

## **ALTERACIONES DEL SUELO: DESCUBRIMIENTO DE CUERPOS ENTERRADOS Y OTRAS EVIDENCIAS USANDO EL RADAR DE SUBSUELO**

Mercè Subirana Domènech, Toni Aguilar Pallarès, Angel Cuquerella Fuentes, Albert Casas Ponsati, Luis Maria Planchat Teruel

### **RESUMEN**

El radar de subsuelo (GPR) es un eficiente y efectivo medio de búsqueda de evidencias enterradas, sean éstas una tumba clandestina, un enterramiento formal, u objetos desaparecidos de la escena del crimen. Los procedimientos del GPR usados por el laboratorio central de identificación del ejército de los Estados Unidos, Hawaii (CILHI), son el resultado de varios años de experimentación en diversos tipos de suelo en Hawaii, sudeste asiático y los Estados Unidos continentales. Normalmente, este método de detección remota no proporciona información directa sobre si hay un cuerpo u otro objeto específico debajo del suelo. La mayor parte del tiempo el GPR ha sido usado para determinar donde no se encuentra un objeto. La principal característica del GPR es que puede detectar cambios recientes en terrenos poco profundos provocados por alteraciones del suelo y la intrusión de un material diferente.

Mediante los métodos descritos aquí, el investigador debería ser capaz de determinar las coordenadas exactas de una perturbación del terreno, así como el tamaño aproximado, la forma general, y la profundidad del material enterrado. El éxito dependerá de las condiciones del suelo. Las condiciones aptas o no prácticas para el uso del GPR se hallan en la literatura específica. Esta tecnología de detección remota puede tener un mayor campo de aplicación en investigaciones criminales debido a la reciente introducción de un software de uso más sencillo y de un hardware más portátil.

El método y sus limitaciones prácticas se presentan aquí con un mínimo de terminología geofísica con las aplicaciones en el ámbito médico forense.

### **INTRODUCCIÓN HISTÓRICA**

El GPR se ha utilizado para localizar una gran variedad de objetos enterrados por seres humanos. Una de las primeras utilidades del GPR fue durante la Guerra del Vietnam para encontrar minas no metálicas y túneles. Durante la década de los 70 se produjeron una serie de cambios medioambientales de origen humano. El GPR demostró su utilidad en la localización de líneas enterradas, escombros de vertederos, depósitos de fluidos contaminados, huecos en autopistas, artillería no explosionada y otros materiales. En 1978 el Soil Conservation Service inició un extenso mapeo del suelo de los Estados Unidos utilizando estas técnicas. Las aplicaciones del GPR se diversificaron, con el diseño de la tecnología, así como de los detalles del campo operativo y análisis, normalmente dependientes del problema investigado y de la oscuridad del suelo. Existe un amplio rango de aplicaciones tales como la detección de recursos minerales, mapeado de estructuras glaciares, localizaciones de lechos de ríos secos por debajo del Sáhara y la detección remota de regiones desérticas desde satélites. Algunas de las aplicaciones del GPR que han tenido éxito en la arqueología han sido la detección de túmulos erosionados en Japón, exploración

a distancia del interior de una pirámide, y visualizar la localización de paredes de adobe, suelos, fosos y artefactos en lugares prehistóricos del Sudoeste Americano.

El GPR es capaz en ocasiones de localizar tumbas que no están delimitadas. Vaughn tuvo un éxito moderado en la localización de sepulcros del siglo XVI de una estación vasca de ballenas en Canadá. Bevan encontró sepulturas en nueve lugares de Estados Unidos con resultados variados. Mellet tuvo éxito en la localización de tumbas de cuatro tipos diferentes en el este de los Estados Unidos: cementerios históricos de hasta 200 años de antigüedad; parcelas para los indigentes del siglo XX, un enterramiento clandestino ocurrido en 1982 y un lugar de entierro de los nativos americanos de hacia el año 800 d.C. Burns et al. localizaron con éxito una tumba clandestina. France y sus colegas en Colorado llevaron a cabo una investigación con distintos métodos, incluyendo estudios magnéticos, electromagnéticos, GPR, perros rastreadores de cadáveres y otros. Sus resultados les llevaron a la conclusión de que: *“El GPR ofrece al investigador la herramienta más útil para delimitar posibles tumbas”*.

