
APLICACIONES GEOFÍSICAS EN EL DESCUBRIMIENTO DE PLUMAS DE CONTAMINACIÓN EN ACUÍFEROS SUPERFICIALES

BERMEJO CARBONELL, Jose Luis¹; SAUCK, William² y ATEKWANA, Estella³

¹Hidrogeólogo - Geofísico, INEMA Ingenieros Asesores, S.L., Valencia, España

²Doctor y profesor en Geofísica de Western Michigan University, USA

³Geofísica y profesora de Western Michigan University, USA

ABSTRACT

Cada vez son más los casos de contaminación medioambiental producidos en nuestra sociedad debido a derrames en plantas industriales, vertidos incontrolados de basuras a las afueras de las ciudades, mala gestión de residuos sólidos y líquidos, etc.

Para crear un sistema de recuperación o limpieza eficaz sobre una zona contaminada, se debe tener una idea aproximada de cual es la fuente emisora de la contaminación, características físicas y químicas del contaminante, superficie, volumen, dirección y su velocidad de desplazamiento. El grado de exactitud de estos parámetros afecta directamente en la eficacia y en los costes de un plan de recuperación serio.

Normalmente ante una situación de contaminación aparente, los trabajos de evaluación suelen ser muy agresivos sobre los terrenos contaminados como puede ser la excavación y la perforación a ciegas de puntos de muestreo. Cuantos más puntos de muestreo se obtengan, mejor será la información sobre la contaminación, pero esto supone un alto coste en perforación y la delimitación de la contaminación aún seguirá siendo deficiente.

La aplicación de métodos geofísicos ofrecen una alternativa la cual permiten en la mayoría de los casos una mejor interpretación de la contaminación, disminuyendo el número de puntos de muestreo y dando una mejor definición de la pluma de contaminación para así diseñar una estrategia de limpieza y recuperación más eficaz.

La aplicación de métodos geofísicos permiten una mayor definición del contaminante vertical y longitudinalmente por consiguiente definiendo el origen y la dirección de la pluma de contaminación. Esto se traduce en un ahorro significativo a la hora de cuantificar el grado de contaminación minimizando el número de sondeos necesarios.

Una vez que se sabe con exactitud los parámetros que caracterizan al contaminante, es

entonces cuando se puede empezar con las tareas de descontaminación i.e. Excavación, Pump and Treat System, Bioremediation, etc.

A continuación se muestra un ejemplo de caracterización mediante geofísica de una pluma de contaminación en un acuífero superficial en la Base Área Militar de Wurstmith en Oscoda, Michigan, USA.

PALABRAS CLAVE: Geofísica, Caracterización, Georadar, Magnetismo, Electromagnetismo, Contaminación por Hidrocarburos.

ANTECEDENTES

Los trabajos geofísicos se llevaron a cabo en la base Aérea de Wurstmith, Oscoda, Michigan, USA.

A lo largo de toda la vertiente norte de los Estados Unidos, se montaron una serie de bases aéreas con aviones bombarderos B-52 para contrarrestar cualquier posible ataque nuclear soviético durante los años 80. En los años 90 estas bases se empezaron a desmantelar ya que la Unión Soviética no parecía ser un enemigo tan inminente como se pensaba que era en la pasada década.

Durante los años de actividad de estas bases, se produjeron muchas imprudencias medioambientales, desde derrames de hidrocarburos para repostar los aviones, hasta vertidos sólidos y líquidos en zonas vertedero no controlados dentro del perímetro de la base.

Sólo en la base de Wurstmith se registraron 80 penachos de contaminación, cinco de ellos muy bien definidos.

En una zona particular de la base denominada con el nombre FT-02, fue utilizada durante 24 años como zona de ejercicios para la extinción de incendios llevado a cabo por el departamento de bomberos y servicios de emergencia de la base. Durante estos ejercicios se quemaban miles de litros de combustible además de la quema de disolventes y otros sobrantes líquidos inflamables. Durante la extinción de estos incendios intencionados, estos líquidos inflamables se quemaban pero un porcentaje percolaba a través del subsuelo.

Durante la caracterización de la zona FT-02 mediante georadar, se descubrieron unas anomalías muy similares a las conocidas que indicaban una posible contaminación de la zona contigua donde aparentemente no existían indicios de contaminación aparente.

