



## **Tecnología de radar de penetración terrestre como herramienta para el estudio del patrimonio cultural y bienes inmuebles de arquitectura civil.**

\*Ciencia y tecnología desde la perspectiva social.

M.P.C. Ignacio Moreno Nava  
Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.  
Trayectoria de Estudios Multiculturales.  
[guruainur@gmail.com](mailto:guruainur@gmail.com)

### **Resumen.**

La tecnología de radar de penetración terrestre (GPR) es método geofísico para el estudio no destructivo del subsuelo, basada en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas en un medio, con la posterior recepción de las reflexiones que producen las anomalías encontradas en una profundidad determinada. EL GPR se ha utilizado en numerosos ámbitos de investigación, teniendo un especial impacto en los estudios que requieren un conocimiento preciso del subsuelo. Las posibilidades que el GPR ofrece para el estudio del patrimonio cultural resultan bastante atractivas, su uso en la prospección de sitios históricos y potenciales yacimientos arqueológicos permite generar un puente de interconexión entre la investigación documental y la comprensión de procesos humanos que tuvieron lugar en el pasado. Así mismo su uso como herramienta para el diagnóstico del patrimonio material representa una fuente de valiosa información para orientar investigaciones en base a datos precisos del subsuelo. Esta ponencia realiza una breve descripción de la tecnología GPR, aspectos teóricos de funcionamiento y su aplicación al estudio de 3 bienes inmuebles de arquitectura civil de relevancia histórica; Antigua Hacienda de La Palma, municipio de Venustiano Carranza, Michoacán; Hacienda de San Nicolás en Lagos de Moreno, Jalisco y Hacienda de Santa María de la Huerta, municipio de Ameca, Jalisco.

**Palabras claves:** *GPR, georadar, subsuelo, método no destructivo, geofísica, patrimonio cultural, haciendas, investigación documental, bienes inmuebles, arquitectura civil.*



## Introducción.

La complejidad presente en el mundo actual demanda la creación de nodos interconectores de disciplinas<sup>1</sup> para comprender de una manera mas completa los procesos y mecanismos que ocurren en nuestra realidad, dentro del ámbito de las ciencias sociales estos puentes relacionantes de disciplinas toman un giro interesante al incorporarse el uso de técnicas y herramientas pertenecientes a las llamadas “ciencias duras”.

El presente trabajo pretende abordar de manera superficial la utilización de una herramienta geofísica (radar de penetración terrestre) como un medio que proporciona información precisa que posteriormente es interpretada y utilizada para la comprensión de fenómenos sociales, culturales, antropológicos e históricos, permite también verificar la veracidad de ciertas historias que conforman el folclor local y nos ayuda a tener un mayor panorama de visión sobre el saber histórico de los sitios inmuebles analizados mismos que forman parte del patrimonio cultural presente en nuestro país, así mismo la importancia e comunicar y socializar estos resultados constituye una parte importante del proceso de investigación pues uno de los objetivos de la ciencia actual es llegar a la población.

La incorporación de este tipo de tecnologías puede resultar novedosa, sin embargo, su uso se ha venido realizando desde hace varias décadas, el campo de la tecnología geofísica ha avanzado a pasos agigantados, trayendo consigo la implementación de dispositivos de mayor precisión y capacidades (Vega, 2001). Actualmente a la conjunción del uso de métodos geofísicos y la metodología arqueológica se denomina como “Arqueometría”

---

<sup>1</sup> Superarse el foso entre las distintas formas de conocimiento, conciencia y expresión humana, complementaria el discurso analítico y ‘científico’ con el discurso poético, artístico, así como otras formas de prácticas de acceso al conocimiento y a la conciencia a la hora de construirse un pensamiento complejo ampliado.



## **Antecedentes.**

La teoría que constituye el funcionamiento del georadar se desarrolla ya en la segunda mitad del siglo XIX. La falta de los soportes tecnológicos adecuados ha impedido durante mucho tiempo su desarrollo. Después de que Maxwell y Hertz (1864-1886) enunciaran las leyes físicas que rigen la propagación de las ondas electromagnéticas en los medios, se tuvo que esperar hasta los años 30 del siglo XX, cuando Sir Watson y Watt construyeron el primer sistema radar que fue utilizado en la Segunda Guerra Mundial para fines militares.

