

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS**



**ANÁLISIS DEL RADARGRAMA PARA LA DETECCIÓN DE  
ANOMALÍAS EN EL SUBSUELO CON EL GEORADAR  
DE PENETRACIÓN TERRESTRE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO - MATEMÁTICAS  
EN LA ESPECIALIDAD DE FÍSICA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Michael Auccatoma Garay**

**ASESOR:**

**Lic. Wilmer Enrique Moncada Sosa**

**AYACUCHO – PERÚ**

**2022**



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

**“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 016-2022-FIMGC**

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 027-2022-FIMGC-D**, siendo los veintiséis días del mes de enero del 2022, a horas 11.00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el Presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Mg. Julio Francisco JIMÉNEZ ARANA**, Jurado el **Mg. Renato SOCA FLORES**, Jurado – Asesor el **Mg. Wilmer MONCADA SOSA** y Secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **“ANÁLISIS DEL RADARGRAMA PARA LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN EL SUBSUELO CON EL GEORADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE”**, sustentado por el Señor **Michael AUCCATOMA GARAY**, Bachiller en **Ciencias Físico Matemáticas**

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por  
Dr. Ing. Efraín Elías Porras  
Flores  
Fecha: 2022.01.31 07:44:19  
-05'00'

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**  
Presidente

**Mg. Julio Francisco JIMÉNEZ ARANA**  
Jurado

Firmado  
digitalmente por  
MONCADA SOSA  
WILMER ENRIQUE  
Fecha: 2022.01.26  
13:06:00 -05'00'

**Mg. Wilmer MONCADA SOSA**  
Jurado Asesor

Firmado digitalmente  
por SOCA FLORES  
RENATO  
Fecha: 2022.01.26  
13:29:48 -05'00'

**Mg. Renato SOCA FLORES**  
Jurado

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso

c.c.:  
Bach. Michael AUCCATOMA GARAY,  
Jurados (4)  
Archivo

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, MICHAEL AUCCATOMA GARAY con DNI 43039823 y código de matrícula N° 26075769 con domicilio legal en la Asoc. Madre Covadonga Mz. "T" Lte. "09" Distrito Ayacucho, Provincia de Huamanga, Región Ayacucho. Estudiante de: Pre Grado de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas, Especialidad Física.

Con proyecto de investigación titulado: **"ANÁLISIS DEL RADARGRAMA PARA LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN EL SUBSUELO CON EL GEORADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE."**

Declaro bajo juramento que:

1. El presente proyecto de investigación es de mi autoría.
2. He respetado las normas universales de redacción al hacer uso de las citas y referencias de las fuentes consultadas. Por lo que, el presente proyecto de investigación no presenta plagio alguno.
3. El proyecto que se presenta no sido presentado anteriormente con el objetivo de obtener grado académico o título profesional, mucho menos publicada, razón por el que puedo precisar que no es autoplagiado. En caso de encontrarse o confirmarse hechos contrarios a los declarados inicialmente asumo las sanciones y consecuencias que de esas acciones deriven, sometiéndome a las normas vigentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Ayacucho, 10 de Enero del 2022



---

MICHAEL AUCCATOMA GARAY

DNI N° 43039823

## **DEDICATORIA**

*A Dios por mantenerme de buena salud en estos tiempos difíciles, a mis padres quienes siempre me han apoyado y a toda mi familia a quien quiero de todo corazón.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma máter, por la formación de profesionales competentes.

A la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas, por incentivar a los alumnos a la investigación científica.

Al mi asesor, Wilmer Enrique Moncada Sosa, por sus apoyo y exigencia y sugerencias en el desarrollo del trabajo.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice .....	v
Índice de tablas .....	viii
Índice de figuras.....	ix
Lista de acrónimos .....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción de la situación problemática .....	3
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.3. Formulación de objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación (teórica, práctica y metodológica) .....	4
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes .....	5
2.2. Bases teóricas .....	8
2.2.1. Ondas electromagnéticas.....	8
2.2.2. Propiedades electromagnéticas del medio .....	9
2.2.3. Permitividad eléctrica .....	10
2.2.4. Permeabilidad magnética .....	10
2.2.5. Conductividad eléctrica.....	11
2.2.6. Reflexión y refracción de ondas electromagnéticas.....	11
2.2.7. Espectro electromagnético .....	12
2.3. Bases conceptuales.....	13
2.3.1. Georadar de Penetración Terrestre, GPR.....	13

2.3.2. Radargrama .....	16
2.3.3. Anomalías .....	16
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>17</b>
3.1. Formulación de hipótesis .....	17
3.1.1. Hipótesis general.....	17
3.1.2. Hipótesis específico .....	17
3.2. Variables .....	17
3.2.1. Variable independiente .....	17
3.2.2. Variable dependiente.....	17
3.3. Operacionalización de variables .....	18
3.4. Tipo y nivel de investigación .....	19
3.4.1. Tipo de investigación .....	19
3.4.2. Nivel de investigación.....	19
3.5. Métodos.....	19
3.6. Diseño de investigación .....	19
3.7. Población y muestra .....	19
3.7.1. Población.....	19
3.7.2. Muestra.....	19
3.8. Técnicas e instrumentos .....	19
3.8.1. Técnica.....	19
3.8.2. Instrumento .....	31
3.9. Validez y confiabilidad de instrumentos.....	34
3.10. Técnicas de procesamiento de datos .....	34
3.11. Aspectos éticos.....	34
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
4.1. Determinación de anomalías del subsuelo detectadas en diferentes texturas de suelos con el radargrama del georadar de penetración terrestre, Gepard.....	35
4.1.1. Anomalías presentes en el subsuelo de bofedal en la microcuenca Apacheta....	35
4.1.2. Anomalías presentes en el subsuelo de la Av. Javier Pérez de Cuellar .....	38
4.1.3. Anomalías presentes en el subsuelo de pastizales en la localidad de Toccto .....	39
4.1.4. Anomalías presentes en el subsuelo del embalse de la presa prehispánica Ricococha.....	41

4.2.	Interpretación de anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo muestreado en diferentes zonas con el georadar de penetración terrestre, Gepard .....	42
4.2.1.	Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo de bofedal en la microcuenca Apacheta .....	42
4.2.2.	Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo de la Av. Javier Pérez de Cuellar .....	44
4.2.3.	Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo zona de pastizales en la localidad de Toccto .....	46
4.2.4.	Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo de la zona de embalse de la presa ricococha en el distrito de Pamparomás .....	48
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>56</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3.1. Tipos de suelo y profundidad mínimo y máximo .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1. Reflexión y refracción de las ondas electromagnética .....	12
Figura 2.2. Espectro electromagnético .....	12
Figura 2.3. Esquema de funcionamiento de un GPR .....	14
Figura 3.1. Bofedal en la microcuenca Apacheta.....	20
Figura 3.2. Área de prospección de la avenida Javier Pérez de Cuellar .....	21
Figura 3.3. Área de prospección en Toccto.....	21
Figura 3.4. Represa altura de Pamparomás .....	22
Figura 3.5. Esquema de prospección en 2D por tramos, del bofedal de la microcuenca Apacheta.....	22
Figura 3.6. Esquema de prospección, en 3D por tramos, bofedal de la microcuenca Apacheta.....	23
Figura 3.7. Zona prospectada bofedal Apacheta .....	23
Figura 3.8. Esquema de prospección, en 2D dos tramos, de la avenida Javier Pérez de Cuellar .....	24
Figura 3.9. Esquema de prospección, en 3D dos tramos, de la avenida Javier Pérez de Cuellar .....	24
Figura 3.10. Zona prospectada en la avenida: rojo con desagüe, azul suelo compacto.....	24
Figura 3.11. Área prospectada en Toccto.....	25
Figura 3.12. Línea prospectada, zona de embalse de la presa prehispánica Ricococha .....	25
Figura 3.13. Ventana principal de la tablet - icono del software Gepard.....	26
Figura 3.14. Ventana de configuración de la aplicación Gepard GPR-nuevo escaneo.....	26
Figura 3.15. Ventana de configuración título del proyecto y notas y remarques.....	27
Figura 3.16. Ventana de configuración tipo de escaneo de 2D/3D.....	27
Figura 3.17. Ventana de configuración tipo de selección de antena .....	28
Figura 3.18. Ventana de configuración, tipo de suelo y profundidad .....	28
Figura 3.19. Ventana de configuración, regulador de profundidad .....	30
Figura 3.20. Botón multifunción .....	30
Figura 3.21. Prospección del subsuelo con georadar Gepard .....	31

Figura 3.22.	Georadar Gepard armado con antena triangular .....	31
Figura 3.23.	Tablet Android.....	32
Figura 3.24.	Unidad de Control.....	32
Figura 3.25.	Eje transmisor y receptor .....	33
Figura 3.26.	Antenas telescópicas .....	33
Figura 3.27.	Antena triangular .....	33
Figura 4.1.	Radargrama del tramo1, bofedal donde se realizó la prospección .....	35
Figura 4.2.	Radargrama del tramo 5, bofedal donde se realizó la prospección .....	36
Figura 4.3.	Radargrama del tramo 10, bofedal donde se realizó la prospección .....	37
Figura 4.4.	Radargrama del tramo 1, de la Avenida que contiene la tubería .....	38
Figura 4.5.	Radargrama del tramo 2, de la avenida sin la tubería.....	39
Figura 4.6.	Radargrama del tramo 3, zona de pastizales en la localidad de Toccto...39	
Figura 4.7.	Radargrama del tramo7, zona de pastizales en la localidad de Toccto....40	
Figura 4.8.	Radargrama del tramo10, zona de pastizales en la localidad de Toccto..41	
Figura 4.9.	Radargrama del muro de presa, zona de embalse de la presa prehispánica Ricococha .....	41
Figura 4.10.	Anomalías de radargrama .....	42
Figura 4.11.	Radargrama del transepto 1 en el bofedal de la microcuenca Apacheta .43	
Figura 4.12.	Radargrama del transepto 5 en el bofedal de la microcuenca Apacheta .43	
Figura 4.13.	Radargrama del transepto 10 en el bofedal de la microcuenca Apacheta .....	44
Figura 4.14.	Radargrama del transepto 1 en la Av. Javier Pérez de Cuellar.....	45
Figura 4.15.	Radargrama del transepto 2 en la Av. Javier Pérez de Cuellar, zona sin tubo.....	45
Figura 4.16.	Radargrama del transepto 3 en las zonas de pastizales de Toccto.....	46
Figura 4.17.	Radargrama del transepto 7 en las zonas de pastizales de Toccto.....	47
Figura 4.18.	Radargrama del transepto 10 en las zonas de pastizales de Toccto.....	47
Figura 4.19.	Muro de la presa prehispanica en Pamparomás.....	48
Figura 4.20.	Radargrama del transepto en muro por donde pasa la bocatoma de la presa .....	49

