

*Geof. Int.*, Vol. 28-2, 1989, pp. 409-416

## **MONITOREO GEOFISICO EN EL ENTORNO DE UN BASURERO INDUSTRIAL DE DESECHOS DE CROMO**

T. GONZALEZ-MORAN\*  
R. RODRIGUEZ-CASTILLO\*

### **RESUMEN**

En la porción noroeste de la Cuenca de México (Municipio de Tultitlán, Estado de México) se encuentra un depósito de desechos industriales que contiene grandes cantidades de cromato (cromo hexavalente (Cr VI)) y sulfato de sodio, compuestos de alta solubilidad. El agua de lluvia, al infiltrarse por el depósito, provoca lixiviación, lo que contamina el agua subterránea.

En dicha área se realizó un estudio geoelectrico consistente en 51 calicatas con distancias electródicas  $AB = 40$  m. Su análisis e interpretación permitieron obtener un esquema geométrico tridimensional del volumen de terreno contaminado.

### **ABSTRACT**

In the north-west area of the Basin of Mexico (Tultitlan, Mexico State) there is an industrial waste disposal containing soluble chromium salts (Cr VI). The infiltration of rain water promotes percolation and, consequently, groundwater contamination.

A geoelectrical study was performed in this zone; it consisted of 51 profiles with electrodistances  $AB = 40$  m, whose analysis and interpretation allowed us to obtain a tridimensional geometrical scheme of the contaminated terrain.

\* *Instituto de Geofísica, UNAM, MEXICO.*

## INTRODUCCION

En años recientes, los efectos acumulados de la contaminación han llevado a una preocupación general y a una legislación, cada vez más estricta, en lo que concierne a la descarga de residuos industriales. Los tratamientos necesarios implican gastos elevados, lo que redundo en costos adicionales del producto manufacturado, razón por la cual muchas veces se infringen esas leyes. Siendo el agua un elemento vital en la industria química, se utiliza en muchos productos como solvente, reactivo, medio de reacción y de transporte en industrias alimentarias, refresqueras, cerveceras y de muchos otros tipos. Cualquiera que sea el proceso empleado, la calidad química y bacteriológica del agua es fundamental.

El presente estudio trata sobre los trabajos de prospección eléctrica llevados a cabo en los alrededores de un cementerio industrial, construido al cerrarse la empresa "Cromatos de México", dedicada a producir compuestos de cromo. El proceso de producción a cielo abierto de esta planta generaba grandes emisiones de polvo y de desechos con alto contenido de cromo en formas químicamente muy solubles, que contaminaron el aire y el suelo por infiltración de estos materiales. A partir de las columnas geológicas de algunos pozos y de análisis químicos y de conductividad de suelos, así como del cementerio, realizados por el Instituto de Geografía (Gutiérrez *et al.*, 1986) se simuló, por computadora, antes de realizar los trabajos de prospección, una serie de modelos para conocer de antemano el comportamiento geoelectrico del subsuelo. Dadas las características que presentan las muestras se trató de simular el efecto del sulfato y el cromato mediante una capa de baja resistividad que en las vecindades del cementerio debía ser bastante superficial. Posteriormente, se realizaron dos sondeos eléctricos cruzados, con dispositivo electródico Schlumberger, de cuya interpretación y análisis se seleccionó la apertura electródica AB adecuada para la realización de un estudio basado en un mapeo eléctrico de detalle, empleando la técnica de calicatas, con el fin de observar la dispersión de la capa mineralizante y su orientación.

## ANTECEDENTES

A fines de los años 50, se instaló en Lechería, Estado de México (figura 1) una empresa productora de compuestos de cromo que comenzó a contaminar el aire y el suelo, generando gran incidencia de enfermedades respiratorias, dada la enorme cantidad de desechos y cromo por tonelada del producto. A la clausura de esta planta



**REFERENCIAS**

- Centro de la zona en estudio
- ▭ Asentamiento de población
- +++++ Vía de ferrocarril
- Autopista
- Carretera
- ~ Curso fluvial



Fig. 1. Mapa de localización, Municipio de Tultitlán, Estado de México.

se decidió la construcción de un cementerio industrial que albergara el material residual producido durante 20 años por la empresa. Durante la primera década, el desecho fue utilizado como material de relleno en los alrededores de la empresa y en la nivelación de calles.