Después de la guerra se hicieron experimentos aislados que utilizaban el radar como método de prospección del suelo. Luego, durante varios años, el georadar fue olvidado hasta llegar a los años '50. En esa época un avión estadounidense se estrelló en Groenlandia al no haber podido detectar una capa de hielo en el suelo. El particular acontecimiento hizo que algunos investigadores se interesaron al uso del radar como metodología de prospección del subsuelo empezando justo por el hielo polar.<sup>2</sup>

En la década siguiente se utilizó también con otros materiales (Cook, 1975), posteriormente Moffat y Puskar (1976) construyeron un interesante radar creado específicamente para la detección de las reflexiones en el subsuelo<sup>3</sup>. En la última década del siglo XX con el rápido desarrollo de los ordenadores se entró en la época más fecunda de los avances del aparato radar.

---

<sup>2</sup> Rápidamente, su ámbito de aplicación se hizo cada vez más extenso, abarcando desde la localización de agua dulce hasta el estudio de depósitos de sal, pasando por diferentes aplicaciones estratigráficas, geotécnicas, aplicadas al medio ambiente o a los riesgos geológicos.

<sup>3</sup> Las reflexiones hiperbólicas indican la presencia de reflectores enterrados bajo la superficie.



## Funcionamiento de la tecnología GPR.

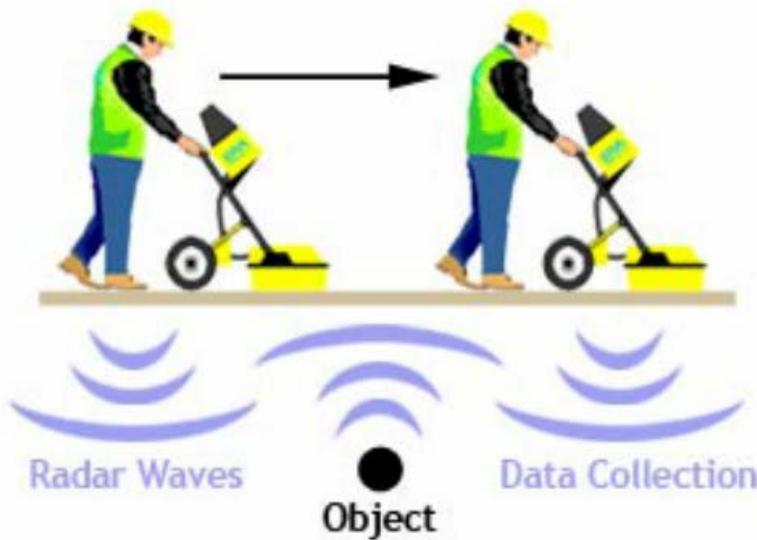


Figura 1: Principio de operación del GPR.

Fuente: <http://www.geophysical.com/>

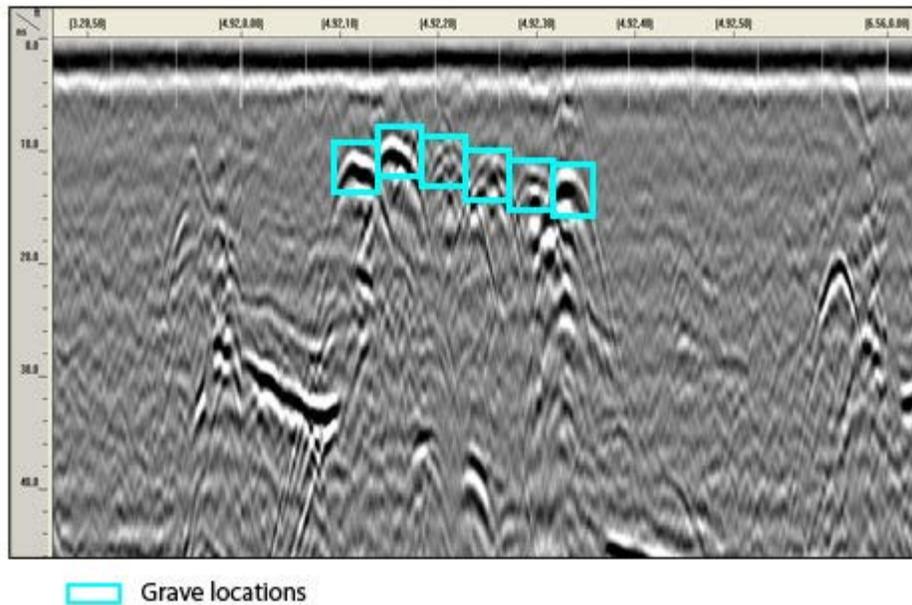
El radar de subsuelo o georadar (Ground Penetration Radar, GPR) es un método de prospección geofísica basado en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas en un medio, con la posterior recepción de las reflexiones que se producen en sus discontinuidades.

