



Detector GPR para búsqueda de zonas subterráneas con agua

Juan Jesús Pérez Arteaga^{1}, Juan Carlos Ramírez Vázquez¹, Elizabeth Juárez Fernández¹, Juan Pablo Hernández Ortega¹*

¹TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Pánuco

*juan.perez@itspanuco.edu.mx

RESUMEN

La geofísica aplicada a la detección subterránea desempeña un papel fundamental en sectores como la agricultura, la ingeniería civil, y el estudio y protección del medio ambiente. Mediante el uso de tecnologías avanzadas, como los radares de penetración terrestre (GPR) y los sistemas de detección de agua subterránea por satélite, es posible obtener una visión detallada y precisa del subsuelo, lo que permite a los expertos comprender las características del terreno y su dinámica a distintos niveles de profundidad. Razón por la cual el objetivo de esta investigación es presentar una propuesta de integración de un sistema GPR. Donde se describen todos los elementos que lo conformarán, siguiendo una metodología tipo modelado en cascada. Es posible mencionar como conclusiones previas que se concluirá con la integración de diferentes sistemas mecánicos y electrónicos que conformaran el GPR. Esto es crucial para una gestión más sostenible y responsable de los recursos naturales, especialmente en tiempos de escasez de agua y necesidad de conservación del suelo. El uso de GPR, por ejemplo, permite detectar la presencia de agua subterránea y otros elementos, además de facilitar el monitoreo de contaminantes en el suelo, la identificación de cavidades, y la evaluación geotécnica antes de iniciar grandes proyectos de infraestructura. Esta tecnología se utiliza en combinación con guías y estudios técnicos que destacan principios y aplicaciones, así como métodos de interpretación de señales para facilitar su empleo en proyectos reales.

Palabras clave: geofísica aplicada, radar de penetración terrestre (GPR), detección subterránea, recursos naturales.

Abstract

Geophysics applied to subsurface sensing plays a key role in sectors such as agriculture, civil engineering, and the study and protection of the environment. Through the use of advanced technologies, such as ground penetrating radar (GPR) and satellite groundwater detection systems, it is possible to obtain a detailed and accurate view of the subsurface, allowing experts to understand the characteristics of the terrain and its dynamics at different depth levels. For this reason, the objective of this research is to present a proposal for the integration of a GPR system. Where all the elements that will integrate it are described, following a cascade modeling methodology. It is possible to mention as previous conclusions that it will be concluded with the integration of different mechanical and electronic systems that will conform the GPR. This is crucial for a more sustainable and responsible management of natural resources, especially in times of water scarcity and the need for soil conservation. The use of GPR, for example, makes it possible to detect the presence of groundwater and other elements, in addition to facilitating the monitoring of contaminants in the soil, the identification of cavities, and geotechnical evaluation prior to initiating large infrastructure projects. This technology is used in combination with technical guides and studies that highlight principles and applications, as well as signal interpretation methods.

Keywords: applied geophysics, ground-penetrating radar (GPR), underground detection, sustainable management, natural resources.

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más afectado por el cambio climático y la presión sobre los recursos naturales, tecnologías avanzadas como el radar de penetración terrestre (GPR) y los sistemas de teledetección han cobrado una relevancia crucial en áreas como la agricultura, la ingeniería civil y la gestión de recursos hídricos. Los métodos geofísicos de prospección, como el GPR, permiten visualizar y analizar el subsuelo sin necesidad de excavaciones invasivas, aportando información detallada sobre la composición,

estructura y propiedades de la tierra, lo que facilita la toma de decisiones informadas en proyectos de desarrollo e impacto ambiental.

La tecnología relevante en contextos donde su disponibilidad y necesidad de monitoreo de zonas subterráneas de contaminantes son evidentemente enormes. Artículos publicados por Alain Gachet explican la detección y eficacia de los recursos hídricos por satélites y como dispositivos GPR contribuyen a evitar malas prácticas agrícolas y a regular el uso de agua. Algunas aplicaciones del GPR van desde la identificación de zonas acuíferas hasta materiales contaminantes.

Además, en el ámbito de la ingeniería civil y la mecánica de suelos, el GPR se ha consolidado como una herramienta invaluable para evaluar condiciones subterráneas antes de construir. Al integrar este tipo de metodologías con modelos numéricos y simulaciones prácticas, ingenieros y técnicos pueden anticipar riesgos, mejorar la precisión de sus proyectos y reducir el impacto ambiental, abordando tanto la estabilidad de las estructuras como la preservación de los recursos naturales.