El cementerio industrial es un cajón con paredes de concreto reforzado de 25 cm de espesor, cubierto por una capa de tepetate y asfalto. En este recipiente, sin protección alguna en su parte inferior, se depositaron 75 mil toneladas de residuos que se encontraban esparcidos en los terrenos de la empresa (Tristán, 1984). Dadas las características de esta construcción, el agua de lluvia se infiltra y disuelve el cromo, distribuyéndolo lentamente en el subsuelo, según el patrón de la red de flujo en la zona.

#### CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el Municipio de Tultitlán, Estado de México. Hidrológicamente se trata de una antigua cuenca lacustre cuaternaria (Valle de Cuautitlán) que forma parte de la Cuenca de México. Su origen se remonta a procesos tectónicos y volcánicos que dieron origen a la Cuenca de México, al generarse ambientes vinculados a diversos tipos de volcanismo activo (Servicios Geofísicos, 1966). Se acumularon cientos de metros cúbicos de sedimentos arcillosos lagunares, con intercalaciones de arenas y gravas provenientes de acarreo fluvial de laderas vecinas, así como cenizas, tobas y lavas volcánicas. Se observan también andesitas y rocas basálticas muy fracturadas, producto del volcanismo terciario superior y reciente (figura 1). Estas características litológicas se encuentran en cortes de pozos ubicados en el Valle de Cuautitlán. La recarga de la zona se produce preferencialmente en las montañas del poniente. También existe una zona de captación en el Cerro Tultepec, con flujos hacia el sureste y noreste. La recarga de la zona sur del Valle de Cuautitlán era de  $3.66 \text{ m}^3/\text{seg}$  en 1960 (Gutiérrez *op. cit.*, 1986). Los niveles freáticos en los últimos 20 años se han abatido más de 30 m, debido a la creciente explotación, tanto para la industria como para abastecer la demanda local de fraccionamientos y algunos ramales de la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM) a la ciudad de México.

El análisis de suelos arrojó que el 16.7% de los puntos muestreados resultó contaminado. De las muestras con cromo, el 15.8% presentó valores de 10 ppm, el 31.6%, un valor entre 10 y 100 ppm, un 31.6% mayores de 100 y menores de 200 ppm y el resto, cantidades entre 500 y 6 480 ppm (Gutiérrez, *op. cit.*, 1986).

El área donde se confirmó la presencia de cromo soluble (alrededor de 30 hectáreas) comprende la vía López Portillo, la Colonia Recursos Hidráulicos y la Colonia Lechería.

### PROSPECCION GEOELECTRICA

Los análisis físico-químicos de muestras de suelo realizados por Gutiérrez *et al.* (*op. cit.*, 1986) para evaluar el potencial de contaminación de cromo en la zona, reportan valores de conductividad del orden de 0.2 a 1.0 m ohm<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>, lo que indica que las capas superficiales con altos contenidos de cromo VI y sulfato presentan condiciones adecuadas para el monitoreo geoelectrico.

Se efectuaron dos sondeos eléctricos verticales (SEV's), perpendiculares entre sí, con aperturas electródicas (AB = 200 metros) a fin de seleccionar las distancias AB óptimas para la implementación de calicatas eléctricas.

Los perfiles así obtenidos nos permiten de una manera económica y rápida, obtener un esquema tridimensional de la distribución del suelo saturado con los residuos de cromato y sulfato.

Una prospección geoelectrica en detalle requiere de una perfecta ubicación de los puntos de medición, por lo que se realizó un levantamiento topográfico cada 20 metros, cubriendo aproximadamente 30 000 metros cuadrados. Se efectuaron 51 calicatas con distancia AB = 40 metros y MN = 4 metros. Estos parámetros se seleccionaron con base en el comportamiento geoelectrico de los SEV's; en éstos se evidenció un mínimo relativo de resistividad aparente en AB = 30 - 50 metros. Esta zona se relacionó con la presencia de los contaminantes.

Los modelos geoelectricos obtenidos para ambas curvas SEV's mediante un programa de computadora basado en el algoritmo de O'Neill muestran una capa conductiva (40 - 60 ohm-m) que se asocia al paquete más saturado por la lixiviación de forma químicamente soluble de los residuos depositados. Aunque hay que considerar que la decisión de emplear calicatas se basó en el supuesto de que serían más resolutivos, cualitativamente, que los SEV's, ya que no se trata de un modelo geológico estratificado, homogéneo e isótropo.