## RESUMEN

El actual trabajo tiene como objetivo analizar el radargrama de muestras que contiene algunas anomalías en el subsuelo a diferentes profundidades mediante el uso del radar de penetración terrestre Gepard, del cual se obtienen imágenes mediante un proceso de prospección, estas imágenes se llaman radargramas, del cual podemos interpretar las anomalías mostradas en ellas. El funcionamiento del radar de penetración terrestre se basa en la generación y recepción de ondas electromagnéticas, que difieren en función de las propiedades electromagnéticas del material, así como de algunos parámetros del entorno. Los cambios en las ondas electromagnéticas se registran en una unidad donde se procesan los datos para producir una imagen de alta resolución llamada radargrama. Por lo cual se lleva a cabo el reconocimiento de sus partes para así poder hacer un uso adecuado del georadar Gepard. Se realizó la prospección del bofedal en apacheta, de la avenida Javier Pérez de Cuellar en el distrito de Ayacucho, en las zonas de pastizales de Toccto y de una presa prehispánica en Pamparomás, de la cuales se obtuvieron radargramas, de donde se analizaron las anomalías encontradas, concluyéndose para el caso de un bofedal que el subsuelo contiene capas de materia orgánica con contenido de humedad y agua además de diversas texturas de subsuelo. Para el caso de la Av. Javier Pérez de Cuellar se identificó la presencia de una tubería ubicada a 2 m de profundidad. Para el caso de las zonas de pastizales se encontró que hay zonas con cavidades y bolsas de agua. Para el caso de la presa prehispánica se verificó la existencia de zonas de infiltración en el muro.

**Palabras clave:** Georadar, prospección, radargrama.

## **ABSTRACT**

The current work aims to analyze the radargram of samples that contain some anomalies in the subsoil at different depths through the use of the Gepard ground penetrating radar, from which images are obtained through a prospecting process, these images are called radargrams, from which we can interpret the anomalies shown in them. The operation of ground-penetrating radar is based on the generation and reception of electromagnetic waves, which differ depending on the electromagnetic properties of the material, as well as some environmental parameters. Changes in electromagnetic waves are recorded in a unit where the data is processed to produce a high-resolution image called a radargram. Therefore, the recognition of its parts is carried out in order to make proper use of the Gepard georadar. The prospection of the bofedal in apacheta, of Javier Pérez de Cuellar avenue in the district of Ayacucho, in the grassland areas of Toccto and of a pre-Hispanic dam in Pamparomás was carried out, from which radargrams were obtained, from which the anomalies were analyzed found, concluding for the case of a wetland that the subsoil contains layers of organic matter with moisture and water content as well as various subsoil textures. In the case of Av. Javier Pérez de Cuellar, the presence of a pipe located at a depth of 2 m was identified. In the case of grassland areas, it was found that there are areas with cavities and pockets of water. In the case of the pre-Hispanic dam, the existence of infiltration zones in the wall was verified.

**Keywords:** GPR, prospecting, radargram

## ACRÓNIMOS

- GPR : Ground Penetrating Radar (Radar de Penetración Terrestre)  
LABTELER : Laboratorio de Teledetección y Energía Renovable  
Radar : Sistema Electrónico de Localización  
UNSCH : Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está relacionado con el equipo, radar de penetración terrestre. Que en los últimos años se viene desarrollando gracias a los avances tecnológicos, lo que permite que el equipo sea más manejable y accesible para su uso en distintos campos.

El radar de penetración terrestre, es un equipo que se utiliza como una técnica no invasiva, es decir sin afectar el terreno que se requiere analizar, mediante la prospección del subsuelo.

La técnica con radar de penetración terrestre se basa en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas en el subsuelo, que posteriormente se recibe las ondas electromagnéticas de la reflexión, que se producen en el subsuelo. Ocurre un cambio en los parámetros electromagnéticos del subsuelo de acuerdo a sus propiedades: conductividad, permitividad eléctrica y permeabilidad magnética.

Las reflexiones registradas del subsuelo se presentan en el radargrama. Esta imagen es como un corte vertical de la zona de prospección donde se mostrará las anomalías detectadas.

La investigación a realizarse se desarrollará con el equipo de penetración terrestre Georadar GEPARD (OKM). para obtener las diferentes anomalías que se mostrara en el radargrama.

Los trabajos con equipos de radar de penetración terrestre se vienen realizando en nuestra actualidad a nivel internacional en diferentes áreas como arqueología, ingeniería, hidrología, etc.

También en nuestro país se están haciendo el uso con más frecuencia de equipos de Georadar en los ámbitos de arqueología minería y otros afines.

En nuestro ámbito local los trabajos con Georadar es poco difundido por falta de especialistas o la falta de un equipo a disponibilidad.

Por tal razón este trabajo que realizamos con el equipo Georadar GEPARD OKM que pertenece al Laboratorio de Teledetección y Energía Renovable (LABTELER) de nuestra Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Nos brinda muestras para la guía para futuros trabajos de prospección.



# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la situación problemática**

Actualmente, el radar de penetración terrestre se utiliza con mayor frecuencia, en distintas disciplinas como; arqueología, ingeniería, geología, forense, etc. Se va mejorando el software del georadar, para así facilitar las lecturas de los radargramas, de la prospección.

Uno de los problemas, que nos lleva a realizar el trabajo del plan de estudio es la falta de datos correspondiente a diferentes tipos de subsuelo a través de imágenes del radargrama, que servirán como muestra de guía, para realizar futuras prospecciones, a partir de las características, propiedades y tipos de subsuelo, donde se identifican anomalías durante el análisis de los radargramas. De esta manera se facilitará la comprensión de los subsuelos a otros investigadores interesados en realizar trabajos futuros en prospección geofísica del subsuelo.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida el análisis del radargrama permite la detección de anomalías del subsuelo con el Georadar de Penetración Terrestre?

#### **1.2.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuáles son las anomalías del subsuelo detectadas en diferente textura con el radargrama del Georadar de Penetración Terrestre?
2. ¿Cuál es la interpretación de las anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo con el Georadar de Penetración Terrestre?

### **1.3. Formulación de objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar el radargrama para la detección de anomalías del subsuelo con el georadar de Penetración Terrestre.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Determinar las anomalías del subsuelo detectadas en diferente textura con el radargrama del georadar de penetración terrestre.
2. Interpretar las anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo con el Georadar de Penetración Terrestre.

### **1.4. Justificación (teórica, practica y metodológica)**

El presente trabajo de tesis pretende desarrollar una metodología amigable con el medio ambiente, que permita el reconocimiento de patrones espectrales en el radargrama para diferentes tipos de anomalías del subsuelo medidos con el equipo georadar de penetración terrestre GEPARD del laboratorio de Física LABTELER - UNSCH. Ello permitirá afianzar y reforzar la falta de experiencia que se tiene con el equipo Georadar Gepard en el reconocimiento de patrones espectrales las cuales están relacionadas con la calibración del georadar para su aplicación en distintos medios, alteraciones por el entorno, limitada reflexión, entre otras más, que no son invasivas ni destructiva del medio con el que interactúa, con el fin de reconocer un conjunto de anomalías del subsuelo, que se mostrará en el radargrama después de realizar la prospección de algunas zonas determinadas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Los estudios de prospección con equipos de radar de penetración terrestre mediante los pulsos electromagnéticos van mejorando con el transcurso del tiempo. El equipo georadar “GEPARD” sería el primer estudio que se realice con este tipo de aparato para poder descubrir la existencia de las anomalías que se mostraran en el radargrama o imágenes del subsuelo de las zonas de estudio.

Este tipo de estudio se están llevando a cabo en varios campos, como en la minería, arqueología, geología, etc. Se presenta algunos trabajos realizados por los siguientes investigadores relacionados con el tema:

Según, Tavera (2011), quien en su investigación de tesina titulada Aplicación del georadar para la mejora del rendimiento de una red hídrica, desarrollada en la ciudad de Valencia-España, analizó y evaluó la efectividad y eficiencia de los radares de penetración terrestre como una herramienta útil para mejorar el desempeño de las redes de abastecimiento urbanas, mediante la localización de fugas de agua, la detección de conexiones o tuberías ilegales que no figuran en el mapa catastral y todos los casos en los que las herramientas pueden ser de utilidad para tener un mejor conocimiento del sistema en general. Los datos del georadar se procesaron con el software Radan 6.5. En mediciones a mayor escala, o en aplicaciones reales, las imágenes resultantes suelen presentar mayor ruido, ya que no todas las variables relevantes pueden ser controladas por el usuario, por lo tanto, es más difícil identificar imágenes anormales provocadas por una fuga.

De acuerdo con, López Julián et al. (2018), en su trabajo de investigación, Uso del georadar para la identificación y definición geométrica de estructuras de cimentación

en edificaciones existentes, conocer con la mayor precisión posible las dimensiones en planta y el canto de dichos elementos. Como ejemplo de la prospección, realizada en cada uno de los pilares existentes, no era sólo la definición de la estructura de cimentación, sino también la observación de posibles heterogeneidades en el sustrato de apoyo de la misma, se comprobó que la losa tenía un canto de aproximadamente 1 m, poseía dos niveles de armado embebidos (detectados por tratarse de anomalías puntuales de alto contraste), y se apoyaba sobre una capa de hormigón de limpieza a modo de homogeneización topográfica, estos elementos son difíciles de determinar con una antena de 100 MHz, mientras que la posición obtenida a una frecuencia de 250 MHz permite determinar la posición de la base para la placa. Por otro lado, la antena de 500 MHz, que permite un nivel de resolución muy superior a pesar de tener un alcance total limitado que las otras dos antenas, ha proporcionado una configuración que permite una identificación clara e inequívoca de todos dichos elementos estructurales.