El cambio climático y la creciente presión sobre los recursos naturales han impulsado la adopción de tecnologías innovadoras que permiten una gestión más eficiente y sostenible del medio ambiente. Como parte de la justificación de este estudio se puede mencionar que el radar de penetración terrestre (GPR) como Herramienta y los sistemas avanzados de teledetección desempeñan un papel clave en sectores como la agricultura, la ingeniería civil y la conservación de recursos hídricos. Estas tecnologías posibilitan la exploración y análisis detallado del subsuelo, ofreciendo datos esenciales para la toma de decisiones informadas en proyectos de desarrollo sostenible y mitigación de impactos ambientales.

El uso del GPR resulta especialmente valioso en escenarios donde el monitoreo de recursos hídricos y la identificación de contaminantes son críticos. Gracias a su capacidad para generar imágenes detalladas del subsuelo sin necesidad de intervenciones invasivas, el GPR (ver figura1) permite localizar acuíferos, analizar zonas de recarga y detectar elementos contaminantes, contribuyendo así a un manejo más responsable de los recursos.



Figura 1. Radar de penetración terrestre.
Fuente: Tomada de Internet (2024).

METODOLOGÍA

Investigadores como Alain Gachet destacan la efectividad de combinar datos satelitales con tecnologías geofísicas para optimizar la gestión del agua en regiones con estrés hídrico.

El uso del radar de penetración terrestre presenta una alternativa no invasiva la cual facilita la detección de recursos sin necesidad de perforaciones. Distintos artículos como (Rodríguez Robles & Moreno Arregondo, 2021) y (Geology Science, 2023) resaltan las variaciones de conductividad del suelo mediante el uso del GPR se señala la intervención de agua subterránea. La técnica del GPR aparte de ser eficiente es económica en comparación con los métodos tradicionales.

Diversas instituciones destacan la relevancia de incorporar tecnologías geofísicas en el análisis del medio ambiente. Ambas fomentan el uso del dispositivo GPR (Radar de Penetración de Tierra) para la identificación de distintos recursos y la evaluación de los impactos ambientales, evidenciando así la necesidad de un enfoque integral en la gestión de recursos.

Además, revisiones como las publicadas por MDPI (MDPI, 2022) resaltan la utilidad del GPR en el estudio de la dinámica del agua en suelos no saturados, evidenciando cómo esta tecnología genera imágenes detalladas que ayudan a comprender los flujos de agua. Con los avances en el ámbito de la física moderna, surgen innovaciones que optimizan la calidad y resolución de los datos recolectados, permitiendo un análisis más profundo y

preciso del subsuelo. En conjunto, estas metodologías reflejan un avance significativo en la detección y gestión de recursos hídricos, ofreciendo herramientas fundamentales para promover la sostenibilidad ambiental.

Como se puede observar el procedimiento empleado inicialmente en el desarrollo de esta investigación consistió de 2 etapas: un tipo documental y una segunda tipo experimental. Para ello en la etapa experimental se iniciaron las primeras pruebas con un sistema ultrasónico que forma parte del prototipo meta de esta investigación. Para poder implementarlo de forma correcta, comprender de mejor manera sus ilustraciones presentadas en pantalla de una Tablet anexa que cuenta, botones que le conforman, etc, es decir todo el sistema; se buscaron algunas fuentes de información que incluía el dispositivo. Esto con la finalidad de poder verificar cómo es posible adaptarlo en el prototipo a fabricar. Así también, pueden observarse las primeras pruebas del dispositivo, como también el cambio de idioma y el cambio de hora para la región de América Latina, ver figura 2.



Figura 2. Configuración de equipo ultrasónico.

Dentro de los trabajos para la integración del prototipo de GPR a armar, se adaptó una podadora en desuso para colocarle el sensor ultrasónico y la Tablet indicadora ver figura 3, la cual muestra las posibles zonas donde se encuentra agua; a una distancia de 8 metros de profundidad aproximadamente. También, muy importante es verificar el sensor ultrasónico, se encuentre colocado en la podadora y a una distancia del piso de aproximadamente de 3 cm. Ver figura 4.



Figura 3. Adecuación de Podadora.



Figura 4. Sensor ultrasónico en podadora.