Los resultados del monitoreo se vaciaron en una configuración de isolíneas (figu-

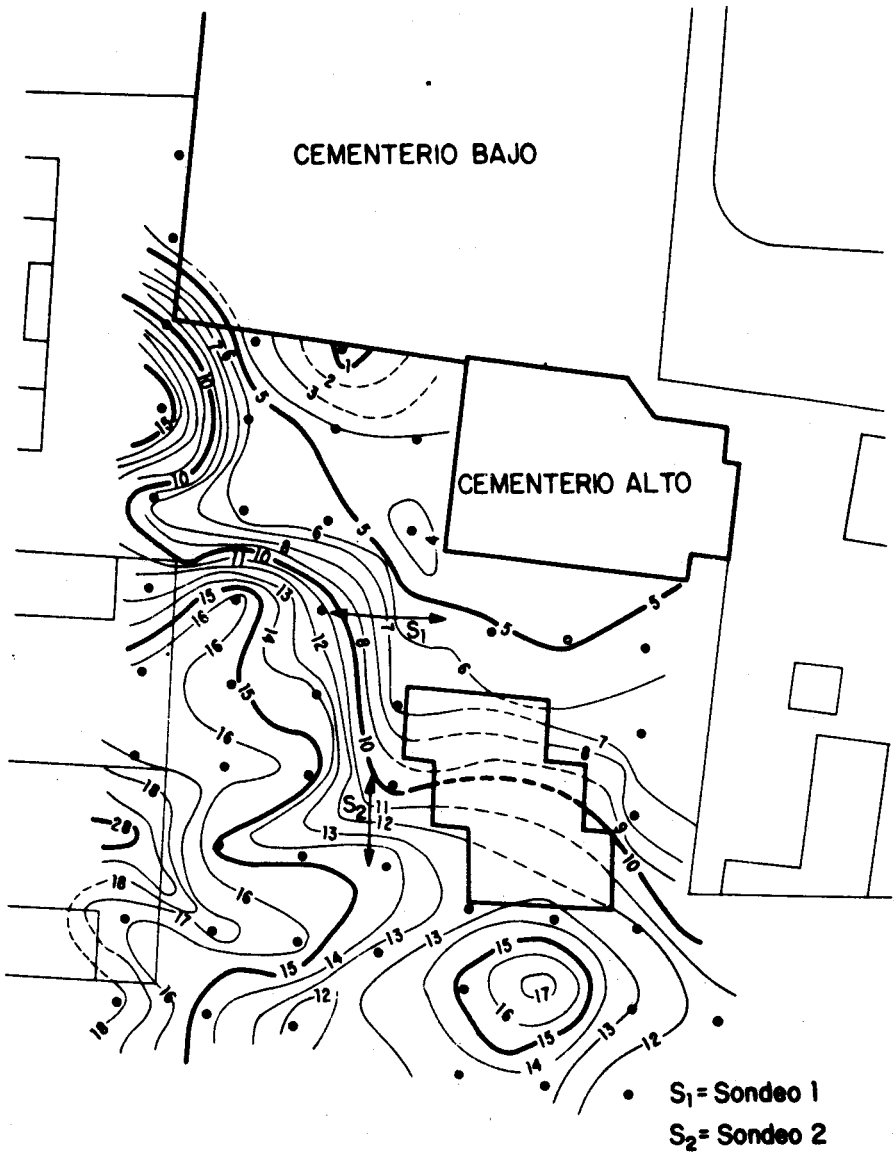


Fig. 2. Mapa de isólinas de resistividad aparente para la capa mineralizada.

ra 2), procediéndose posteriormente a la graficación tridimensional del inverso de la resistividad (figura 3).

Este efecto se incrementa a medida que nos acercamos a los depósitos, llegándose a obtener resistividades de 6 ohm-m. Altos gradientes relativos (figura 2) parecen indicar que existen volúmenes no afectados por la lixiviación, pudiéndose explicar en términos de compactación y/o baja porosidad.