Estas discontinuidades son cambios bruscos de los parámetros electromagnéticos del subsuelo, es decir, de la conductividad, la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética (Lorenzo y Hernández, 1995).

Los registros que se obtienen son similares a los obtenidos cuando se realizan estudios de sismica de reflexión, con la diferencia de que, en el caso del georadar, se trabaja con frecuencias mucho más altas y la emisión de pulsos se puede realizar muy rápidamente. Por este motivo, aunque se trata de registros puntuales (trazas), los radargramas pueden llegar a considerarse casi registros continuos. La información que estos radargramas aportan es variada, pero principalmente se trabaja con tiempos de llegada. El tipo de estudio de subsuelo más básico consiste en determinar velocidades de propagación promedio y, junto con los tiempos de propagación registrados para cada evento, localizar la discontinuidad en la que se ha producido la reflexión, determinando tanto su situación horizontal como la profundidad a la se encuentra.



La profundidad que se puede alcanzar depende tanto de las condiciones de medio analizado como del equipo utilizado. En los casos que se presentan en este trabajo no se superan los 9 m. de profundidad, tratándose en todas las ocasiones de estudios superficiales del medio.



*Figura 2: Radargrama de un cementerio.  
Fuente: <http://www.geophysical.com/>*

Los radargramas también pueden aportar información si analizamos las amplitudes de los distintos eventos. Particularmente con el equipo utilizado (GPR GSSI SIR 2000 con antena de 200 MHz) se pueden distinguir fácilmente las reflexiones causadas por objetos metálicos, tunes o vacíos, perteneciendo estas al espectro de las altas frecuencias, el cual podemos delimitar mediante un proceso de filtrado en tiempo real con el software del equipo, este parámetro y la velocidad dependen del medio y permiten caracterizarlo.

Se trata, simplificando mucho, de una técnica no destructiva que utiliza ondas electromagnéticas para determinar superficies reflectoras en el interior de los medios.



El equipo consiste en un sistema de control (computadora) conectado a unas antenas que se desplazan sobre la superficie del medio que se desea analizar. Estas antenas son las encargadas de emitir energía hacia el interior del medio y de registrar las ondas que provienen de las reflexiones producidas en las discontinuidades interiores. Mientras mas baja sea la frecuencia de la antena, mayor profundidad alcanzara, sin embargo su resolución se vera disminuida.



*Figura 3: Sistema de control.*



*Figura 4: Antena de 200 MHz*

El desarrollo que han experimentado las técnicas de prospección con georadar ha ampliado los campos de aplicación abriendo las puertas a nuevos estudios y posibilidades.<sup>4</sup> Debido al gran interés en los estudios superficiales altamente resolutivos del subsuelo este desarrollo se está realizando muy rápidamente.

Las cada vez más numerosas aportaciones que se realizan en este campo contribuyen a este espectacular avance. Son muchos los ejemplos de estas aportaciones que van desde estudios de casos concretos hasta simulaciones por ordenador, pasando por ensayos experimentales y desarrollo de programas informáticos y de equipos.