Se pudo conocer que en la zona OT-16, existía un depósito en el cual se almacenaban todos los líquidos inflamables anterior a su quema pero que fue retirado durante el desmantelamiento de la base .

Esto produjo una reacción inmediata por parte de los nuevos directivos a cargo de la base y solicitaron un estudio geofísico de mayor profundidad para caracterizar esta nueva zona denominada zona OT-16.

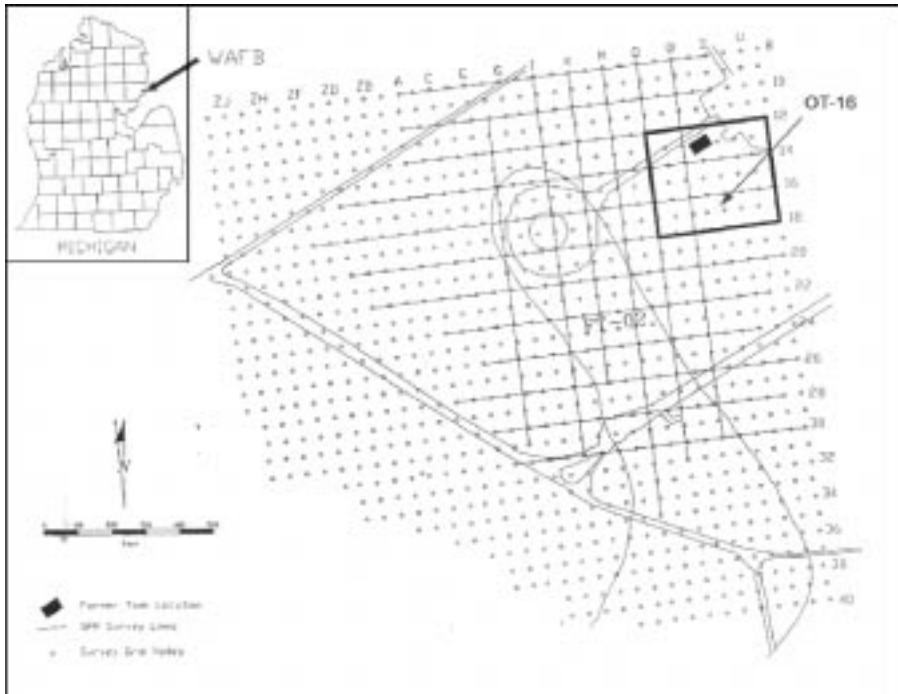


Figura 1.

GEOLOGÍA

Las formaciones geológicas que componen la geología de la zona son:

Una primera que se compone de materiales poco consolidados, principalmente arenas y gravas que se depositaron durante los distintos episodios glaciales de una potencia aproximada de 19 m. Por debajo de esta capa se encuentra otra capa de arcillas de una potencia aproximada de 38 m.

La segunda formación geológica está compuesta por areniscas y pizarras de edad Mississippian buzando hacia sudoeste de la cuenca de Michigan.

El nivel freático se encuentra a unos 5 m de profundidad aproximadamente.

TRABAJOS DE CAMPO.

Los métodos geofísicos aplicados fueron los siguientes: Magnetometría, Electromagnetometría y Georadar. Se utilizaron los métodos magnéticos y electromagnéticos para detectar tuberías enterradas, cables, y depósitos enterrados. En algunos casos los métodos electromagnéticos también son sensibles a plumas de contaminación eléctricamente conductoras en aguas subterráneas. El método de georadar se utilizó para detectar objetos metálicos, niveles freáticos, estratigrafía, límites, e indicadores secundarios que indicasen la presencia de contaminación por hidrocarburos.

Método Electromagnético

El equipo está compuesto por una antena receptora y por una antena emisora. A través de la antena emisora circula una corriente alterna la cual crea un campo magnético primario. Este campo magnético primario se va desplazando por el subsuelo y cuando llega a un cuerpo conductor, éste crea un campo magnético secundario. La antena receptora adquiere la combinación del campo magnético primario y secundario. Estos dos campos magnéticos inducen una corriente alterna. Esta corriente determina la combinación de la intensidad del campo magnético. Este método determina la conductividad del subsuelo (McNeill 1980).