Teniendo en cuenta a, Oviedo González. (2017), quien en su investigación desarrollada en los sectores Nuevo Corinto y El Cardal, Costa Rica; evaluó la aplicabilidad del radar de penetración terrestre para la identificación de evidencia cultural precolombina y características subterráneas de los sitios arqueológicos. El investigador considero la muestra conformada por los radargramas, resultados obtenidos de la prospección de dichas zonas mencionadas, en el cual se empleó el equipo georadar de penetración terrestre Gepard (OKM). En cuanto a los resultados metodológicos, el Gepard no mostro una adecuada adaptabilidad a las condiciones del ambiente de los sitios en estudio, debido a su aspecto lo hace vulnerable a la afectación de elementos externos, que afecta en el resultado y en la integridad del radar. Pese a las dificultades encontradas durante la investigación y posterior interpretación, se obtuvieron resultados positivos. En Nuevo Corinto se logró verificar parte de la estratigrafía, así como algunos elementos arquitectónicos que se conocían previamente (muros, basamento). El sitio del Alto del Cardal contiene 9 anomalías que se entienden como características arqueológicas o características geomorfológicas / geológicas. Entre los elementos arqueológicos identificados: la tumba, la planta baja y los adoquines. También se explicaron algunos elementos de la paleontología. Se concluye que las áreas seleccionadas de ambos sitios fueron casi completamente representadas por los radargramas, solamente un 15% de estos fueron infructíferos para la interpretación debido a alteraciones externas (ruido). Por otro lado, las representaciones en 3D son

hasta el momento, totalmente ineficaces dado las deficiencias del software, así como en el diseño de la prospección. Este trabajo facilitara el uso del georadar Gepard (OKM), para para futuros investigadores, ya que presenta como operar el equipo de una manera correcta.

De acuerdo a, Huisa Condori (2017), en su investigación de tesis realizada en el terminal portuario general san Martín del distrito de paracas, provincia de pisco departamento de Ica, presento el método para la caracterización del subsuelo en investigaciones geotécnicas en la ampliación de dicha zona, con los equipos de resistividad Multielectrodo y Georadar. Se realizó 6 ensayos para ambos equipos, para el primero generando perfiles con los datos obtenidos en la dirección paralela y perpendicular al muelle, para el segundo se obtuvieron radargramas a partir de los datos adquiridos. En los perfiles de Georadar, se presentó con buena resolución la zona de contacto entre el agua marina –suelo marino para lo cual se menciona valores máximos y mínimos de espesor a la cual se encuentra la capa de agua marina. Así también en los perfiles de Georadar se logró visualizar anomalías generadas por fracturas y/o discontinuidades representativas, mucho mejor que con el método de resistividad, es posible no solo desarrollar las herramientas necesarias, sino también utilizarlas a través de los flujos de trabajo descritos en base a estudios de caso de radar de resistencia terrestre y radar de penetración terrestre, obteniendo así resultados que reflejan su aplicabilidad a estudios de sistemas no destructivos caracterización del fondo marino en proyectos de ampliación portuaria.

Según, Porcel Arotaipe (2013), en su investigación, Simulación de detección de objetos metálicos en tolva de mineral utilizando georadar, se diseña un sistema que realice la detección de "inchancables" voluminosos, dentro de la carga de mineral, se utilizó el georadar cuyos datos fueron procesados por GPRMax 2D/3D y Matlab. La simulación produce matrices numéricas, que para su adecuada lectura deben ser traducidas en gráficos que permitan una lectura fácil de lo encontrado por el georadar. Para una visualización adecuada, se utiliza el programa MATLAB, que se encargará de traducir el lenguaje binario y producir una representación gráfica, el georadar sigue en desarrollo, igual los softwares que procesan señales para la presentación gráfica de resultados, por lo que se considera la mejor adaptada para la detección de "inchancables" al interior del mineral que se encuentra en la tolva de un camión.

## **2.2. Bases teóricas**

Los equipos de georadar GPR emiten ondas electromagnéticas que penetran en el subsuelo, estas ondas electromagnéticas son reflejadas y receptionadas por el equipo georadar, como son ondas electromagnéticas están relacionadas con las ecuaciones de Maxwell.

Las ecuaciones de Maxwell es el fundamento teórico en la que se sustenta el fenómeno, en conjunto con las denominadas ecuaciones constitutivas, que relacionan la intensidad del campo eléctrico y magnético con el desplazamiento eléctrico y la inducción magnética, correspondientemente, permitiendo correlacionar las interacciones entre las ondas electromagnéticas y los medios por donde se emite Ayala (2012)

Las ecuaciones de Maxwell también enlazan los campos eléctricos y magnéticos con las fuentes que lo generan, a partir de una serie de parámetros constantes para cada medio determinado, estas definen electromagnéticamente el medio. “En prospección con radar de penetración terrestre, tres de estos parámetros son básicos para comprender que se está registrando. Se trata de la conductividad, la permitividad dieléctrica y la permeabilidad magnética” (Benabdeloued, 2008).

También podemos decir que ocurre el fenómeno de la reflexión y transmisión de ondas electromagnética, pues viaja de un medio a otro medio.

### **2.2.1. Ondas electromagnéticas**

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. Varias señales electromagnéticas se clasifican según su frecuencia en el llamado espectro electromagnético.

El formalismo de Maxwell predice la existencia de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio a la velocidad de la luz. Esta teoría fue confirmada años más tarde experimentalmente por Heinrich Hertz, quien generó y detectó ondas electromagnéticas. Este descubrimiento ha permitido que sistemas cotidianos como la radio, la televisión o el radar sean posibles, Campello, Abad, y Sala. (2018).

Las siguientes ecuaciones de Maxwell describen un campo electromagnético (CEM). (Rodríguez, 2010).

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \dots\dots\dots(1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \dots\dots\dots(3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \dots\dots\dots(4)$$

Dónde:

$\vec{E}$  : intensidad de campo eléctrico ( $V/m$ )

$\vec{H}$  : intensidad de campo magnético ( $A/m$ )

$\vec{B}$  : densidad del flujo magnético ( $Wb/m^2$ )

$\vec{j}$  : densidad de corriente

$\rho$  : densidad de carga libre.

**2.2.2. Propiedades electromagnéticas del medio**

Estas propiedades se reconoce mediante “la caracterización electromagnética del medio se realiza a través de tres parámetros, permitividad (constante dieléctrica), permeabilidad (constante magnética) y la conductividad del medio” (Rodríguez, 2010).

$$\epsilon = \frac{E}{D} \dots\dots\dots(5)$$

$$\mu = \frac{H}{B} \dots\dots\dots(6)$$

$$\sigma = \frac{E}{J} \dots\dots\dots(7)$$

D: densidad de flujo eléctrico.

H: intensidad de campo magnético.

Siendo  $\sigma$ ,  $\epsilon$  y  $\mu$  las constantes independientes para cada material, tal y como denota a continuación:

$\sigma$  : representa la conductividad eléctrica del material ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ )

$\mathcal{E} = \epsilon_r \cdot \epsilon_o$  : que simboliza la constante dieléctrica del material ( $\frac{F}{m}$ )

$\epsilon_o$  : representa la constante dieléctrica en el vacío.

$\epsilon_r$  : la constante dieléctrica relativa.

$\mu = \mu_r \cdot \mu_o$  : es la permeabilidad magnética del material  $\frac{H}{m}$

$\mu_r$  : que representa la permeabilidad magnética relativa.

$\mu_o$  : representa la permeabilidad magnética del vacío.

### 2.2.3. Permitividad eléctrica

Esta condición del medio es “la permitividad eléctrica absoluta es la constante de proporcionalidad entre la intensidad del campo eléctrico externo aplicado y el vector desplazamiento eléctrico” (Benabdeloued, 2008, p. 218).

$$\mathcal{E} = \epsilon_r \cdot \epsilon_o \dots\dots\dots(8)$$

Por lo cual la permitividad eléctrica es el resultado de la multiplicación entre la permitividad relativa del material ( $\epsilon_r$ ) y la permitividad dieléctrica del vacío ( $\epsilon_o = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m$ ).

### 2.2.4. Permeabilidad magnética

La permeabilidad magnética enlaza la inducción magnética  $\vec{B}$  con la intensidad del campo magnético  $\vec{H}$ .

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_o \dots\dots\dots(9)$$

Donde  $\mu$  representa el producto entre la permeabilidad relativa del material  $\mu_r$  y la permeabilidad magnética del vacío. Su unidad de medida es (Henri/metro)

La relación entre la permitividad dieléctrica del vacío y la permeabilidad magnética del vacío se expresa como:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_o \cdot \mu_o}} = 2,998 \cdot 10^8 m/s$$



$c$  velocidad de una onda electromagnética en el vacío.

### 2.2.5. Conductividad eléctrica

Se define como la capacidad de un material o sustancia de conducir corriente eléctrica mediante su área definida, esta depende de varios factores, como la estructura atómica y molecular de una sustancia o la temperatura.

### 2.2.6. Reflexión y refracción de ondas electromagnéticas

#### 2.2.6.1. Reflexión

Se define como el cambio de dirección de una onda, que, al entrar en contacto con la superficie de separación entre dos medios cambiantes, regresa al medio donde se originó, “La reflexión con un ángulo definido desde una superficie lisa se llama reflexión especular y la reflexión desde una superficie áspera se llama reflexión difusa” (Sears, 2009).

La siguiente conclusión de rayos incidentes y reflejadas son:

- El rayo incidente, reflejado y la normal (es la línea recta que traza la superficie donde el rayo incide) se encuentran en el mismo plano.
- La ley de reflexión, es cuando los rayos incidente y reflejado forman un ángulo  $\theta_i$  y  $\theta_r$  con la normal. El experimento y la teoría muestran que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia:

$$\theta_r = \theta_i \dots\dots\dots(10)$$

#### 2.2.6.2. Refracción

Se produce cuando la luz pasa de un medio de propagación a otro con una densidad óptica diferente, sufriendo un cambio de dirección.