---

<sup>4</sup> Una característica esencial de las técnicas no invasivas modernas es que proporcionan datos en formato digital, facilitando no solo el almacenaje de los datos crudos y elaborados y el acceso futuro a ellos por otros investigadores, sino también la posibilidad de combinarlos con datos procedentes de otras técnicas e la incorporación en bancos de datos o sistemas SIG.



## **Aporte de la tecnología GPR para el estudio del Patrimonio Cultural y bienes inmuebles de arquitectura civil.**

Una de las mayores virtudes de la utilización de este método es proveer información precisa del subsuelo sin necesidad de excavar, lo cual conllevaría indudablemente un deterioro del sitio de estudio, del bien cultural o de los objetos que se encuentren en el subsuelo.

Tener la posibilidad de acceder a esta información de localización constituye una ventaja enorme para los investigadores, facilitando información sobre la profundidad y ubicación de diferentes anomalías. En los casos que presentaremos en esta ponencia la detección se enfocó en la localización de estructuras subterráneas<sup>5</sup> presentes en los inmuebles.

La confirmación de la existencia de dichas anomalías y su posterior estudio aportan una gran cantidad de información para la comprensión de ciertos procesos sociales e históricos, verifican así mismo la veracidad de ciertas historias que conforman el folclor local y sirven para dar a conocer al público en general una idea de las condiciones sociales y formas de vida en la época de estudio de cada caso. La presencia de restos humanos en contenedores, ya sea tumbas u otro método de enterramiento es común en estas estructuras (Bevan, 1991).

Como datos complementarios podemos conocer la conformación del subsuelo donde se encuentran localizados dichos emplazamientos, permitiéndonos percatarnos de posibles amenazas para la estabilidad y permanencia de los bienes<sup>6</sup>. El término “Bienes inmuebles de arquitectura civil” nos sirve para referirnos y delimitar dentro de los términos patrimoniales las construcciones en las cuales se llevaron a cabo estudios y que conocemos comúnmente con el nombre de “Haciendas”.

---

<sup>5</sup> Básicamente túneles, sótanos, cuartos.

<sup>6</sup> Fracturas importantes en el terreno, humedad y otros factores.



## **La importancia de la investigación documental.**

Realizar una prospección sin tener idea de lo que se va a buscar, constituye una tarea bastante difícil, ya que del conocimiento de causa dependerá la interpretación que se dará a los datos obtenidos durante el análisis (Bano y Bernabé, 2000), es aquí donde radica la importancia de la investigación en fuentes documentales, en esta caso de carácter histórico (crónicas, archivos eclesiásticos, documentos de época, trabajos históricos, etc.), es decir, todas aquellas fuentes que puedan aportarnos datos que resulten de interés para nuestro estudio.

En algunas ocasiones es difícil disponer de dichas fuentes y debe recurrirse a la tradición oral, lo que cuenta el folclor y las leyendas, es ahí cuando la tecnología funge como un elemento para la comprobación o refutación de la existencia real de los díceres, aportando al carácter tangible de la investigación.

La existencia real de los elementos en ocasiones mencionados en el folclor constituye una validación de ciertas historias que han trascendido el paso del tiempo, como veremos en los posteriores casos de estudio la existencia de algunas estructuras en el subsuelo confirmara la veracidad de varias leyendas en los lugares de estudio, lo cual servirá para generar una revalorización del patrimonio cultural, pudiendo incidir así mismo en proyectos de gestión del patrimonio orientados hacia el turismo y apertura al público<sup>7</sup>, la restauración y documentación o la profundización de investigaciones.

---

<sup>7</sup> El patrimonio histórico-cultural puede revalorizarse en el marco de un desarrollo sustentable de la actividad turística. Para ello se requiere la formulación de productos turísticos que incluyan el patrimonio histórico-cultural como una dimensión más de su desarrollo y no un mero elemento.