El GPR es una de las técnicas que se ha utilizado en el sudeste de Asia para encontrar tumbas aisladas, artillería enterrada y objetos relacionados con accidentes de aviones de la época de la guerra de Vietnam. Numerosas investigaciones se han llevado a cabo para verificar testimonios concernientes a la localización aproximada de enterramientos aislados. El GPR por sí solo no ha sido efectivo en la localización de estos supuestos enterramientos. La confirmación de que los entierros no se encuentran presentes se ha evidenciado en excavaciones arqueológicas. Se ha utilizado el GPR en los Estados Unidos para estudiar áreas extensas en las que se sospechaba que se podrían encontrar enterramientos, tales como suelo volcánico, palmerales en Oahu y en varios acres de caliche de la zona central de Texas.

El GPR no encuentra de forma directa esqueletos o restos humanos, artillería no explosionada o largas piezas de metal enterrado. La tecnología permite obtener información vertical y horizontal de la localización. Es un método excelente en muchos contextos para, de forma rápida y precisa, localizar la presencia o ausencia de perturbaciones del subsuelo.

## LA TECNOLOGÍA

Para operar con GPR se necesita un GPR portátil, una fuente de potencia tal como una batería de coche de 12 voltios, una antena en una caja que se pueda llevar por la superficie a analizar, de 30 a 60 metros de cable grueso y aislado, y un operario con conocimientos generales de las condiciones del suelo local. El GPR tratado aquí es el Subsurface Interface Radar (SIR) System-3 fabricado por Geophysical Survey Systems, Inc. Durante la operación la unidad de control del SIR emite una señal a través de la antena (transductor) hacia el suelo. Cuando un cambio en el terreno se detecta, la señal se procesa electrónicamente y se envía a la impresora de tiempo real. Una grabadora digital de cinta con software del GPR se puede añadir al sistema. El operario tiene que conocer el tipo de suelo del área de estudio y a que profundidad se puede hallar enterrado el objeto buscado. En la mayoría de las aplicaciones, la profundidad será determinante a la hora de elegir el tipo de antena a usar.

La mayor parte de aplicaciones forenses se pueden resolver con antenas de 300, 500 o 900 Megahertz (MHz) de frecuencia central. La antena de pulso muy corto (900 MHz) es efectiva para objetivos pequeños y cercanos a la superficie, tales como artillería enterrada y (presumiblemente)

cadáveres. La antena de 500 MHz es útil para perturbaciones en el rango de 0,5 a 3,5 metros de profundidad, que pueden incluir la mayoría de piezas de interés forense. La antena de 300 MHz resulta apta para profundidades de hasta 9 metros en ciertos suelos en condiciones ideales (p.e. bajo contenido de humedad y de arcilla). A mayor frecuencia, menor profundidad pero mayor resolución. Los hallazgos de este artículo se basan en el uso de la antena de 500 MHz.

La antena del GPR emite una señal que penetra en el suelo. El radar evalúa la fuerza y el tiempo de reflexión de la señal, medido en nanosegundos. El tamaño de la perturbación que incluye el objeto buscado y sus propiedades eléctricas en sus límites superior e inferior afectarán la fuerza de la señal, generalmente a la intensidad con que se verá en la impresora. La profundidad del objeto afectará al tiempo que emplea la señal en ir y volver. Una zona que ha sido cavada y tiene algo introducido en ella tendrá (usualmente) menos densidad, diferente mezcla de suelo y diferentes propiedades eléctricas que el terreno circundante que no ha sido perturbado. Un vistazo a la literatura reciente (de 1990 hasta julio de 1995) indica que para casos de poca o media profundidad tales como entierros humanos, el GPR es el sistema de detección remota preferido:

*"Virtualmente cada tipo de sepultura crea una constante en parámetros eléctricos que es detectable con el GPR. Esto incluye los parámetros de un cuerpo, los parámetros de cualquier recinto de un cuerpo, y también el contraste entre parámetros del suelo creados por excavación y relleno. Incluso una pequeña urna con cenizas de una cremación crea un contraste detectable."*