Cuando el rayo pasa de un medio con índice de refracción  $n_1$  y ángulo incidente  $\theta_1$ , a otro medio con índice de refracción  $n_2$  y ángulo de refracción  $\theta_2$ , ocurre la desviación en la dirección de propagación esta desviación en la dirección de propagación de la onda electromagnética o luz se explica por medio de la ley de refracción o ley de Snell. (Sears, 2009)

Ley de refracción o ley de Snell.

$$n_1 \text{sen}(\theta_1) = n_2 \text{sen}(\theta_2) \dots\dots\dots(11)$$

El índice de refracción es:

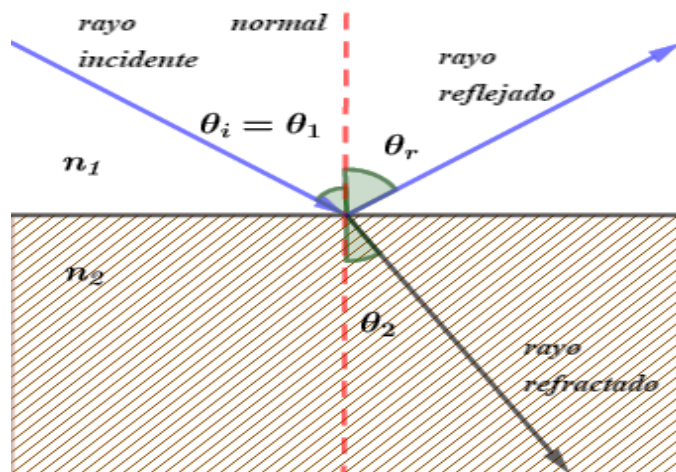
$$n = \frac{c}{v} \dots\dots\dots(12)$$

Dónde:

$C$  : es la velocidad de la luz en el vacío

$v$  : es la velocidad de la luz en un medio

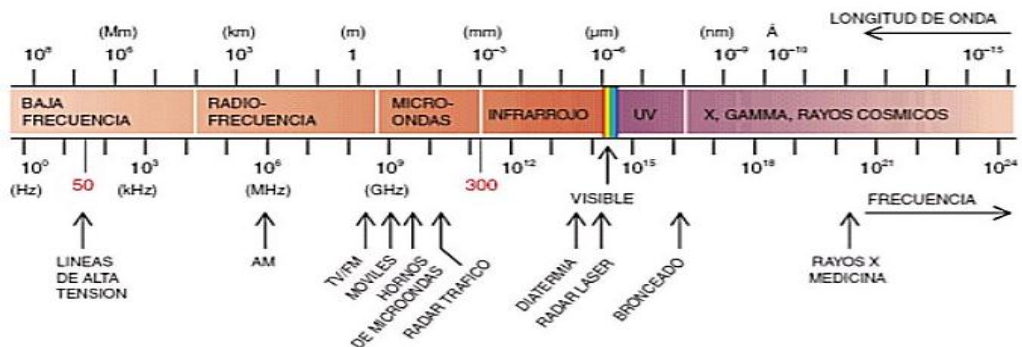
Veamos la siguiente imagen donde se muestra la reflexión y refracción.



**Figura 2.1.** Reflexión y refracción de las ondas electromagnética

### 2.2.7. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es la distribución de energía de todas las diferentes ondas o señales electromagnéticas clasificadas según sus frecuencias.



**Figura 2.2.** Espectro electromagnético

Fuente: <https://www.rftorrent.com/ondas-electromagneticas.htm>.

## **2.3. Bases conceptuales**

### **2.3.1. Georadar de Penetración Terrestre, GPR**

El georadar es llamado también radar de penetración terrestre abreviado como GPR (Ground Penetrating Radar). Es un equipo que emite y recibe ondas electromagnéticas, utilizadas para detectar, descubrir o localizar, objetos enterrados, o alguna deformación que exista en el subsuelo, de la cual se obtiene una imagen conocida como radargrama.

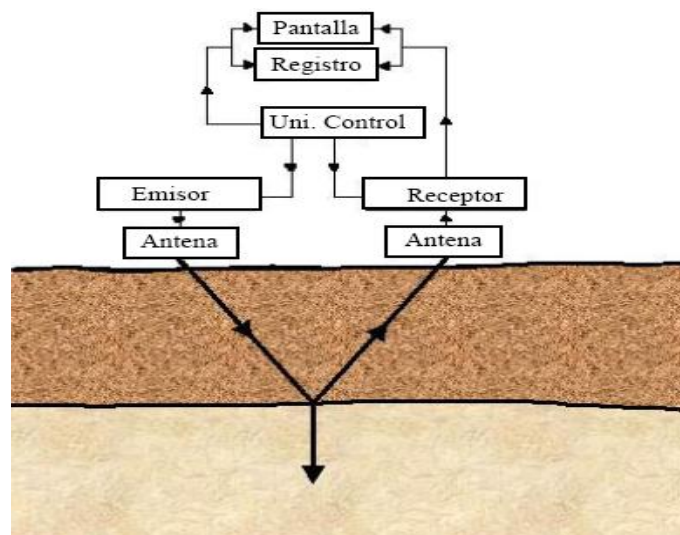
La historia del radar de penetración terrestre empieza a inicios del siglo XX donde Christian Hülsmeier sentó las bases para los sistemas de radar en general cuando obtuvo la primera patente mundial en tecnología de radar el 30 de abril de 1904 (patente DE 165 546). Seis años después, Gotthelf Leimbach y Heinrich Löwy solicitaron una patente para utilizar la tecnología de radar para localizar objetos enterrados con tecnología de radar (patente DE 237 944). Este sistema utilizó antenas de superficie junto con un radar de onda continua. En 1926, el Dr. Hülsenbeck introdujo un sistema de radar de pulsos y el Dr. Hülsenbeck solicitó una patente (DE 489 434). La invención particular mejoró la resolución de profundidad y todavía se usa ampliamente en la actualidad. Uno de los primeros radares de penetración terrestre (GPR) fue producido en Austria en 1929 por W. Stern en 1929 para explorar las profundidades de los glaciares. (Borchert, 2010)

El radar GPR fue puesto de lado debido a los conflictos que ocurrían por aquellos años. Esta tecnología se abandonó casi por completo a pesar de que se registraron más de 36 patentes entre 1936 y 1971. El abandono continuó hasta finales de la década de 1950 cuando un radar de la Fuerza Aérea de EE. UU. Intentó dirigir la aeronave para que aterrizara en Groenlandia, malinterpretando la altitud de hielo. También descubre desde arriba la causa del accidente de uno de estos aviones. Esta situación contribuyó al inicio de investigaciones para verificar la capacidad del radar no solo para detectar la penetración del hielo, sino también para determinar las propiedades de las aguas subterráneas y subterráneas Davis, Billy R et al., (1966).

Se le toma con mayor importancia el radar de penetración terrestre. A principios de los años 70, para realizar una prospección mediante esta técnica, no había más remedio que construir un GPR propio. Pero en 1972 Rex Morey y Art Drake (Geophysical Survey Systems Inc.) empezaron a fabricar y vender sistemas GPR comerciales. De esta manera

comenzó el desarrollo de aplicaciones, generándose una explosión de publicaciones e investigaciones. Hoy en día, muchas empresas fabrican comercialmente equipos GPR, como MALA GeoScience, Ground Prob, GSSI, Sensors & Software Inc. y Penetradar, 3d-Radar AS, IDS (Ingeniería Dei Sistema), Geozondas JSC, US Radar, Swedish Radarteam, etc. Hay muchas empresas y organizaciones que están realizando investigaciones utilizando esta tecnología. Tras su gran éxito, se han celebrado varios congresos internacionales para presentar las novedades en el estudio de esta tecnología y sus aplicaciones. Uno de los eventos más importantes del mundo es la Conferencia Internacional sobre Radares de Penetración Terrestre, que se celebra cada dos años desde 1986. (Benabdeloued. 2008)

El sistema GPR consiste principalmente en una antena transmisora, una antena receptora, una unidad de control y una computadora portátil para grabar y mostrar configuraciones.



**Figura 2.3.** Esquema de funcionamiento de un GPR

Nota: Se presenta la figura 2.3 que fue extraída con nombre de figura 1.1: esquema de funcionamiento de GPR de (Benabdeloued, 2008).

### 2.3.1.1. Unidad de control del GPR

Es el encargado de generar las ondas electromagnéticas y también es que recibe las ondas reflejadas del subsuelo diremos que: Su función principal es el control y la coordinación entre los diferentes elementos que forman el GPR. En primer lugar, la unidad central coordina entre la emisión de las ondas electromagnéticas y la recepción de las reflexiones a través las antenas correspondientes. En el caso de emisión de pulsos controlados por tiempo, este se controla mediante un reloj interno que puede discriminar

hasta intervalos de  $2 \cdot 10^{-5}$  s. Si la emisión se controla por distancia, la orden de disparo se controla mediante un odómetro. Como la duración del pulso se encuentra entre 1 y 10 ns (para frecuencias de 1 GHz y 100 MHz), en cualquiera de los casos se puede decir que el sistema está casi todo su tiempo en silencio, a la espera de poder detectar las reflexiones del subsuelo, cuyo retraso es directamente proporcional a la profundidad del elemento reflector (Benabdeloued, 2008, p. 16).

### 2.3.1.2. Antenas del GPR

Se defina que “las antenas son una parte fundamental del equipo ya que son los elementos encargados tanto de emitir el pulso electromagnético como de recibir la energía reflejada” (Benabdeloued, 2008, p. 17). Para luego llevar a la unidad de control.

También se puede decir que las antenas se utilizan para realizar dos funciones básicas en la prospección con georadar. Por un lado, deben radiar la energía que se les suministra en forma de potencia con la direccionalidad y las características adecuadas a la aplicación pensada. Las antenas se caracterizan por su frecuencia o por su longitud de onda la relación entre estos dos parámetros es por medio de otro parámetro, la velocidad de los pulsos electromagnéticos en el medio donde se produce la propagación. (Gil, 2004, p. 188)

Una forma muy común de caracterizar a las antenas es por la frecuencia central de su emisión, como se reescribe.

La longitud de onda del pulso emitido depende de esta frecuencia y de la velocidad de la onda en el medio a través de la conocida expresión:

$$\lambda = \frac{v}{f} \dots\dots\dots(13)$$

Siendo  $v$  la velocidad de propagación de la onda electromagnética en el medio donde se produce la propagación (si la onda se propaga en el aire, esta velocidad puede tomarse como la velocidad de propagación de una onda electromagnética en el vacío,  $c$  y  $\lambda$  es la longitud de la onda en dicho medio y  $f$  es la frecuencia del pulso emitido, el GPR utiliza bandas de frecuencia situadas entre los aproximadamente, 10 MHz y 3 GHz. (Benabdeloued, 2008, p. 17)

### **2.3.1.3. Pantalla de registro**

Es donde se registra y almacena los datos recibidos desde la unidad de control. Este presenta en forma de imagen bidimensional llamada radargrama, que almacena el conjunto de todas las señales recibidas de la prospección registrada en cada tramo (mediciones secuenciales efectuadas en una línea recta), el cual se muestra las anomalías de la prospección del lugar seleccionado.