La configuración obtenida no refleja el patrón de líneas de flujo generado por la posición de los pozos con mayor ritmo de extracción ubicados al oeste de la zona, debido a que se está observando un efecto muy local y no la distribución regional, la que debe ser concomitante con la dirección preferencial de flujo (este-oeste), controlada por el cono de abatimiento inducido por los pozos de las industrias ubicadas al oeste (Miranda, 1987).

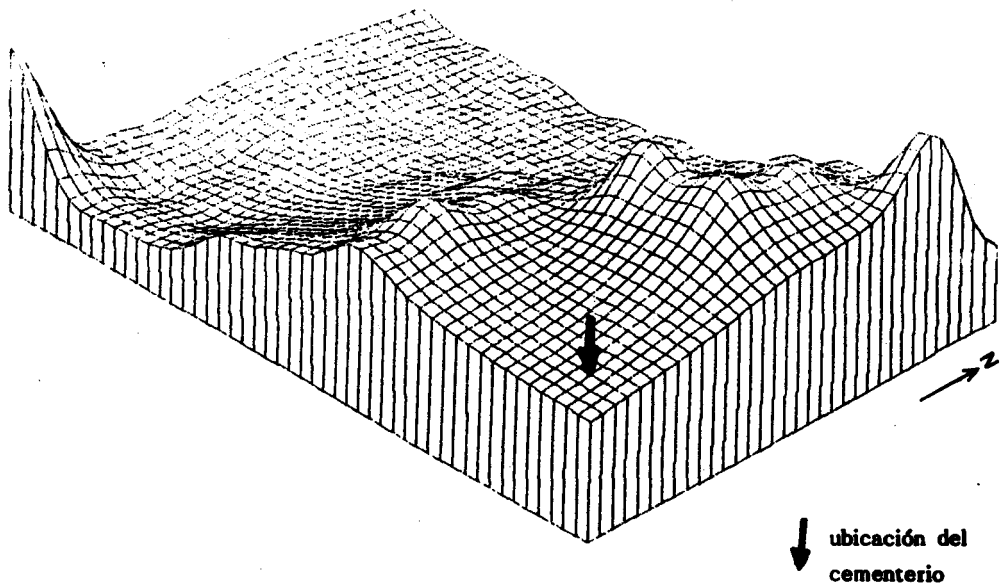


Fig. 3. Modelo isométrico tridimensional de la conductividad del terreno.

## DISCUSION DE RESULTADOS

El criterio de selección de la distancia electródica AB de las calicatas se basó en la profundidad esperada en la cima de la capa mineralizada, reflejada en la zona de mínimo relativo de resistividad aparente.

El mecanismo de lixiviación es controlado por la dirección de flujo y el gradiente hidráulico. La principal componente de flujo es vertical descendente propiciada por la precipitación que se infiltró por el techo del depósito disolviendo los residuos. La disolución provoca oquedades debido a la alta solubilidad del Cr VI el cual disminuye su volumen relativo en un 60%.

El lixiviado circula hasta el nivel piezométrico, en donde se diluye, contaminando el agua subterránea. La extensión lateral de los volúmenes afectados por el lixiviado varía en el entorno de los depósitos, principalmente por la irregular distribución de los desechos utilizados para nivelar el terreno.

En la figura 2, la isolínea de 12 ohm-m denota contenidos más o menos uniformes de cromato y sulfato de sodio.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración prestada por los Ingenieros Porfirio Díaz y Macario Martínez para la realización de los trabajos de campo.

## BIBLIOGRAFIA

- GUTIERREZ, R. M., V. G. BOCCO y B. S. CASTILLO, 1986. Contaminación por cromo en el norte de la Ciudad de México, un enfoque interdisciplinario. Boletín del Instituto de Geofísica, Número 16.
- MIRANDA H., J. A., 1987. Comportamiento Físico y Químico del cromo en aguas profundas en el Municipio de Tultitlán, Edo. de México (proyecto de tesis de licenciatura).
- SERVICIOS GEOFISICOS, 1966. Estudio Hidrogeológico y Geofísico de la zona de Cuautitlán, México: Reporte Técnico.
- TRISTAN, L. A., 1984. Estudio general del proyecto: Sulfato de Aluminio reciclado de los desechos de la planta de Cromato de México, S. A., C.I.M.A.D.I.