Las antenas de GPR no sólo transmiten de forma recta, sino que también transmiten señales hacia los lados y al frente. Cuando la antena se aproxima a una perturbación del terreno, la detección empezará cuando la línea entre la antena y la perturbación sea aproximadamente de 45°. Las perturbaciones debidas a grandes objetos metálicos se detectarán antes, al no poder penetrar el metal la señal del radar. Cuando la antena se acerca más a la perturbación del terreno el tiempo de reflexión será más corto. El aspecto de las reflexiones del radar motivadas por objetos enterrados (por ejemplo la disturbancia que lo incluye) se imprimirá como un área mayor de lo que es en realidad y, a menudo, como series apiladas de ondas sinusoidales o curvas en forma de campana. El objeto se localiza en el punto más alto de la curva menos profunda, sea cual sea su forma. Esto significa que no es necesario caminar sobre cada porción de superficie del área de estudio. Pruebas y ajustes con la antena de 500 MHz indican que los intervalos de espacio de uno a dos metros de separación son suficientes. Este espaciado puede detectar la mayoría de las perturbaciones del terreno en las que se puede haber enterrado un cuerpo, objeto de metal u otro tipo de evidencias.

## MÉTODOS DE CAMPO

### a) Delimitar el área de estudio

El GPR se utiliza para un completo y sistemático estudio de las condiciones del subsuelo de un área. El investigador debe ser capaz de examinar impresiones de reflexiones del radar que proporcionen un 100% de cobertura del subsuelo y que incluyan la profundidad y posición horizontal (parrilla de coordenadas). Si ha existido una perturbación reciente del terreno dentro de la profundidad especificada por el investigador, entonces el perfil de datos puede reflejar cuánta fuerza (intensidad) y extensión de área de la perturbación (por ejemplo, cuánta perturbación, cuán profunda y su localización en la parrilla). Cuánto tiempo se puede detectar una perturbación en el

terreno dependerá de la composición del suelo, penetración de la humedad con el tiempo, temperatura, y otros factores ambientales. Los materiales orgánicos como los restos humanos y ropas se pudrirán en distintas proporciones, dependiendo del terreno y de factores ambientales. Por ejemplo, se han encontrado a menudo partes intactas de botas militares de piel en lugares en conflicto durante la II Guerra Mundial en varias islas del pacífico. Incluso en situaciones de rápido decaimiento, el suelo tendrá distinta composición química con distintas propiedades eléctricas que podrían durar durante cientos de años [1]

Un control sobre la investigación es posible sólo si el área de estudio está preparada para un examen diseñado cuidadosamente. En condiciones ideales el área de estudio debería ser plana y despejada de la mayoría de la vegetación superficial. Raramente ocurren estas situaciones ideales. Se recomienda que en un área de densa vegetación, si es factible, se corte y extraiga la hierba alta, vides y pequeña maleza del área a estudiar. La antena puede entonces ser arrastrada sobre el suelo y a un paso más regular, en línea recta, y sin inclinarse o añadir ruidos electrónicos (resultados que no son interpretables). Pero el GPR no puede utilizarse de forma efectiva a menos que sea posible llevar la antena por un área sin un montón de paradas y reinicios. Los árboles pueden dejarse en el lugar porque los perfiles de las raíces pueden fácilmente verse en la impresora del GPR. Los árboles, hitos de piedra y un extenso número de grandes objetos pesados pueden dejarse, ya que la persona que lleva la antena simplemente rodeará tales obstáculos. El operario puede marcar la localización de tales interferencias en la hoja impresa.

El tamaño del área que se puede estudiar de una forma razonable en un día usando GPR es bastante grande. La velocidad de caminar con una antena es 2/3 del paso de marcha normal, o aproximadamente 1 milla en 30 minutos. Si el estudio se realiza con una antena de 500 MHz usando transectos de un metro de ancho, entonces un área de 100 x 100 metros puede estudiarse inicialmente en menos de 40 minutos.

## b) Realizar una parrilla

Es altamente recomendable que se realice una parrilla alrededor de los límites del área a estudiar, en prospecciones arqueológicas o de ingeniería civil. Una parrilla tiene tres funciones primarias: Como guía para determinar las líneas de estudio; para una precisa determinación de la localización de algo dentro del área de estudio; y como un conveniente sistema de referencia gracias al cual se realizará un detallado mapa. Se recomiendan los siguientes pasos de procedimiento:

1. Determinación visual de los límites razonables más alejados en donde los objetos pueden estar enterrados. Normalmente se realiza en base a un testimonio dado sobre el campo;
2. Marcar las cuatro esquinas del área a estudiar, normalmente con estacas. Si es posible el área a estudiar que quede dentro de un rectángulo;
3. Despejar un metro alrededor de los cuatro lados del área de estudio. Esto permitirá a la antena detenerse justo fuera, mejor que dentro, del área proyecto;
4. Determinar el máximo razonable de profundidad de la parte más honda del objeto que puede estar en el suelo. Esto conducirá a la decisión sobre qué tipo de antena utilizar, normalmente 900 o 500 MHz. ;
5. Clavar estacas o banderines cada metro (antena de 900 MHz) o cada dos metros (500 MHz) entre los cuatro límites. Las estacas o banderines deben ser claramente visibles. Los colores brillantes se utilizan para marcar el área de estudio, normalmente rojo, naranja fluorescente u