### **2.3.2. Radargrama**

El radargrama es la representación que se muestra en la pantalla de la Tablet, luego de haber sido procesado por el software del radar GPR, en ella se puede observar anomalías o distorsiones si es que existe algún objeto, vacío, etc.

### **2.3.3. Anomalías**

Son las distorsiones que se muestran en el radargrama esto ocurre cuando en el subsuelo no existe homogeneidad puede que exista vacíos una piedra de tamaño considerable que varíe la homogeneidad del subsuelo.

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Formulación de hipótesis**

#### **3.1.1. Hipótesis general**

El análisis del radargrama permite la detección de anomalías del subsuelo con el georadar de Penetración Terrestre de manera significativa.

#### **3.1.2. Hipótesis específico**

- La determinación de anomalías del subsuelo es detectada en diferentes texturas con el radargrama del georadar de penetración terrestre de manera significativa.
- La interpretación de las anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo con el georadar de penetración terrestre, son significativas.

### **3.2. Variables**

#### **3.2.1. Variable independiente**

Radargrama

##### **Indicadores:**

- Frecuencia de ondas electromagnéticas del georadar de penetración terrestre
- Reflectancia de las ondas electromagnéticas del georadar

#### **3.2.2. Variable dependiente**

Anomalías del subsuelo

##### **Indicadores:**

- Tipo de suelo
- No homogeneidad del suelo a diferentes profundidades.

### 3.3. Operacionalización de variables

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Escala de Medición</b>	<b>Instrumento</b>
Independiente: Radargrama	El radargrama es la consecuencia de datos procesados de una prospección del suelo que se muestra en una imagen	Ondas electromagnéticas del Georadar Gepard	Frecuencia de ondas electromagnéticas del georadar de penetración terrestre	Cualitativo	Intervalo	Gepard
			Reflectancia de las ondas electromagnéticas del georadar.	Cualitativo		Gepard
Dependiente: Anomalías	Las anomalías son los resultados encontrados en el suelo luego de ser prospectado. Que se muestra en el radargrama mediante distorsiones en la imagen	Tipos de suelo	Propiedades del subsuelo	Cuantitativo	Rango	Gepard
			Tipos de textura del subsuelo	Cuantitativo		Gepard



### **3.4. Tipo y nivel de investigación**

#### **3.4.1. Tipo de investigación**

- Aplicada

#### **3.4.2. Nivel de investigación**

Por su finalidad el trabajo a realizarse es:

- Descriptivo
- Explicativo

### **3.5. Métodos**

- Cualitativo – Cuantitativo

### **3.6. Diseño de Investigación**

- No experimental

### **3.7. Población y muestra**

#### **3.7.1. Población**

Compuesta por las imágenes de la prospección del suelo, mostrada en el radargrama del Georadar de penetración terrestre, tomaron muestras en los siguientes sitios mencionados: Bofedal en la Microcuenca Apacheta, Avenida Javier Pérez de Cuellar, Toccto, Pamparomás, Chiara y Huancasancos.

#### **3.7.2. Muestra**

Conformada por la selección adecuada de un sub conjunto de observaciones de las imágenes mostradas en el radargrama obtenidas de la prospección del suelo medidas con georadar de penetración terrestre, se seleccionó los radargramas que mejor representación presentaron estos lugares son: avenida Javier Pérez de Cuellar, Bofedal en la Microcuenca Apacheta, Toccto y Pamparomás.

### **3.8. Técnicas e instrumentos**

#### **3.8.1. Técnica**

En este apartado se ubica los lugares donde se prospectaron y establecer reglas para la correcta calibración y uso del georadar, aplicable al caso específico de las zonas

seleccionadas para la prospección del subsuelo, que permita ampliar las probabilidades de éxito.

**Paso 1. Se identificaron las zonas a ser evaluadas con el Gepard.** En primer lugar, se procede a clasificar las zonas de muestreo y posteriormente se realiza una observación de la zona, y ver la parte más adecuada para realizar la prospección geofísica, esta debe ser accesible para poder transitar con el equipo GPR, Gepard.

**Primera zona de muestreo Bofedal en la Microcuenca Apacheta.** la cual se ubica en la Región Ayacucho a una altitud de 4652 m.s.n.m., es una zona donde abunda los bofedales, que tienen su propia vegetación, ya que los bofedales son zonas de recarga hídrica que almacenan agua tanto en el estadio lluvioso como en la época seca, la vegetación que crece en los bofedales consume bastante agua y casi siempre están verdes.



**Figura 3.1.** Bofedal en la microcuenca Apacheta

**Segunda zona de muestreo Av. Javier Pérez de Cuellar.** se ubica en el cono norte de Huamanga, en referencia al terminal terrestre Wari, la prospección se realizó cuando dicha avenida estuvo en proceso de pavimentación, por tal motivo aprovechamos la oportunidad ya que la zona estaba libre de ruidos, así no tuvo que interrumpir con las ondas electromagnéticas que emite y recibe la unidad de control del Gepard.



**Figura 3.2.** Área de prospección de la avenida Javier Pérez de Cuellar

**Tercera zona de muestreo pastizales localidad de Toccto.** El lugar donde se realizó la prospección se encuentra a una distancia aproximada de 3.5 km de la repartición Andahuaylas y Cangallo - Vilcashuamán, siguiendo la ruta Andahuaylas, se encuentra a una altura de 4145 ms.n.m. la zona a prospectar es un lugar donde filtra agua a la superficie, pero no en gran cantidad.



**Figura 3.3.** Área de prospección en Toccto

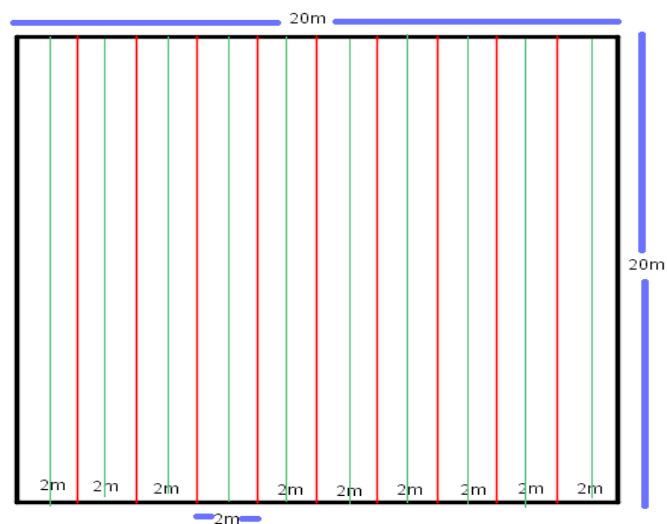
**Cuarta zona de muestreo presa prehispánica Ricococha.** La zona donde se realizó la prospección se localiza en el territorio del Distrito de Pamparomás Provincia de Huaylas y Departamento de Ancash, esta zona de prospección se encuentra a una altura de 4538 ms.n.m a una latitud de 9.06468° S, y longitud de 77. 91725° W. La zona a prospectar, la figura 3.4 muestra el lugar.



**Figura 3.4.** Represa altura de Pamparomás

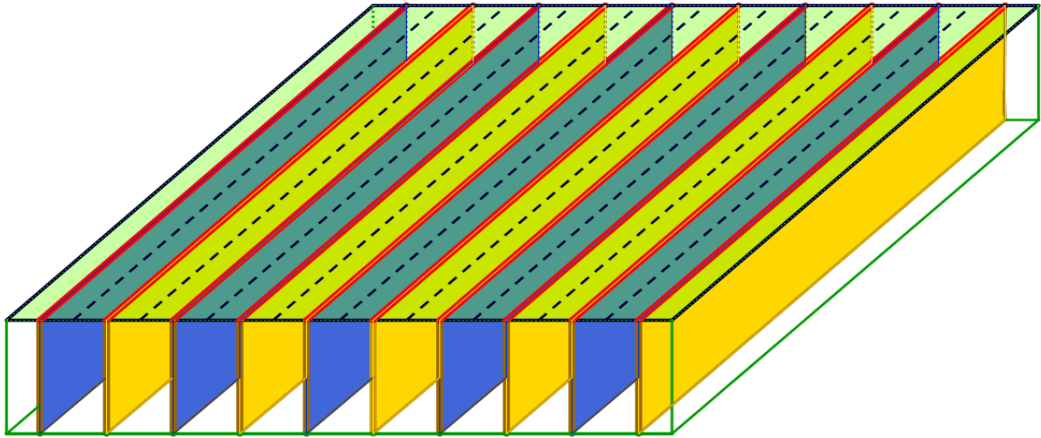
**Paso 2 se realizaron cortes transversales de las zonas a evaluar.** En esta etapa una vez seleccionado y despejado la zona a prospectar se hace las mediciones respectivas a realizar por donde se hará el recorrido con el equipo GPR. Se tiene zonas donde se realiza solo una línea en otras tenemos donde se realiza 10 líneas estas separadas a 2 metros para cada prospección de donde se obtienen los cortes transversales, de las cuales se obtuvieron los radargramas.

**Técnica de prospección en el bofedal de la microcuenca Apacheta.** Una vez visto la zona se seleccionó la parte más accesible para la prospección y se midió y marco las partes que se prospecto de la forma que se ve la figura 3.5.



**Figura 3.5.** Esquema de prospección en 2D por tramos, del bofedal de la microcuenca Apacheta

Se observa a continuación la Figura 3.6 de la prospección y el radargrama que debe mostrarse para cada tramo



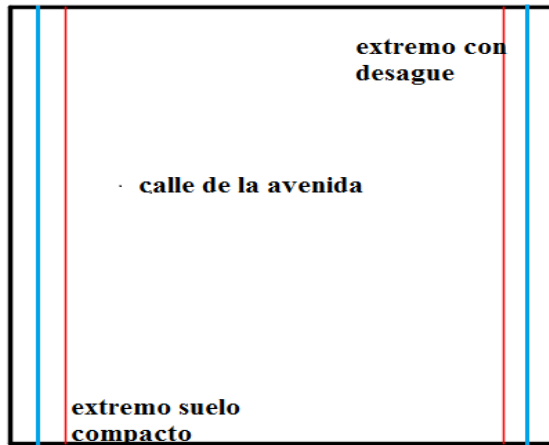
**Figura 3.6.** Esquema de prospección, en 3D por tramos, bofedal de la microcuenca Apacheta

De esta manera siguiendo la manera de la figura 3.5. se realiza la medición y marca de los puntos por donde se realizó la prospección como se ve en la figura 3.6 que es la parte donde se realizó la prospección.