El equipo utilizado fue un EM-31 de Geonics en modo vertical. Dos tipos de lecturas fueron recogidas, la in-phase y la out-of-phase. Las lecturas out-of-phase son transformadas a unidades de conductividad geoelectrica del subsuelo justo en el volumen hemisférico debajo del instrumento. Las lecturas in-phase las unidades son partes por mil del campo magnético secundario / primario ratio, y son utilizadas para identificar y detectar objetos metálicos.

Se creo en campo un "grid" o mallado de la zona a estudiar con unas dimensiones aproximadas de 7,62 x 15.2 m. Los resultados fueron representados mediante el programa informático Geosoft . La **figura 2A** muestra los resultados obtenidos del in-phase y la **figura 2B** la del out-of-phase.

En ambas figuras se pudo apreciar la presencia de distintos servicios enterrados en la zona. Existe una alineación preferencial de anomalías que pasan por una conocida arqueta en la coordenada (S,18). Las anomalías de alta conductividad se desplazan desde la coordenada (S,18) a la (P,12). Existen hasta otras 3 diferentes alineaciones paralelas a esta última. Estas anomalías pueden deberse a la presencia de cables eléctricos. No se pudo apreciar la presencia de ningún tipo de pluma de contaminación con este método. Esto quizá fue debido a que el EM-31 en modo vertical solo alcanza una profundidad máxima de 6 m, por lo tanto nos encontramos en el límite de máxima detección. La pluma de contaminación debe de encontrarse entre 5 y 7 m coincidente con el nivel freático de la zona. Las señales anómalas de alta conductividad geoelectrica esperadas por la pluma de contaminación, debieron ser muy débiles para poder ser detectadas a esta

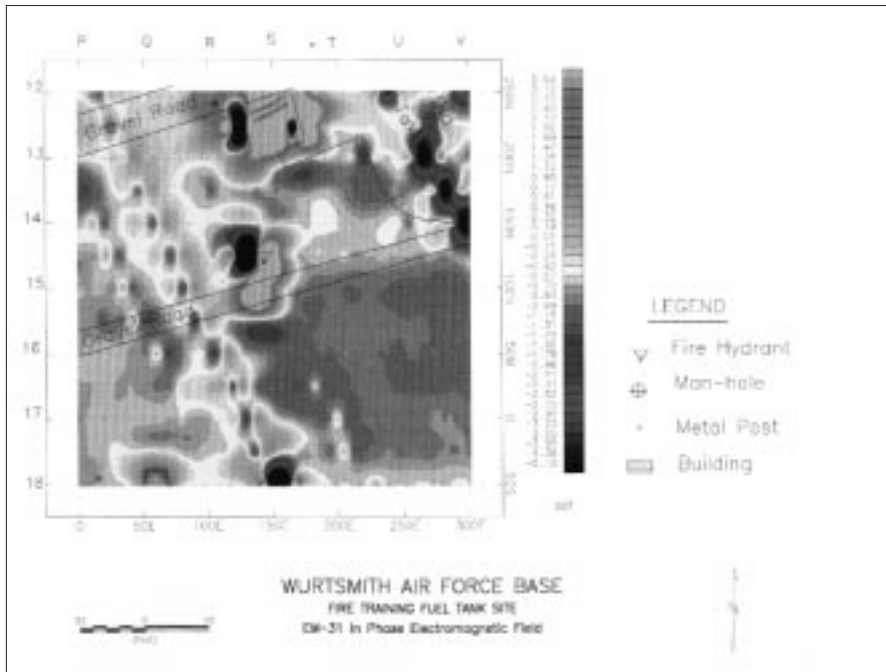


Figura 2A.