- otros colores vivos. No es necesario poner marcadores de parrilla dentro de los límites así señalados o pintar con spray una designación de la parrilla en cada esquina;
6. Cavar un agujero a modo de test fuera del área de estudio de unos 0.5 x 0.5 m hasta la mayor profundidad a la que se cree que puede estar el objeto. El operador de la máquina de GPR puede mirar a las paredes del agujero y proporcionar la densidad y localización de las rocas, humedad, cambios de la capa del suelo y condiciones generales del subsuelo del terreno que no ha sido perturbado recientemente; y
  7. El agujero se vuelve a tapar. Un objeto metálico grueso, como una barra o una llanta de hierro se pone en el agujero antes de taparse éste. Esta nueva área perturbada con objeto enterrado puede utilizarse como control para el ajuste del radar. El suelo se compacta sólo hasta que la antena pueda fácilmente pasar por sobre la nueva área distorsionada. Tal control es crucial para la correcta interpretación de los resultados del GPR.
- c) Llevando a cabo el estudio

Es necesario un equipo de cinco personas para llevar a cabo con la máxima eficiencia un estudio de grandes superficies con GPR: un operador de la máquina de GPR; alguien que pueda llevar la antena y utilizar el conmutador de disparo remoto por el mango a los intervalos métricos de la parrilla; una persona para controlar el cable que conecta la antena a la máquina de GPR; y dos observadores que sujeten una cuerda para llevar la antena en línea recta por las transacciones de la parrilla. Para estudiar un área pequeña solo hacen falta dos personas. El examen está listo para empezar cuando la antena está detrás de una línea de parrilla, la máquina de GPR está ajustada al contexto específico del suelo del lugar, y una línea guía se encuentra emplazada en la superficie de la primera fila. En un estudio de un área extensa se debe proceder de la siguiente forma:

1. Quien lleve la antena, después de la señal del operador, empezará con la primera transección. Cuando la antena alcanza el principio de la parrilla el operario que la lleva enviará dos señales cortas con el botón remoto. Estas señales se imprimirán como líneas verticales en el principio del transecto de la impresión;
2. Un sonido bip simple se transmite cada estaca que se pasa, en el punto perpendicular a la antena.
3. Por el contrario, al final del transecto un doble bip se transmite para marcar que se ha completado el transecto;
4. La antena es entonces llevada hacia atrás a la línea de inicio, uno o dos metros por fuera del transecto previo. La cuerda guía se mueve también;
5. El proceso se repite. No es recomendable que el estudio se realice para cada línea en sentido diferente. Las impresiones de transectos adyacentes no son comparables si los perfiles han sido obtenidos en direcciones opuestas; y
6. La última transección está justo dentro de la última fila de estacas. El operador debe haber etiquetado el principio de la impresión de cada transección con la siguiente información: número de transección, en secuencia: dirección cardinal del transecto (por ej. "S a N"-sur a norte); y las coordenadas de origen (por ejemplo N0/N1, luego N0/N2).

- d) Hacer un estudio cruzado

Otra serie de transectos se hace a 90° del anterior. El subsuelo de cada cuadrícula se puede entonces visionar desde dos direcciones.