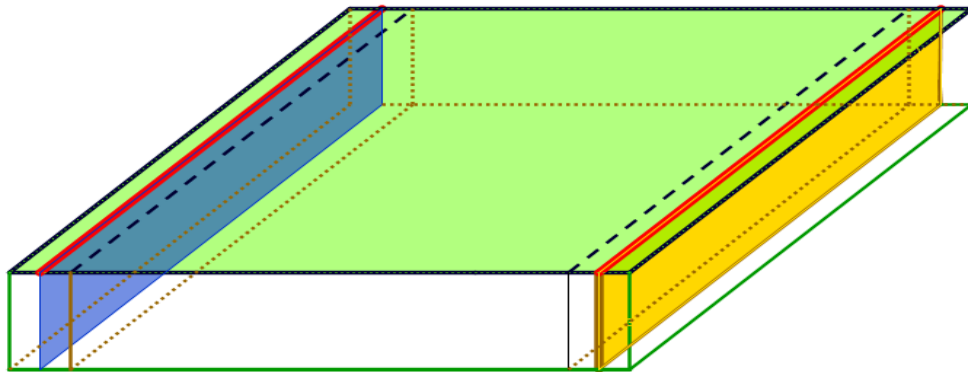
**Figura 3.7.** Zona prospectada bofedal Apacheta

**Técnica de prospección en la Av. Javier Pérez de Cuellar.** Una vez visto la zona se seleccionó la parte más accesible para la prospección y se midió y marco las partes que se prospecto, la figura 3.7 muestra la forma.



**Figura 3.8.** Esquema de prospección, en 2D dos tramos, de la avenida Javier Pérez de Cuellar.

Donde la línea de color celeste representa el recorrido de la Prospección.



**Figura 3.9.** Esquema de prospección, en 3D dos tramos, de la avenida Javier Pérez de Cuellar

De esta manera siguiendo la manera de la figura 3.7. se hizo la medición de 20 metros y despejar la zona para la prospección como se ve en la figura 3.8 que es la parte donde se realizó la prospección.



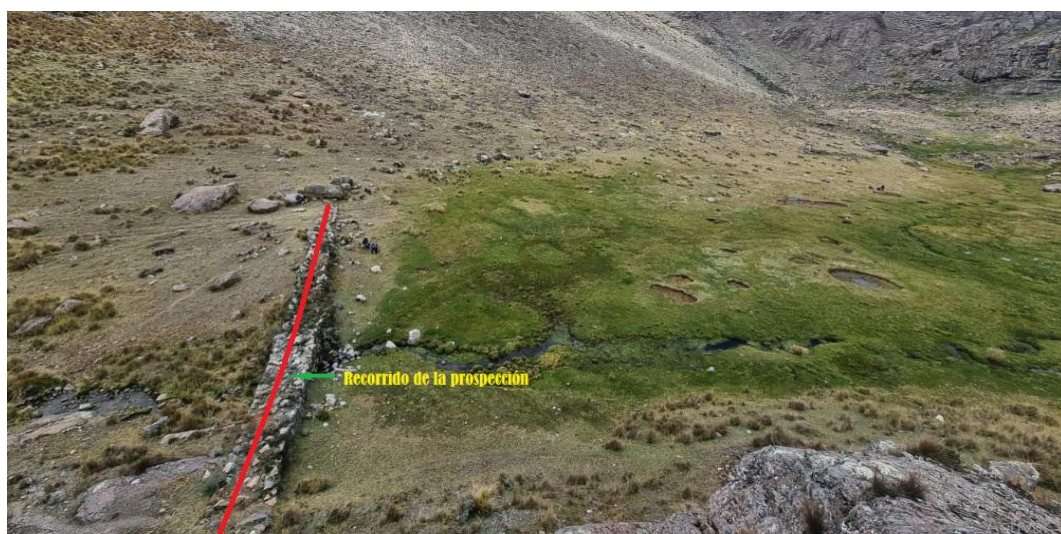
**Figura 3.10.** Zona prospectada en la avenida: rojo con desague, azul suelo compacto

**Técnica de prospección en la zona de pastizales en la localidad de Toccto.** Una vez visto la zona se seleccionó la parte más accesible para la prospección. Se midió y marco las partes que se prospecto de la forma que se ve la figura 3.5, se presenta la figura 3.9 que representa el área prospectada.



**Figura 3.11.** Área prospectada en Toccto

**Técnica de prospección en la zona de embalse de la presa Ricococha en el distrito de pamaparomás.** Para la prospección del muro de la represa solo es una línea sobre el muro como se ve en la figura 3.10 vemos la línea de color rojo que tiene una distancia de 35 metros.



**Figura 3.12.** Línea prospectada, zona de embalse de la presa prehispánica Ricococha

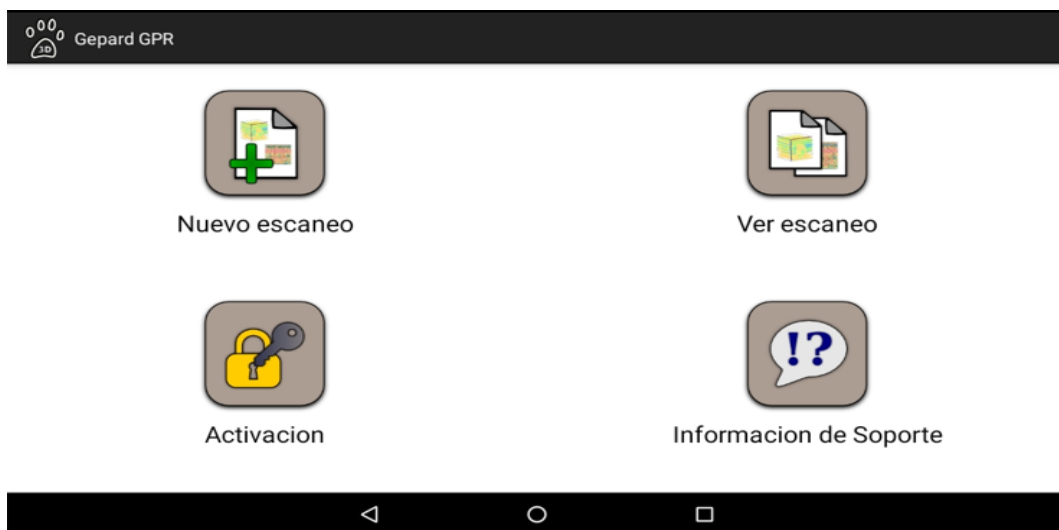
**Paso 3. Uso de la Tablet y Conexión con la unidad de control.** En esta parte se hará el uso de la Tablet, veamos el procedimiento que se debe realizar para la prospección del suelo.

En primer lugar, en la Tablet ingresamos en el icono Gepard GPR, la figura 3.11 nos muestra la pantalla con los iconos.



**Figura 3.13.** Ventana principal de la tablet - icono del software Gepard.

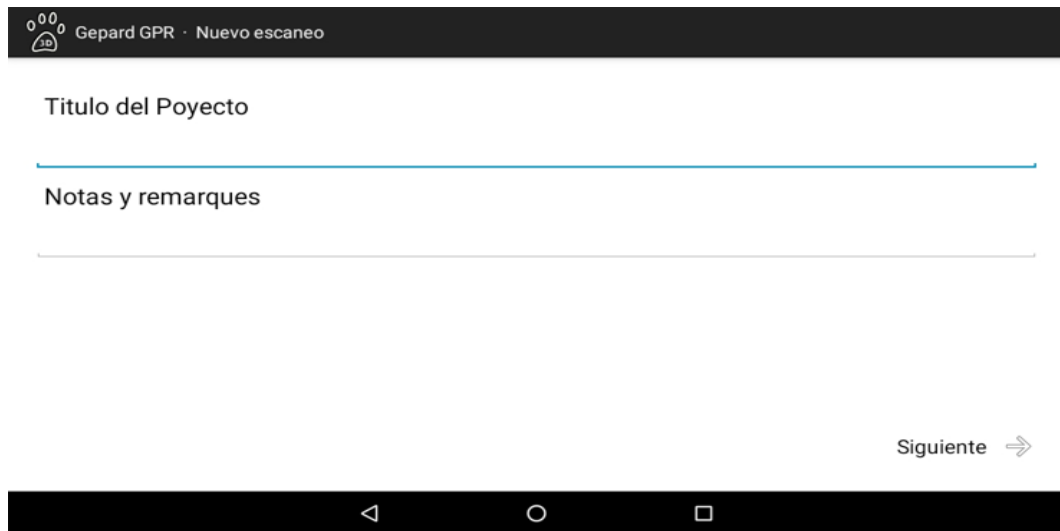
Una vez que se ingrese se mostrara la ventana con cuatro iconos a seleccionar de la cuatro se escoge el icono de nombre NUEVO ESCANEEO, sirve para realizar un nuevo escaneo o prospección del suelo, la figura 3.12 nos muestra la ventana.



**Figura 3.14.** Ventana de configuración de la aplicación Gepard GPR-nuevo escaneo

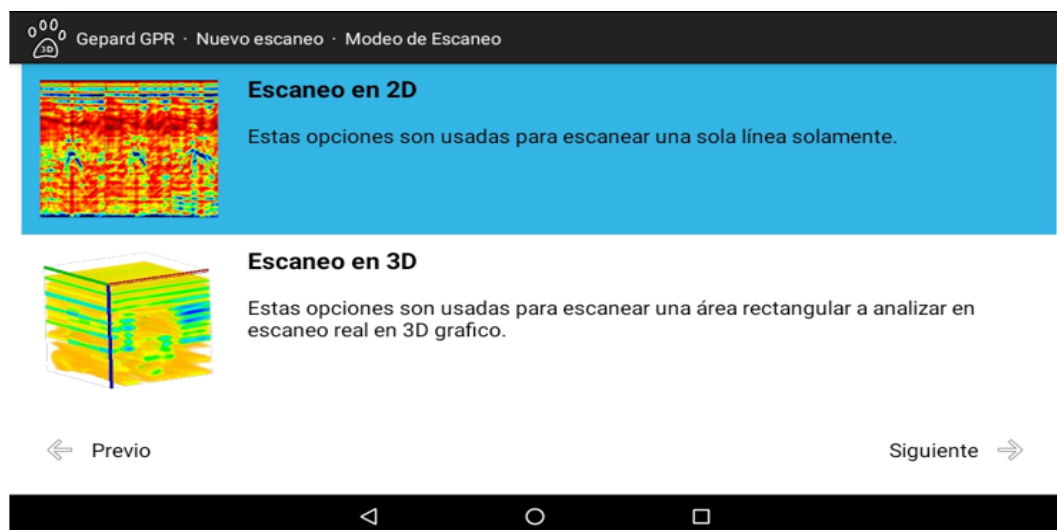


Se selecciona el icono nuevo escaneo se mostrará la siguiente ventana, donde nos pide rellenar el nombre que se dará a la prospección, la figura 3.13 muestra la ventana.



