación de partículas fugitivas sobre la base de la protección contra un riesgo potencial de contraer cáncer, y el SSL de Cr(VI) de ingestión de suelo sobre la base de la protección contra un riesgo potencial de contraer enfermedades que no son cáncer. Por lo tanto, para los proyectos de las Inspecciones Judiciales, el SSL de 1996 para inhalación de partículas de 270 mg/kg se multiplicó por 10 (2.700 mg/kg) dando como resultado un valor que protege de un riesgo excesivo de contraer cáncer de  $10^{-5}$  (Tabla 7).

Debido a que el SSL que protege en caso de ingestión del suelo en un sitio residencial (390 mg/kg) es menor que el valor basado en la inhalación ajustado a un riesgo de  $10^{-5}$  (2.700 mg/kg), se utilizó el SSL de Cr(VI) de ingestión de suelo de 390 mg/kg para evaluar los sitios de Inspección Judicial. Para el cromo total, se utilizó el SSL de cromo trivalente de 78.000 mg/kg. Por último, no se utilizaron los SSL que desarrolló la USEPA para la migración del cromo del suelo al agua subterránea debido a que el cromo estaba analizado en las muestras de agua subterránea para evaluar si el cromo en el suelo había afectado el agua subterránea en los sitios de las Inspecciones Judiciales. Los resultados de estas investigaciones de agua subterránea demuestran que el cromo en el agua subterránea no representa una preocupación potencial para la salud humana en los sitios de Inspección Judicial.

Ninguna de las muestras que se analizó utilizando los métodos analíticos correctos tiene concentraciones que excedan los SSL para Cr(VI). De manera similar, ninguna muestra recolectada de los sitios de Inspección Judicial, en la que se analizó cromo total excede el SSL para Cr(III). Parece razonable concluir que virtualmente todo el cromo total encontrado en los sitios de Inspección Judicial está en estado trivalente, porque los niveles de Cr(VI) analizados con los métodos analíticos correctos son extremadamente bajos (menores o iguales a 0,129 mg/kg) y las concentraciones de cromo total son consistentes con los niveles de fondo que se encuentran en la naturaleza. Por lo tanto, se puede concluir que los niveles de cromo detectados en el suelo no plantean una preocupación para la salud.

**Tabla 7. Niveles de evaluación para cromo en suelo residencial de 1996 de la USEPA<sup>a</sup>**

Compuesto	Ingestión (mg/kg)	Inhalación de partículas fugitivas (mg/kg)
Cr total	390 <sup>b</sup>	270 <sup>c, e</sup>
Cr(VI)	390 <sup>b</sup>	270 <sup>c, e</sup>
Cr(III)	78000 <sup>b</sup>	-- <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Los niveles de evaluación se basan solamente en criterios de salud.

<sup>b</sup> Los valores de la USEPA calculados corresponden a un cociente de peligro no cancerígeno de 1.

<sup>c</sup> Los valores de la USEPA calculados corresponden a un nivel de riesgo de contraer cáncer de 1 en 1.000.000.

<sup>d</sup> No hay criterios de toxicidad disponibles para esa ruta de exposición.

<sup>e</sup> Para las actividades de remediación de las Inspecciones Judiciales, los SSL para inhalación de partículas fugitivas se multiplicaron por un factor de 10 para ser consistentes con un riesgo de contraer cáncer de  $10^{-5}$ , según las pautas de la OMS, lo que resultó en un nivel de 2700 mg/kg para esta ruta.

### **Uso de lignosulfonato de cromo ferroso y otros aditivos que contienen cromo durante la exploración petrolera**

Los lodos y fluidos de perforación y empaque usados durante la exploración petrolera pueden contener cromo. Según se entiende, Texpet usó lignosulfonatos de cromo ferroso, bajo los nombres comerciales Spersene y Q-Broxin, como agentes defloculantes en los lodos de perforación en los sitios de Inspección Judicial. Además, otros agentes químicos que contienen cromo, tales como el sulfato potásico de cromo [un tipo de Cr(III)] y bicromato de potasio [un tipo de Cr(VI)], pueden haberse usado durante las operaciones de perforación.