## ANÁLISIS DE CAMPO

El GPR no puede indicar si una perturbación de un tamaño particular es o no es el objeto buscado. De todas formas, los perfiles pueden bajo las condiciones correctas eliminar rápidamente de consideración posterior grandes secciones del área de estudio. El objetivo de un examen con GPR consiste en indicar al investigador donde cavar o no cavar. Las impresiones en tiempo real de los transectos se pueden alinear y estudiar en la misma zona. Cada impresión puede tener dos conjuntos de líneas a través del perfil. Las líneas horizontales equidistantes son una indicación de la profundidad, particularmente si se usó el hoyo de control para calibrar la máquina. El otro conjunto de líneas puede atravesar verticalmente el perfil desde arriba de forma parcial o en toda su longitud. Estas líneas de pulso son el resultado de las señales remotas mandadas por quien llevaba la antena al pasar cada estaca. Esto provee control horizontal sobre los datos. Los transectos perpendiculares (cruzados) permiten una evaluación de la forma y tamaño de un objeto enterrado o perturbación. Consideremos un perfil de radar sacado de una zanja lineal estrecha en la que se han puesto restos o un rifle de cañón largo. Supongamos que la antena pasó por la superficie directamente a través (perpendicular a) de la zanja. Ese perfil será bastante diferente de un perfil obtenido cuando el camino de la antena fue longitudinalmente por encima de la zanja o por una línea cercana y paralela al área perturbada. Similarmente, el hoyo de un enterramiento de un humano estirado es de unos 1,8 metros de largo, pero solo de unos 0,5 metros de ancho. Pasar el radar en dos direcciones sobre una perturbación como ésta nos dará mucha información útil sobre el tamaño y forma general de lo que haya enterrado en la perturbación. Las parrillas en dos direcciones también ayudarán a decidir qué áreas de suelo perturbado son de un tamaño que pueda contener en realidad el objeto buscado y vale la pena excavar.

**TABLA 1- Factores generales que afectan a la conductividad eléctrica del suelo.**

Factor principal	Aplicación/Comentario
(1) Contenido de arcilla y arena	La profundidad y la resolución aumentan al disminuir el porcentaje de arcilla y aumentar el porcentaje de arena.
(2) Porosidad y grado de saturación de agua	El efecto es perceptible pero a menudo menor y se puede controlar si la máxima profundidad a observar no es muy grande.
(3) Contenido y tipo de sales en solución	Un alto contenido de sal soluble es malo, un bajo contenido es bueno para la penetración y reflexión del radar
(4) Dispersión	Los efectos de la basura, pequeñas piezas de metal, y otras intrusiones que causan la degradación y dispersión del radar.

**TABLA 2- Áreas adecuadas para GPR en posibles contextos forenses**

Buena profundidad/Alta resolución	Señal atenuada/Baja resolución	
Dunas o colinas arenosas	1- Suelo con alto contenido de arcilla( pero usar para hallar áreas con mucha arcilla)	DISCUSIÓN/ RESUMEN  El uso de la antena de 500 MHz con un sistema GPR permite el estudio rápido de una gran área con una alta resolución de resultados. De todas
Grava	2. Esquisto	
Turba	3. Pantanos	
Depósitos de mesetas volcánicas (marga, piedra pómez, etc.)	4. Caliche (pero hacer examen para hallar perturbaciones sin caliche)	
Praderas costeras del este de los Estados Unidos	5. Depósitos de sedimentos	
Terrenos cársticos (con huecos)	6. Costa marítima	
Áreas urbanas para objetos enterrados en paredes o bajo el pavimento	7. Algunos depósitos lacustres	
	8. Suelo labrado/rocoso glacial en áreas anteriormente glaciadas	
	9. Depósitos de coral (Hawaii)	

formas, el GPR no es útil en algunos suelos, particularmente aquellos que absorberán la señal del radar, por ejemplo, los que tienen una alta conductividad eléctrica. Las tablas 1 y 2 resumen los hallazgos concernientes al uso de GPR. La tabla 1 corresponde a antenas con frecuencias de 500 MHz o superiores y resume hallazgos del servicio de conservación del suelo de los Estados Unidos, departamento de agricultura. La tabla 2 se basa en el ensayo y experimentación con GPR hechos por el autor durante los últimos tres años y por otros investigadores durante los últimos 30 años. Algunas clases de suelos son mejores que otros para obtener perfiles de GPR útiles. De todas formas, esto no significa que un examen no se deba realizar en un terreno poco apto, particularmente si el objetivo es encontrar una perturbación poco profunda recién creada.

El éxito de un estudio con GPR dependerá, en primer lugar, de tres factores: la clara delineación del objetivo por el investigador; la composición del suelo en el área de estudio; y la experiencia del operador del GPR. La más antigua tecnología de GPR ofrece impresiones en tiempo real con escala de grises, yendo desde el negro para metal pasando por varias tonalidades de gris hasta casi blanco para agujeros (por ejemplo, tierra suelta con huecos llenos de aire). La fabricación del SIR System-3 fue suspendida en 1994. La tecnología actual, tal como el SIR System-2, es más ligera y más fácil de usar, aunque no es apreciablemente más barata (sobre unos 30.000 \$ por un sistema completo). Viene con un monitor de televisión en color y software que ayuda a interpretar los datos obtenidos por la máquina de GPR. La grabación de perfiles utilizables se ha hecho más fácil para terrenos quebrados y escarpados. Los transectos pueden hacerse en cualquier sentido, al poder grabarse al revés perfiles alternados. El software diseñado para ser usado con Microsoft Windows se introdujo en 1995. Existe además un programa de impresión que permite al usuario insertar impresiones de GPR en otros documentos, tales como los de Microsoft Word. Tiene almacenamiento y recuperación digital. Las cajas de las antenas, sin embargo, no han cambiado. Los procedimientos para cuidadoso y sistemático estudio con GPR son los mismos sin importar la generación de tecnología usada para grabar y presentar los datos.