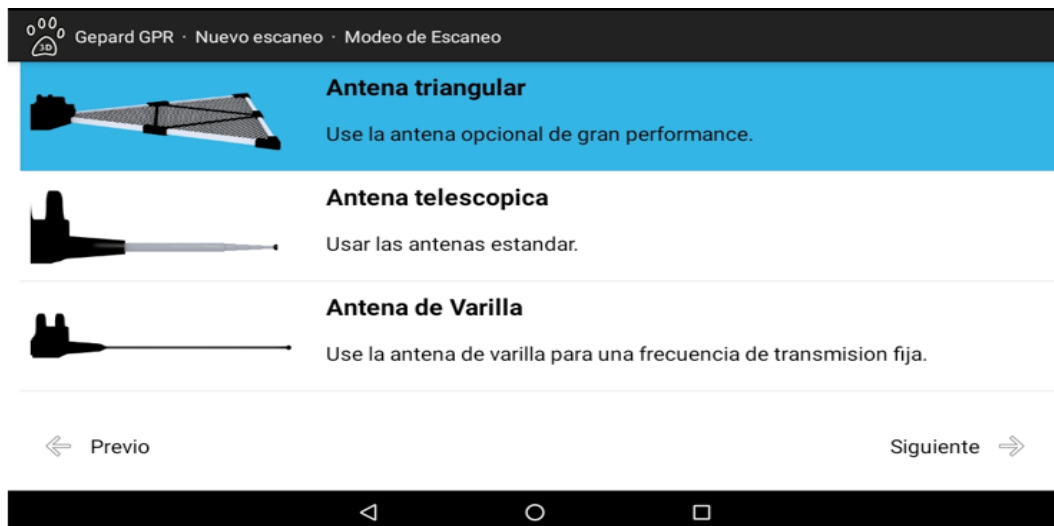
**Figura 3.15.** Ventana de configuración título del proyecto y notas y remarques

Luego de dar el nombre a la siguiente prospección a realizar, le damos siguiente; nos mostrará la siguiente ventana, donde, se seleccionará el modo de escaneo de la prospección. Esta se ve en la figura 3.14, donde tenemos dos opciones ESCANEEO 2D Y ESCANEEO 3D.



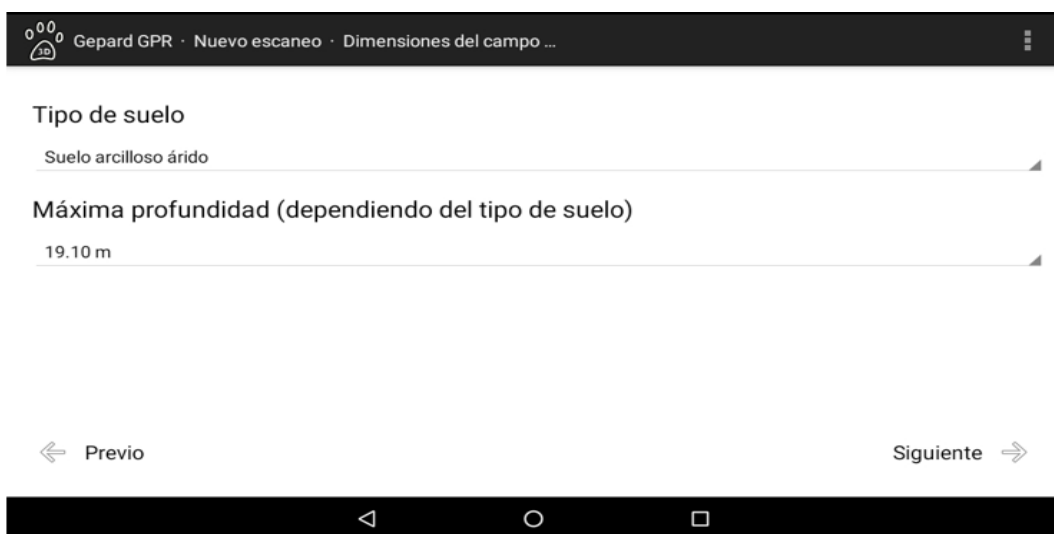
**Figura 3.16.** Ventana de configuración tipo de escaneo de 2D/3D

Si seleccionamos Escaneo 2D nos mostrara una ventana nueva donde seleccionaremos el tipo de antena a utilizarse, como muestra la figura 3.15



**Figura 3.17.** Ventana de configuración tipo de selección de antena

Una vez seleccionado el tipo de antena le damos en siguiente. Donde nos mostrara la ventana tipo de suelo y profundidad, ver figura 3.16



**Figura 3.18.** Ventana de configuración, tipo de suelo y profundidad

La tabla 3.1, muestra los tipos de suelo con sus respectivas profundidades esto ya viene por defecto en el equipo Gepard GPR.

**Tabla 3.1.** Tipos de suelo y profundidad mínimo y máximo

<b>N°</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>profundidad (metro (m))</b>
<b>1</b>	Aire	5.40 – 88.40
<b>2</b>	Asfalto árido	3.20 – 52.00
<b>3</b>	Asfalto húmedo	1.90 – 30.50
<b>4</b>	Arcilla árida	2.80 – 46.50
<b>5</b>	Arcilla húmeda	1.30 – 20.80
<b>6</b>	Carbón árido	2.80 – 46.50
<b>7</b>	Carbón húmedo	1.90 – 31.60
<b>8</b>	Concreto árido	2.10 – 34.00
<b>9</b>	Concreto húmedo	1.40 – 22.90
<b>10</b>	Agua dulce	0.60 – 9.80
<b>11</b>	Hielo de agua dulce	2.70 – 44.20
<b>12</b>	Granito árido	2.50 – 40.20
<b>13</b>	Granito húmedo	2.10 – 34.00
<b>14</b>	Calicta árida	2.10 – 34.00
<b>15</b>	Calicta húmeda	1.90 – 31.60
<b>16</b>	Gelisuelo	2.20 – 36.80
<b>17</b>	Halita árida	2.30 – 38.40
<b>18</b>	Arena árida	2.80 – 46.50
<b>19</b>	Arena húmeda	1.20 – 20.30
<b>20</b>	Arenisca árida	3.00 – 49.10
<b>21</b>	Arenisca húmeda	2.00 – 32.70
<b>22</b>	Agua marina	0.60 – 9.80
<b>23</b>	Hielo de agua marina	2.20 – 36.80
<b>24</b>	Pizarra árida	2.20 – 35.30
<b>25</b>	Pizzara saturada	1.50 – 25.20
<b>26</b>	Nieve compacto	1.90 – 30.50
<b>27</b>	Suelo arcilloso árido	2.10 – 34.00
<b>28</b>	Suelo arcilloso húmedo	1.30 – 20.50
<b>29</b>	Suelo barroso árido	2.10 – 34.00
<b>30</b>	Suelo barroso húmedo	1.30 – 20.50
<b>31</b>	Suelo arenoso árido	2.10 – 34.00
<b>32</b>	Suelo arenoso húmedo	1.30 – 20.50

Fuente: Base de datos del software de funcionamiento del Gepard.

Una vez seleccionado el tipo de suelo y sus respectiva profundidad deseado le damos siguiente, el cual nos muestra la siguiente ventana ver figura 3.17.



**Figura 3.19.** Ventana de configuración, regulador de profundidad

Como nos indica en la figura tenemos que encender la unidad de control y ajustar el Gepard como nos indique en la figura el graduador va de 1 al 16 este es de acuerdo a la profundidad. Luego dar empezar entonces la Tablet se conectará vía bluetooth, con la unidad de control. Una vez conectado se encenderá los leds, en la figura 3.18 se muestra.



**Figura 3.20.** Botón multifunción

Como podemos tenemos tres leds. El amarillo indica que está conectado vía bluetooth, con la Tablet; el verde indica que la unidad de control este encendido. Mientras que el rojo es el indicador de inicio y parada de la prospección. Una vez hecho todos los pasos anteriores el equipo Gepard GPR está lista para la prospección.

**Paso 4.** Se realizará la prospección de las muestras de subsuelo con el Gepard. Una vez despejado el área y realizado los pasos anteriores en la Tablet se procede con la prospección, ver figura 3.19, donde se observa la prospección.



**Figura 3.21.** Prospección del subsuelo con georadar Gepard

**Paso 5. Se recolecta las radargramas y datos.** Una vez finalizado las prospecciones los radargramas y datos de los mismos están guardados en la memoria de tablet. Para poder analizar los radargramas se procede a extraer y guardarlo en una memoria USB o una computadora (PC), de igual manera los datos numéricos obtenidos que se encuentra en un archivo GPR, este se exporta a un archivo CSV.