Pruebas en campo (ver figura 5), permitieron comprobar que el prototipo armado si es funcional, toda vez que se realizaron varios muestreos entre 8 y 10 metros, donde se realizaron análisis y estimaciones para verificar dicha profundidad (Sensors & software freom Radiodetection, 2025). Así también, fueron identificados dichos valores (Rodríguez Robles & Moreno Arregondo, 2021) en la Tablet (ver figura 6). La interpretación de las imágenes no es tarea fácil e interpretarlos adecuadamente resulta ser un tema un tanto no muy fácil (Flores García, 2016). Existen literaturas que muestran tendencias actuales y futuras del manejo de imágenes obtenidas con equipos GPR (A.P., 2002). Dentro de las incorporaciones realizadas a la estructura que soporta a la Tablet y el sensor se incluyo una carcasa de podadora (fig. 7), para en otro momento poder realizar pruebas en campo en diferentes zonas y verificar la presencia del líquidos.



Figura 5. Muestreos en campo.



Figura 6. Señales indicadoras de agua.



Figura 7. Podadora adaptada para portar sensor y Tablet.



Figura 8. Pruebas en campo con indicaciones visibles.

RESULTADOS

Dentro de las interrogantes planteadas se pueden mencionar las siguientes: ¿será posible crear un sistema GPR económico y de fácil armado?, ¿podría un GPR servir como herramienta didáctica para trabajo en instituciones educativas?. Estas dudas pueden ser resueltas haciendo continuación al desarrollo y uso de este prototipo de Sistema GPR

con las características descritas y para la finalidad comentada. En estudios realizados a sistemas hidráulicos para drenajes pluviales se han podido prever acciones que apoyen en casos de contingencias futuras (Suaréz Burgoa, 2009), contando con la ayuda de un sistema GPR.

DISCUSIÓN

Este artículo presenta un análisis de diferentes fuentes de información relacionadas a la aplicación de tecnología satelital para la detección de agua subterránea. Y otras propuestas como:

Geology Science: Esta fuente detalla los principios y aplicaciones del radar de penetración terrestre (GPR), proporcionando una base técnica sobre su funcionamiento y áreas de aplicación. Resulta útil para comprender los aspectos fundamentales y las variables que influyen en el GPR, aunque su enfoque es más teórico que práctico.

GPRS: Este documento se enfatiza el uso del GPR para temas ambientales, el muestreo de aguas subterráneas y la detección de contaminantes, describe detalladamente cómo se usa el GPR para estos estudios, siendo práctico y útil para trabajos específicos de agua y medioambiente.

UNAM: La tesis sobre el análisis de señales GPR con la transformada de Wigner-Ville es una investigación experimental aplicada en ingeniería civil. El estudio utiliza un enfoque matemático para el análisis de datos GPR, útil para trabajos avanzados en detección de objetos subterráneos.

Ground Penetrating Radar Theory and Applications: Este libro es una referencia académica amplia sobre la teoría y aplicaciones del GPR, ofreciendo una metodología detallada y completa. Es clave para el análisis de casos de estudio prácticos y esencial para investigaciones avanzadas.

Cybertesis UACH: Esta tesis es fumedal, utiliza una metodología de campo como evaluador del impacto ambiental, integrando monitoreo de suelo y agua. No se enfoca

específicamente en GPR, aunque su enfoque es compatible con estudios de prospección ambiental.

Sensors & Software: El estudio analiza la profundidad de penetración del GPR, siendo esencial en la configuración y uso del equipo. Su metodología es técnica y práctica, ideal para estudios en geotecnia y medioambiente. Así también, en “Diseño de equipos GPR avanzados para aplicaciones de ingeniería civil” (Manacorda y otros, 2015) son descritos diferentes propuestas de radares penetrantes y empleados en el área de Ingeniería Civil (Cedolini & Quinteros, 2022).

Así también, muestra el desarrollo de una propuesta de prototipo fabricado con diferentes elementos para conformar un GPR tipo didáctico y económico, comparado con similares equipos en venta al público. Se espera en futuras investigaciones relacionadas a este prototipo desarrollado, brinden más datos tomando en cuenta diferentes tipos de suelos, alturas de posición del sensor, condiciones de operación en zonas tipo pozos con aceites y agua. Variante en los tipos de antenas empleadas (Pajewski y otros, 2015).