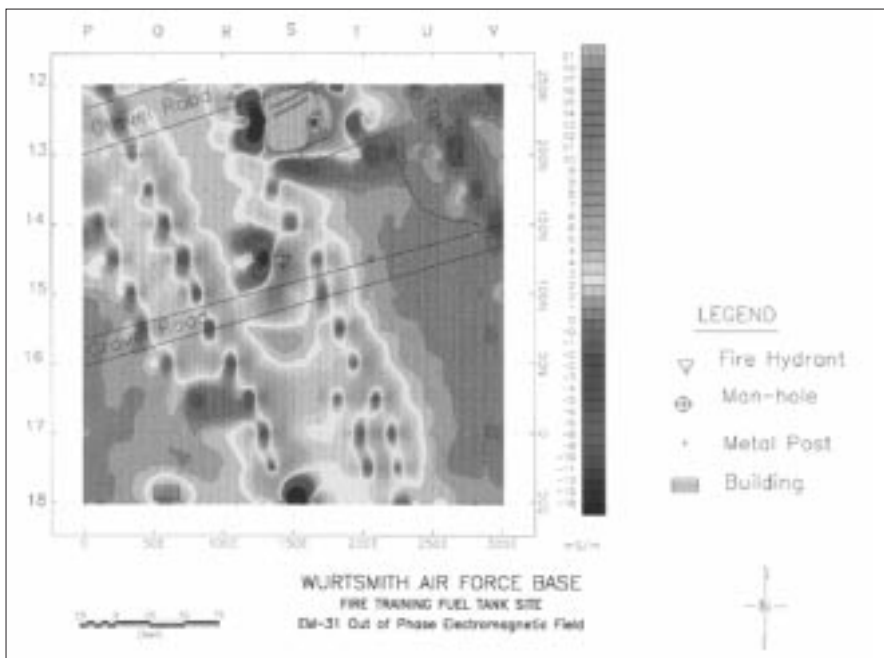


Figura 2B.

profundidad. También quizá fue debido a que las anomalías producidas por los servicios enterrados por encima del nivel freático al ser de mayor entidad, enmascaren las anomalías más débiles y profundas generadas por la contaminación. Aunque el EM-31 no funcionó para poder detectar la contaminación, la información recogida sí sirvió para localizar servicios enterrados y recomendar a futuros perforistas donde y no donde deben perforar para instalar piezómetros y puntos de control de aguas subterráneas.

Métodos Magnéticos

Los métodos magnéticos fueron utilizados para detectar objetos metálicos enterrados en la zona. El mallado utilizado en campo para la recogida de datos fue de 15.2 m x 15.2 m. Los datos fueron recogidos con un magnetómetro de cesio modelo G-858 de Geometrics. Los resultados obtenidos se muestran en la **figura 2C**. Sólo se pudieron detectar anomalías de mayor intensidad magnética justo donde se ubicaba el antiguo depósito de líquidos inflamables. Aunque el depósito ya no está, todavía quedan restos de los soportes utilizados para la sujeción del mismo. En ningún otro lugar se detectó ninguna anomalía merecedora de su mención. Los cables detectados mediante el EM-31 no fueron detectados por el magnetómetro, lo cual indica que los cables son eléctricamente conductores pero no magnéticos. Cables hechos con materiales de cobre podrían reunir este tipo de características.

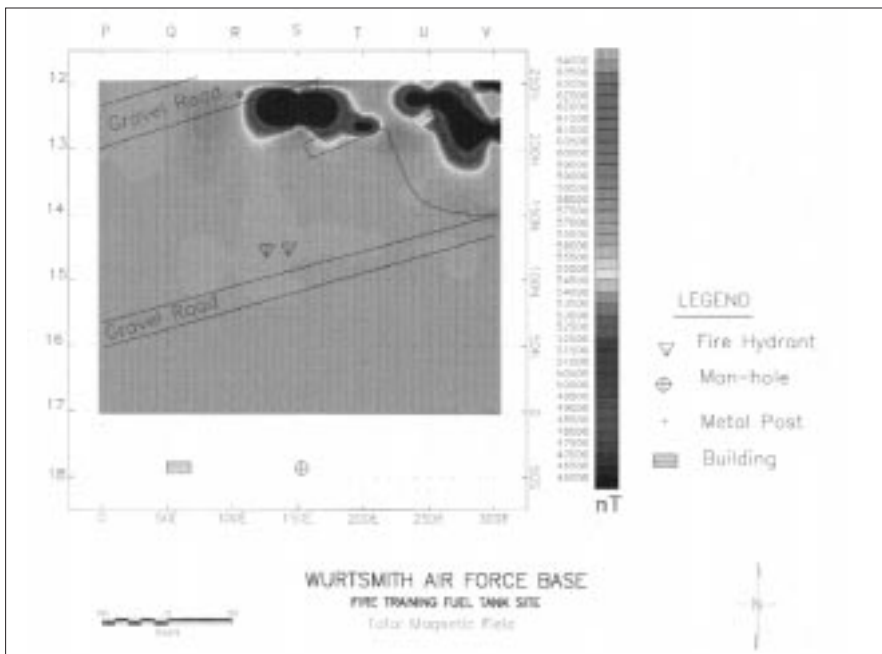


Figura 2C.