## Estudios de caso.

Para todos los estudios de caso presentados en esta ponencia se utilizó un sistema SIR 200 de GSSI con antena de 200 MHz y una penetración máxima de 12 metros bajo condiciones idóneas

### 1.- Antigua Hacienda de La Palma, municipio de Venustiano Carranza, Michoacán.

Ubicada donde actualmente se localiza la iglesia de la localidad, la antigua Hacienda de la Palma constaba según los documentos históricos de una nave principal, a la cual se encontraba añadida un espacio para capilla, habitaciones de uso común y otros segmentos constructivos característicos de la época. Documentos apócrifos de finales del siglo XVII mencionan la existencia de un túnel de escape en el subsuelo de la antigua hacienda, dadas las condiciones actuales de uso del espacio (Iglesia) es imposible realizar un sondeo físico, motivo por el cual se utilizó la tecnología de radar de penetración terrestre y su cualidad de método no destructivo.



*Figura 5: Interior de la Iglesia de La Palma (Antigua Hacienda).*



Se procedió a trazar líneas de inspección en dirección Este – Oeste dentro de la nave principal de la estructura, localizando en los primeros escaneos una anomalía uniforme a una profundidad aproximada de 4.5 metros. Se continuo realizando la prospección en esta orientación hasta llegar al final de la estructura, posterior a ello se trazaron líneas de inspección en dirección Norte – Sur, las cuales arrojaron algunos datos interesantes de anomalías presentes hacia la parte central de la construcción. Una vez finalizado el escaneo inicial se procedió a confirmar la señal obtenida en las primeras líneas de inspección, realizando un ajuste de precisión al equipo. Se confirmo la presencia de una cavidad de forma definida y continuidad considerable, la cual concuerda con las características de túnel descritas en el documento apócrifo.