Una investigación con GPR, si se ha planificado cuidadosamente, puede ser un medio rápido, eficiente y efectivo de determinar si una perturbación del subsuelo causada por el hombre se halla

o no presente. Si existe la perturbación, los perfiles del GPR darán al investigador el tamaño y forma generales de la misma, su profundidad aproximada, y su localización exacta en la parrilla. Los métodos de campo discutidos en este informe se recomiendan como un eficiente y, sin embargo, exhaustivo y no intrusivo medio de búsqueda de objetos de interés en la investigación forense.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Peters L, Jr., Daniels JJ, Young JD. Ground penetrating radar as a subsurface environmental sensing tool. Proceedings of the IEE 1994; 82:1802-22;

Daniels DJ, Gunton DJ, Scott HF. Introduction to subsurface radar. IEE Proceedings 1988; 135(4):278-320;

Doolittle JA. Characterizing soil map units with the ground penetrating radar. Soil Survey Horizons 1982; 23(4):3-10;

Cook JC. Ground penetrating radar (preface). Journal of Applied Geophysics, Special Issue 1995; 33(1-3):2-5;

McCann DM, Jackson PD, Fennig PJ. Comparison of the seismic and ground probing radar methods in geological surveying. IEE Proceedings 1988; 135(4):380-90;

Imai T, Sakayama T, Kanemori T. Use of ground-probing radar and sensitivity surveys for archeological investigations. Geophysics 1987; 52(2):137-50;

Kong FN, Kristiansen J, By TL. A radar investigation of pyramids. Proceedings of the Fourth International Conference on Ground Penetrating radar, Rovaniemi, Finland, Geological Society of Finland, Special Paper 16, 1992;

Sternberg BK, McGill JW. Archeology studies in southern Arizona using ground penetrating radar. Journal of Applied geophysics 1995; 33(1- ):209-25;

Vaugh GJ. Ground Penetrating Radar surveys used in archaeological investigations. Geophysics 1986; 51(3):595-604;

Bevan BW. The search for graves. Geophysics 1991; 56(9):1310-19;

Mellet JS. Location of human remains with ground-penetrating-radar. Proceedings of the Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar, Rovaniemi, Finland, Geological Society of Finland, Special Paper 16, 1992;359-65;

Burns KR, Vandiver SM, Clifton VK, Norby D. Ground level remote sensing search for clandestine burials. Presented at the Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences, Seattle Washington, Feb.1995;

France DL, Griffin TJ, Swanburg JG et al. A multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves. Journal of Forensic Sciences 1992; 37(6)1445-58;

Miller PS. The use of ground penetrating radar in the search for clandestine graves. Presented at the Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences, San Antonio, Texas, Feb 1994;

Mellet JS. Ground penetrating radar applications in engineering, management, and geology. Journal of Applied Geophysics 1995; 33(1-3):157-66;

Doolittle JA, Collins ME. Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics 1995; 33(1-3): 101-08;

Hubbard RK, Asmussen LE, Perkins HF. Use of ground penetrating radar on upland coastal plain soils. Journal of Soil and Water Conservation 1990; 45 (3): 309-405;

Dominic DF, Egan K, Carney C, Wolfe PJ, Boardman MR. Delineation of shallow stratigraphy using ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics 1995; 33 (1-3): 167-75;

Olhoeft GR. Direct detection of hydrocarbon and organic chemicals with ground penetrating radar and complex resistivity proceedings. Conference on petroleum, hydrocarbons and organic compounds in ground water, Water Well Association, Dublin, Ohio, 1986; 284-305; y

Smith DG, Jol HM. Ground penetrating radar: antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in quaternary sediments. Journal of Applied Geophysics 1995; 33 (1-3): 93-100.

---