Los lignosulfonatos de cromo ferroso se preparan al tratar el lignosulfonato con ácido sulfúrico y bicromato de sodio [un tipo de Cr(VI)]. El bicromato de sodio oxida al lignosulfonato y, como parte del proceso, se reduce el Cr(VI) a un estado trivalente insoluble menos tóxico (NAS 1983; Neff 2005). No se espera que el Cr(VI) este presente en los lignosulfonatos de cromo ferroso debido a la abundancia de agentes reductores en relación a la masa de Cr (4% a 5%) que se agrega al lignosulfonato (95% a 96%). Asimismo, el sulfato potásico de cromo puede haber sido usado durante la perforación, pero es una forma trivalente del cromo. Por lo tanto, no se espera que el uso de lignosulfonato de cromo ferroso y de sulfato potásico de cromo en las operaciones de perforación aporte Cr(VI) en el ambiente.

Un informe analítico de un laboratorio químico, presentado por M-I Drilling Fluids Co., con fecha del 20 de julio de 1994 presenta el contenido de Cr(VI) del Spersene, uno de los lignosulfonatos de cromo ferroso que pueden haber sido utilizados en los sitios de Inspección Judicial. El procedimiento analítico se describe como “Titrición, digestión ácida con ácidos nítrico/perclórico, espectroscopia de absorción atómica”. Aunque no se incluye documentación adicional como parte de este informe, no es razonable esperar que este procedimiento analítico sea capaz de medir el Cr(VI) en el Spersene, debido a que la digestión con ácido nítrico y ácido perclórico altera la valencia del cromo en la muestra; por lo tanto, no puede extraer y aislar el Cr(VI) para analizarlo. El Cr(VI) es estable para su extracción únicamente con la digestión neutral o alcalina utilizando bicarbonato de sodio con un pH de aproximadamente 9, como en el método EPA 3060A. Por lo tanto, no se debe inferir que el Spersene contiene Cr(VI) basándose en este informe del laboratorio. El informe de 1983 de la National Academy of Sciences (Academia Nacional de Ciencias) sobre los impactos de las descargas de las actividades de perforación en los ambientes marinos, afirma de forma clara y correcta que el cromo en el lignosulfonato de cromo ferroso se encuentra en forma trivalente y el uso de estos compuestos no es una fuente de Cr(VI) en los sitios de Inspección Judicial.

Se entiende que el bicromato de potasio, una sal de Cr(VI), puede haber sido utilizada como aditivo en el fluido de empaque durante las operaciones en los sitios de las Inspección Judicial. No es probable que el Cr(VI) permanezca estable en las condiciones de un fluido de empaque. Por ejemplo, los fluidos de empaque frecuentemente contienen petróleo o diesel, los cuales proporcionarían las condiciones reductoras para el Cr(VI). Aunque el uso de esta sal en las operaciones de perforación podría haber introducido cantidades relativamente pequeñas de Cr(VI) al ambiente en los sitios de Inspección Judicial, los datos recolectados en estos sitios no indican que la contaminación ambiental con Cr(VI) esta presente a niveles que puedan ser peligrosos para la salud humana.

## **Bibliografía**

Dragun, J. y A. Chiasson. 1991. Elements in North American soils. Hazardous Materials Control Resources Institutes, Greenbelt, MD.

Gustavasson, N., B. Bolviken, D.B. Smith y R.C. Severson. 2001. Geochemical landscapes of the conterminous United States. EE.UU. Geological Survey Professional Paper 1648.

NAS. 1983. Drilling discharges in the marine environment. National Academy of Sciences, National Academy Press, Washington, DC. 180 pp.

Neff, J.M. 2005. Composition, environmental fates, and biological effect of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment: A synthesis and annotated bibliography. Report prepared for the Petroleum Environmental Research Forum (PERF). Available from American Petroleum Institute, Washington, DC. 73 pp.

Oze, C., D.K. Bird, y S. Fendorf. 2007. Genesis of hexavalent chromium from natural sources in soil and groundwater. Proceedings of National Academy of Sciences 104(16):6544–6549.

Shacklette, H.T. y J.G. Boerngen. 1984. Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. EE.UU. Geological Survey Professional Paper 1270.

WHO. 2003. Chromium in Drinking-water. Background document for development of WHO's guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Geneva.