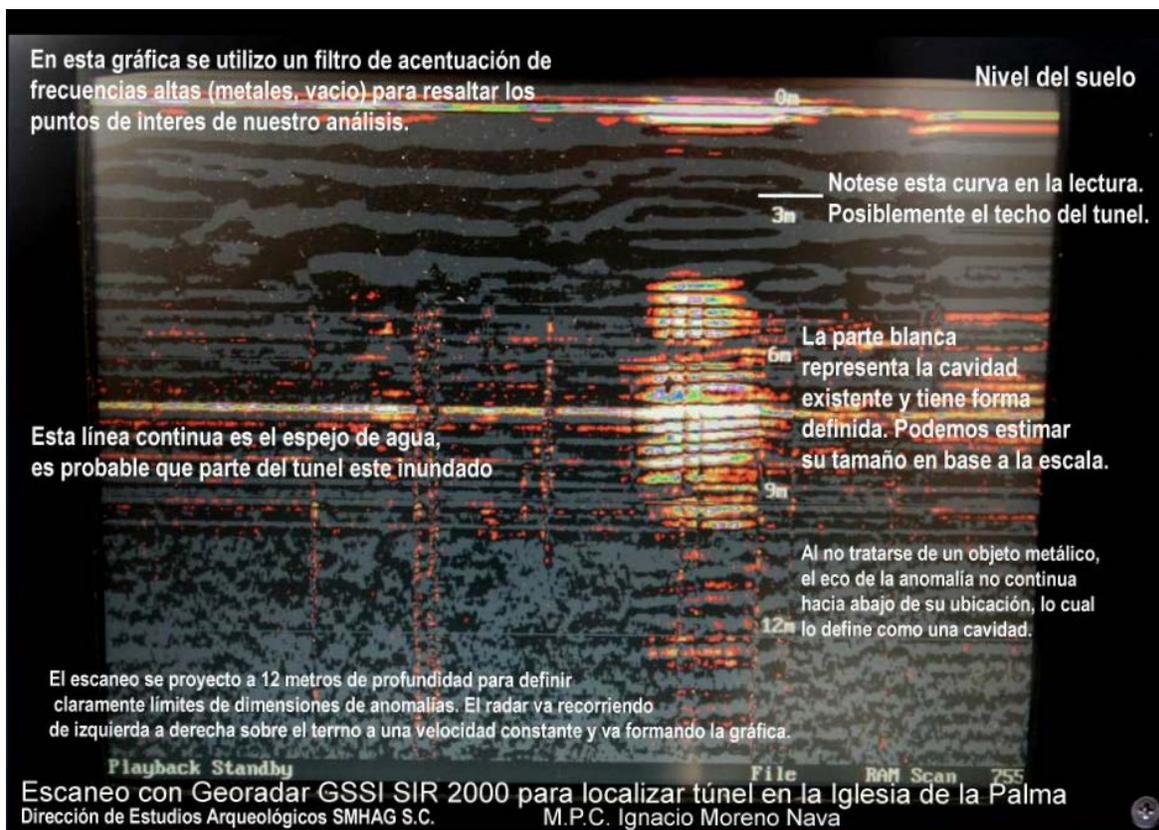


Figura 6: Análisis del radargrama de la anomalía obtenida en el subsuelo de la Iglesia de La Palma (Antigua Hacienda). Se utilizó un filtrado de alta frecuencia para resaltar los resultados



Posterior al análisis se llevo a cabo un pequeño coloquio para dar a conocer los resultados a la población, contando entre los asistentes desde jóvenes hasta personas de edad avanzado, los cuales se mostraron interesados por conocer los resultados del análisis realizado, se procedió a dar una explicación In Situ de la información arrojada por el GPR, en el evento participaron profesores y alumnos de la trayectoria de Estudios Multiculturales de la Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo y miembros de la Sociedad Michoacana de Historia, Arqueología y Geografía A.C.

## 2.- Hacienda de San Nicolás en Lagos de Moreno, Jalisco.

La hacienda de San Nicolás se encuentra ubicada en las afueras de la población de Lagos de Moreno en el estado de Jalisco, data de finales del siglo XVI tiempo durante el cual se utilizo como casa estanciero y la mayoría de su producción se conformaba de productos de las tierras de cultivo y ganadería.



Figura 7: Placa conmemorativa en la capilla.

La capilla de la hacienda es de especial interés, pues en ese sitio el 27 de Enero de 1775 fue bautizado Pedro Moreno González, benemérito que fue ascendido a la categoría de héroe en el pasado Bicentenario.

La tradición oral cuenta la leyenda de la existencia de un túnel que comunicaba la capilla con la nave principal de la hacienda, una distancia aproximada de 300 metros.



Los resultados de la prospección con equipo GPR GSSI SIR 2000 con antena de 200 MHz fueron negativos, no mostrando ninguna anomalía significativa en diversas líneas de escaneo que alcanzaron la profundidad de 12 metros.



*Figura 8: Radargrama del subsuelo de la capilla.*

Posterior a ello se procedió a escanear el piso de la capilla, en donde fue posible identificar una gran cantidad de anomalías en el subsuelo, mismas que fueron confirmadas por los dueños de la propiedad, ya que en trabajos de restauración anteriores INBA localizó algunos ataúdes en el piso de la estructura.

Los datos obtenidos en la prospección se entregaron en formato de reporte a los propietarios.

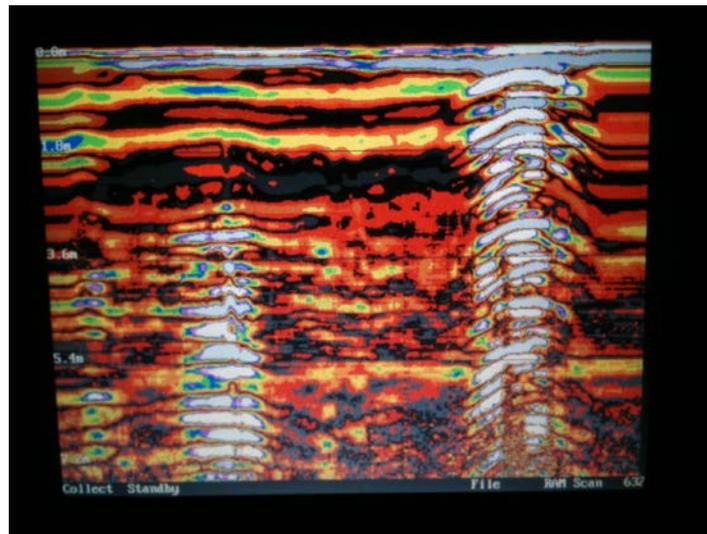
### **3.- Hacienda de Santa María de la Huerta, municipio de Ameca, Jalisco.**

Construida en la segunda mitad del siglo XVIII, para ser adquirida años después por don Manuel Calixto Cañedo y Jiménez de Alcaraz. La hacienda cuenta con una enorme y robusta construcción de dos niveles, sostenida por elegantes columnas dóricas y con una excelente disposición de partido, lo que nos habla de su importancia.