Georadar o (GPR-Ground Penetrating Radar)

Los datos de campo fueron recogidos por un georadar modelo SIR-10 de Geophysical Survey System Inc. El sistema utilizado fue un sistema biestatico con una antena de frecuencia 100 MHz con un tiempo de Scan de 400 nanosegundos. La separación entre la antena transmisora y la receptora fue de 1.45 m entre puntos medios. El georadar permite ver cuales son los límites que caracterizan ciertas clases de plumas de contaminación además de proporcionar información sobre la estratigrafía del terreno.

La técnica es muy similar a la sísmica de reflexión y la utilizada en un sonar. Utilizando un modo de pulsos, el georadar emite cortos pulsos de alta frecuencia de energía electromagnética a través del subsuelo desde una antena (Daniel 1989). La propagación de la señal emitida por el georadar depende de las propiedades del subsuelo (conductividad, permitividad eléctrica, y permeabilidad magnética). La conductividad eléctrica de suelos y rocas y la trayectoria que recorren estas ondas, limitan mediante pérdidas de energía la profundidad a la que estas ondas pueden viajar.

La capacidad de penetración de un georadar es exclusivo del lugar de trabajo ya que las propiedades electromagnéticas de la Tierra no son siempre iguales. La capacidad de penetración del georadar también está condicionado por la frecuencia de la antena utilizada y por la eficiencia en transmitir radiación. Los suelos arcillosos y/o ricos en contaminantes iónicos en contacto con agua (niveles freáticos), provocan un aumento de la conductividad eléctrica del subsuelo, disminuyendo la capacidad de penetración del georadar provocando una atenuación de su señal.

Se realizaron 6 perfiles paralelos separados 15.24 m entre sí. La antena fue arrastrada con una furgoneta de campo. En la **figura 3** se muestran los perfiles 14 y 16. No fue necesario

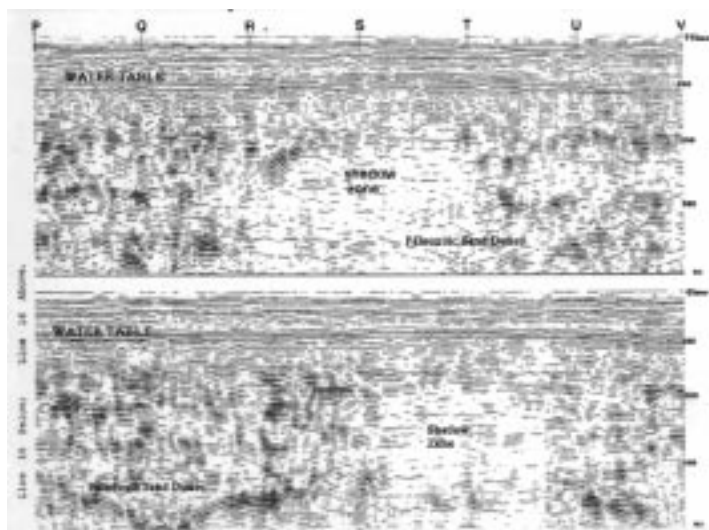


Figura 3.

ningún tipo de procesamiento especial sobre los datos de campo excepto la normalización de la escala horizontal. Ambos perfiles muestran una amplia atenuación de la señal creando una zona de sombra entre las coordenadas del eje horizontal "R" y "T" en el perfil 14 y "S" y "U" en la perfil 16. La zona anómala conductora causante de esta atenuación de la señal se encuentra justo encima de estas sombras. La sombras se encuentran justo o por debajo del nivel freático, por lo tanto la posible contaminación se encuentra en la parte superior del acuífero. En estos perfiles se aprecia que el nivel freático se encuentra a unos 5 metros de profundidad, 100 ns. En la parte inferior también se aprecian unas paleo dunas a una profundidad aproximada de 300 ns, 12.2 m de profundidad.

En la **figura 2D** se muestra en planta la forma y dirección de la pluma de contaminación mediante la identificación de sombras en los perfiles de georadar realizados. No se sabe con certeza el origen de esta contaminación aunque se intuye que se tuvieron producir diversos derrames y fugas del depósito de líquidos inflamables.