En la tabla 1, se muestran características de GPR implementados con tecnologías satelitales, los beneficios que pueden aportar, un análisis de literaturas relacionadas, hallazgos y comparativos, incluyendo limitaciones a considerar. Otra consideración muy importante es comprender la dinámica de los suelos (Review of Ground Penetrating Radar Applications for Water Dynamics Studies in Unsaturated Zone, 2022).

CONCLUSIONES

Tabla 1 Características del GPR

Aspecto	Descripción
Implementación de GPR y tecnologías satelitales	Durante la implementación, se detectaron cuerpos de agua subterránea en diferentes áreas geológicas. El GPR demostró ser efectivo en suelos arenosos y no saturados, pero mostró limitaciones en suelos arcillosos. Se destacó la relevancia de combinar datos satelitales y GPR para superar estas limitaciones.

Beneficios de la integración de GPR y satélites	La integración permitió una identificación más precisa de acuíferos subterráneos, lo cual es clave para la administración hídrica en áreas agrícolas y zonas afectadas por la sequía. La combinación de ambas tecnologías mejoró la precisión en terrenos con propiedades conductivas variadas, aumentando la efectividad del método.
Hallazgos en comparación con estudios anteriores	Los resultados coinciden con estudios anteriores que demuestran la efectividad del GPR en suelos con baja conductividad (Gachet, SciELO). Sin embargo, se confirmaron las limitaciones en suelos arcillosos, como se mencionó en estudios de MDPI y GPRS. La novedad reside en la combinación con datos satelitales, aún no estudiada exhaustivamente.
Relaciones y diferencias con estudios previos	Las principales diferencias radican en la limitación del GPR en suelos de alta conductividad y la propuesta de integración con sistemas satelitales, menos explorada en investigaciones anteriores. Este enfoque representa un avance importante para estudios hidrológicos en áreas problemáticas.
Limitaciones del estudio	- La penetración del GPR en suelos arcillosos fue limitada, incluso con la integración satelital. - La escalabilidad a nivel global aún presenta desafíos técnicos. - En algunas áreas, la obtención de datos uniformes fue un problema.

LITERATURA CITADA

- A.P., A. (2002). History, Trends, and Future Developments. Subsurface Sensing Technologies and Applications 3. *Springer Nature Link*, 3, 253–270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1020657129590>
- Bautista-Santos, H., Martínez-Flores, J. L., Fernández-Lambert, G., Bernabé-Loranca, B., Sánchez-Galván, F., & Sablón-Cossío, N. (2015). Modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas. *Dyna*, 145-154.
- Cedolini, M., & Quinteros, R. (4 de 11 de 2022). USOS Y APLICACIONES DE EQUIPO DE RADAR DE PENETRACIÓN (GPR) EN EL ÁMBITO DE LA INGENIERÍA CIVIL. MODELOS PRÁCTICOS Y NUMÉRICOS PARA INTERPRETACIÓN DE SEÑALES. *Asociación Argentina de Mecánica computacional*, 241-250. Obtenido de file:///C:/Users/jrav0/Downloads/6329-24878-1-PB.pdf

- Flores García, W. A. (2016). El radar de penetración terrestre como una herramienta de geofísica somera, aplicado a la exploración arqueológica. *Ravista Geofísica*(66), 77-93. <https://doi.org/https://revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/228>
- Manacorda, G., Persico, R., & Scott, F. (2015). Design of Advanced GPR Equipment for Civil Engineering Applications. *Springer Nature Link*, 3-39. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-04813-0_1
- Pajewski, L., Tosti, F., Kusayanagi, & W. (2015). Antennas for GPR Systems. *Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-04813-0_2
- Review of Ground Penetrating Radar Applications for Water Dynamics Studies in Unsaturated Zone. (2022). *MDPI Open Acces Journals*, 14-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14235993>
- Rodríguez Robles, U., & Moreno Arregondo, J. T. (27 de SEP de 2021). *Geofísica para la prospección agrícola y forestal: guía para interpretar imágenes del subsuelo*. Obtenido de Madera y bosques : https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712021000100301
- Sensors & software freom Radiodetection. (29 de 01 de 2025). *Sensoft*. Obtenido de Estimación de la penetración de GPR en el suelo: <https://www.sensoft.ca/es/blog/estimating-gpr-penetration-depth/>
- Suaréz Burgoa, L. (2009). Obras subterráneas en conurbaciones, Soluciones debajo de la superficie para problemas en la superficie. *Revista de Arquitectura*, 11(11), 97-107. <https://doi.org/ISSN: 1657-0308>