*Figura 9: Nave principal de la Hacienda de Santa María de la Huerta*

Se sustentaba básicamente con la producción de sus tierras de cultivo y ganadería, así como algunos sembradíos cafetaleros. En sus tiempos de mayor esplendor la hacienda conto con aproximadamente 1000 trabajadores. Documentos históricos en poder del actual propietario dan cuenta de la existencia de un túnel que cruza la nave principal de la hacienda en dirección al pueblo de Ameca. Debido a modificaciones efectuadas en la estructura resultaba impráctico verificar su existencia por medio de una excavación, la tecnología GPR permitió mapear el trazo del túnel hasta localizar una entrada bajo una losa de roca.



*Figura 10: Anomalia generada por la presencia de un túnel casi a nivel del piso (A la derecha). Reflexiones provocadas por otra estructura u objeto (A la izquierda).*

Se confirmo la presencia de la estructura y la continuidad de su trazo a través de varias de las habitaciones, sin embargo algunos de los cuartos se encuentran sellados. La existencia de túneles revela la necesidad de un espacio para que los ocupantes de la hacienda pudieran esconderse en caso de conflicto o de atraco a la hacienda, constituyendo un método de escape secreto y seguro. En algunas ocasiones se utilizaba como refugio para ocultarse incluso por días, almacenando en su interior alimentos y objetos de uso diario. Se prevé la apertura al público en un futuro para acrecentar el atractivo turístico de la hacienda, además de ayudarnos a comprender procesos sociales en épocas de revuelta.



## **Conclusiones.**

El uso de la tecnología GPR permite un análisis preciso del subsuelo, mismo que podemos orientar hacia la conservación del patrimonio cultural. Existen varios factores que pueden hacer variar la efectividad del método; conformación física del sitio, condiciones de humedad y la elección de la frecuencia adecuada para el estudio. Conocer de antemano el contexto temporal en el cual enfocaremos nuestra prospección servirá para ayudar a clarificar la interpretación de los radargramas obtenidos.

La confirmación y ubicación de anomalías en el subsuelo proporciona un punto de inicio preciso para los trabajos de excavación y exploración, su impacto en la comprensión de procesos humanos que tuvieron lugar en el pasado es innegable, permitiendo confirmar o desmentir datos documentales, leyendas y diagnosticar el estado del patrimonio. Nos dice mucho también sobre las particularidades arquitectónicas de ciertos espacios, acordes a las situaciones sociales que se suscitaban en sus tiempos de uso.

La comunicación de estos resultados resulta imprescindible para cumplir con la difusión del conocimiento al público en general. La contribución con la educación formal y no formal resulta necesaria ya que en la manera que se eduque al turista y a la población en la revalorización y apropiación del patrimonio cultural se podrán generar dinámicas de gestión que incidan a distintos niveles por medio de proyectos coordinados de equipos multidisciplinarios.



## Referencias.

Bevan, B. (1991). The Search for Graves. *Geophysics* 56:1310-1319.

Cook J.C. (1975) Radar transparencies of mine and tunnel rocks. *Geophysics*. pp. 865–885.

Lorenzo, E., & Hernández, M. (1995). *Prospección geofísica en yacimientos arqueológicos con georadar en España. Dos casos: Numancia y El Paular*. Física De La Tierra, (7), 193. Coruña, España, Escola Universitaria Politécnica. Universidade da Coruña.

Maksim Bano, Yves Bernabe (2000): *“Imagerie de la proche surface par georadar”*, para la obtención de *“Habilitation à diriger des recherches”* de Université Louis Pasteur - Strasbourg I, especialidad en Geofísica Aplicada.

Pérez Gracia, Vega (2001): *Radar de subsuelo. Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonio histórico-artístico*. Dep. de Ingeniería de Terreno, Cartográfica y Geofísica, Univ. Politécnica de Cataluña.