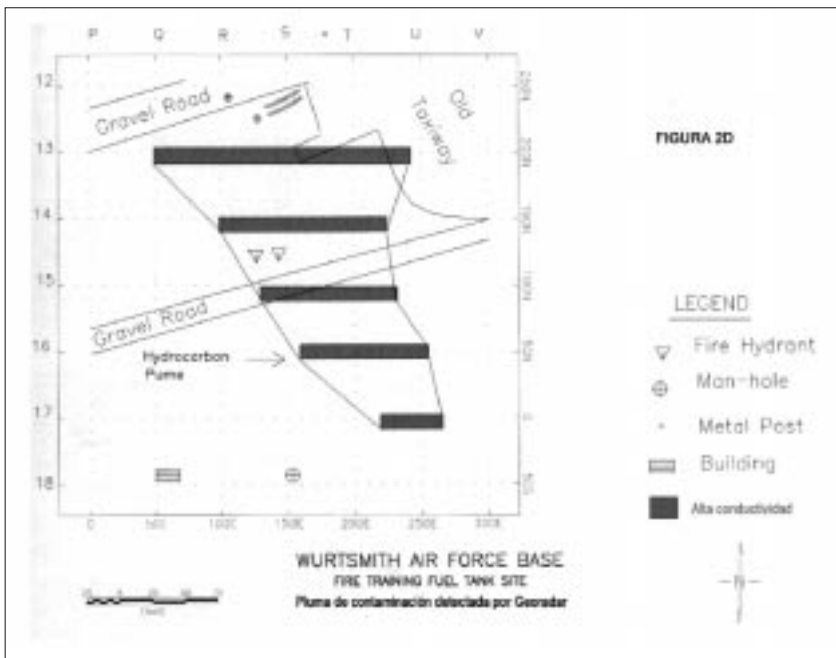


Figura 2D.

LA VERIFICACIÓN

Una vez dados a conocer los resultados obtenidos a los directivos de la base aérea de Wurtsmith, estos encargaron una campaña de testificación y analíticas de suelos y aguas subterráneas en los puntos (S,14) , (T,14), (T,16). En uno de los puntos de muestreo se encontró una materia negra y viscosa de hidrocarburo residual de 40 cm de espesor a una

profundidad muy cercana al nivel freático. Los valores de la conductividad del agua eran máximos en la parte superior de la zona saturada del acuífero (455, 500, y 600S/cm). La conductividad general de la zona era de 180S/cm. Por lo tanto la conductividad de la zona contaminada era de 2.5 a 3.3 veces superior a lo que se consideraba normal en la zona. A unos 3 metros por debajo de nivel freático, la conductividad del agua volvía a registrar valores de conductividad normales, por lo tanto también se llegó a la conclusión que la zona contaminada no tenía más de 3 metros de espesor por debajo del nivel freático.

CONCLUSIONES

La investigación geofísica llevada a cabo en la zona OT-16 de la base aérea de Wurstmith fue todo un éxito. El modelo conceptual de trabajo desarrollado por los estudios geofísicos en la zona FT-02, fue utilizado para determinar la extensión lateral de la desconocida pluma de contaminación en la zona OT-16. En este caso las anomalías geofísicas observadas mediante georadar se debieron más a las características electro-conductoras de los iones de la pluma de contaminación, que a la respuesta directa del producto residual de hidrocarburos

Durante la investigación se pudieron detectar cables enterrados mediante métodos electromagnéticos. Esta información también fue muy positiva ya que permitió conocer que zonas no debían ser excavadas o perforadas. Mediante métodos magnéticos no se detectó ninguna anomalía magnética permitiendo ver que no existía ningún otro depósito enterrado en la zona.

La geofísica en general no anula la realización de sondeos, la geofísica los minimiza y los concentra en puntos clave.

Los métodos geofísicos pueden cubrir grandes extensiones de terreno en un relativo corto periodo de tiempo además de ser métodos no intrusivos, es decir, sin la necesidad de perforaciones o excavaciones.

No se debe olvidar que una buena geofísica solo proporciona medidas indirectas mientras que un sondeo es una muestra física del terreno. Para realizar una buena interpretación geofísica, es fundamental tener un buen sentido común geológico, físico, y químico y no dejarse influenciar por programas informáticos que aparentemente lo hacen todo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Daniels, J.J 1989. Fundamentals of ground penetrating radar. In Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP'89), 62-142. Englewood, Colorado:Environmental and Engineering Geophysical Society.
- McNeill, J. D. 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical note TN-6. Mississauga, Ontario: Geonics Limited.