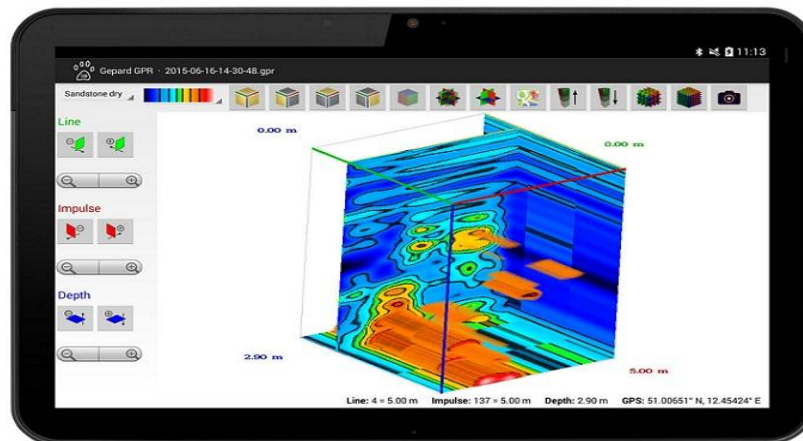
### **3.8.2. Instrumento**

El instrumento usado es un equipo de georadar de penetración terrestre con nombre GEPARD (OKM), que pertenece al laboratorio LABTELER de la especialidad de Física de nuestra Universidad San Cristóbal de Huamanga. Los componentes del equipo GPR Gepard de igual manera que cualquier georadar de penetración terrestre el georadar de penetración terrestre Gepard tiene pantalla de registro (Tablet), unidad de control y antenas, como se mostrara a continuación.



**Figura 3.22.** Georadar Gepard armado con antena triangular

**3.8.2.1. Tablet Android.** La Tablet es un hardware donde se encuentra el software Gepard GPR, la Tablet y la unidad de control están vinculados por bluetooth, mediante el cual recibe y procesa los datos tomados por la unidad de control GPR, el cual es procesado por el software Gepard GPR. El software Gepard GPR está conformado por todas las instrucciones que debemos seguir en la Tablet para obtener los datos requeridos.



**Figura 3.23.** Tablet Android

Los componentes del georadar de penetración terrestre “GEPARD” se nombra a continuación.

**3.8.2.2. Unidad de Control.** En la unidad de control GPR, se genera las ondas electromagnéticas y también es donde recibe los datos de las ondas electromagnéticas reflejas, para luego enviarlos a la Tablet Android para mostrar los resultados de la prospección. En la unidad de control se encuentran el botón de encendido, el selector de profundidades este de acuerdo a como se determinó en la Tablet, la salida y entrada de las ondas electromagnéticas, donde se acopla los ejes de transmisión y receptor.



**Figura 3.24.** Unidad de Control

**3.8.2.3. Eje Transmisor y Receptor de Ondas Electromagnéticas.** Está conformada por dos soportes, acoplados con cables por el cual se desplaza los pulsos de ondas electromagnéticas de transmisión y receptor respectivamente el cual se acopla a la unidad de control y a las antenas.

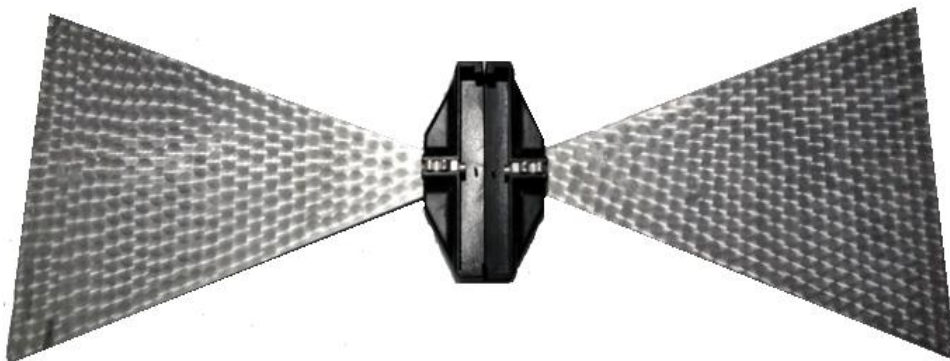


**Figura 3.25.** Eje transmisor y receptor

**3.8.2.4. Antenas.** El Gepard GPR, que utilizamos tiene dos tipos de antenas; antenas telescópicas extensibles y antenas triangulares. El cual se conecta a los ejes de transmisión y receptor de ondas electromagnéticas, respectivamente. Tiene la función de distribuir y recibir las ondas electromagnéticas, en la zona donde se realizará la prospección.



**Figura 3.26.** Antenas telescópicas



**Figura 3.27.** Antenas triangular

### **3.9. Validez y confiabilidad de instrumentos**

La validez del instrumento Georadar Gepard es que cuantifica de forma significativa y adecuada el rasgo del subsuelo y mide las características del subsuelo y sus anomalías. La confiabilidad del instrumento Georadar Gepard, se verá en el proceso de la prospección tomando el mismo lugar a prospectar probando distintos tipos de suelo que nos brinda el equipo.

### **3.10. Técnicas de procesamiento de datos**

Se analizará e interpretará los resultados obtenidos de la prospección mediante la observación minuciosa de los radargramas, bajo el asesoramiento y guía de especialistas del equipo de investigación multidisciplinario encargado de realizar el presente plan de tesis.

### **3.11. Aspectos éticos**

Se quiere lograr con este proyecto acumular datos verídicos que sean necesarios para poder ser utilizados como guía en futuros trabajos, que se realizaran con el radar de penetración terrestre, el cual es un equipo amigable con el medio ambiente, no invasivo ni destructiva.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

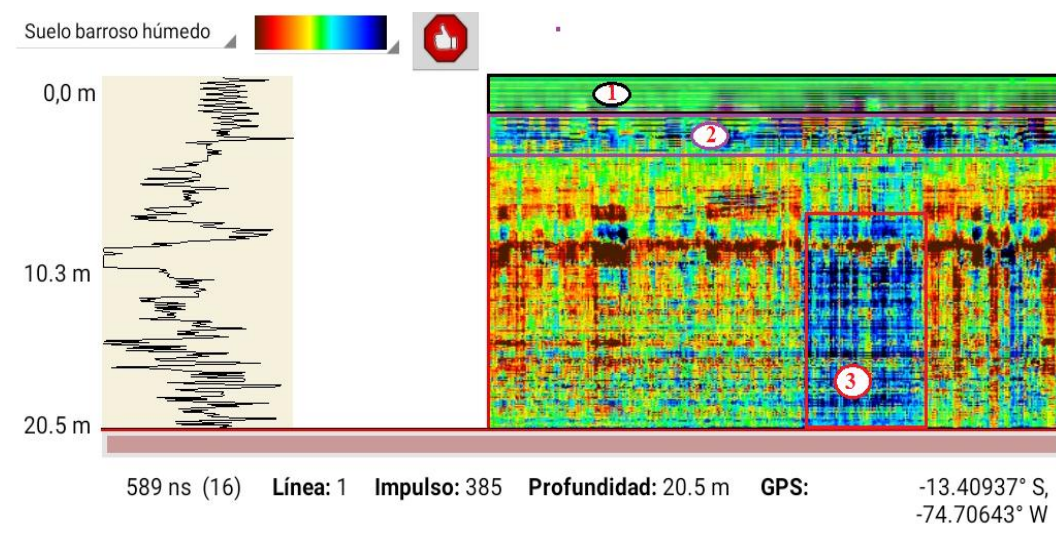
#### 4.1. Determinación de anomalías del subsuelo detectadas en diferentes texturas de suelos con el radargrama del georadar de penetración terrestre, Gepard

##### 4.1.1. Anomalías presentes en el subsuelo de bofedal en la microcuenca Apacheta

Los resultados mostrados en el radargrama presentan similitudes entre los tramos prospectados, del tramo 1 al tramo 10, esto se debe a que el terreno prospectado del bofedal estuvo óptimo para el uso del georadar debido a que se hizo en el tiempo de sequía, se pudo ingresar a dicha zona por lo cual no se observan tantos roces con las antenas. Se tomarán 3 tramos para el análisis del radargrama.

Los resultados de prospección del tramo 1 al 10 se observan en los radargramas, que se encuentran en el Anexo A.

**Tramo 1.** Podemos visualizar del radargrama del tramo1 en la figura 4.1 de donde podemos decir que:

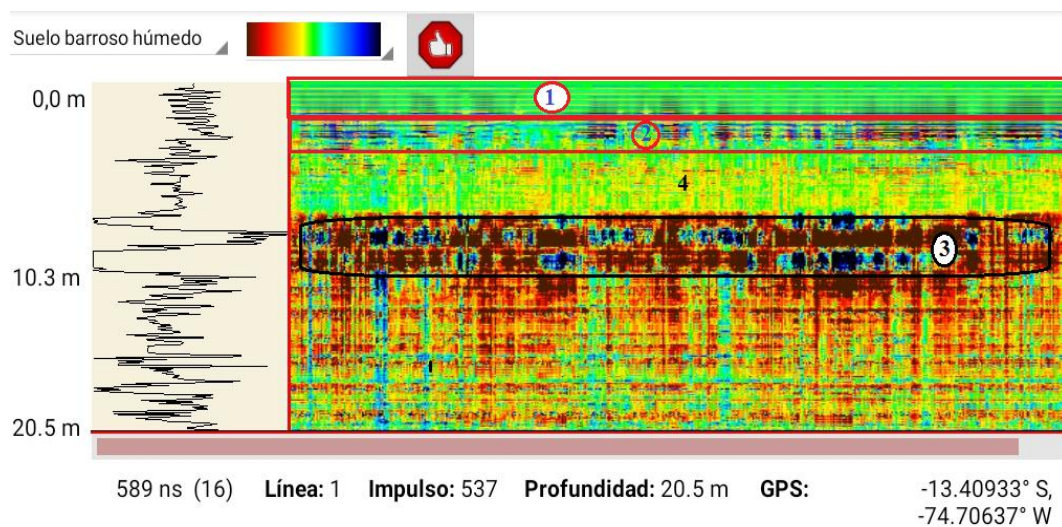


**Figura 4.1.** Radargrama del tramo1, bofedal donde se realizó la prospección

- ❖ 1 es la parte superficial o exterior del bofedal aproximadamente hasta 1.7m de profundidad es homogénea, y no muestra ninguna anomalía.
- ❖ 2 es la parte que se encuentra desde 1.7m hasta 4m de profundidad podemos visualizar, que esa parte no es homogénea podemos decir que es una zona que contiene agua o que el suelo en esa parte es demasiado húmedo, tampoco muestra grandes anomalías
- ❖ 3 es la parte que se encuentra a partir de los 7m hasta 20.5m de profundidad de esa parte podemos decir que contiene agua almacenada o el suelo tiene mayor humedad. Es la zona diferente a comparación de los demás.

Las demás partes del tramo son homogéneas podemos decir que son suelos que no contienen humedad.

**Tramo 5.** Podemos visualizar el radargrama del tramo5 en la figura 4.2 de donde podemos decir que:



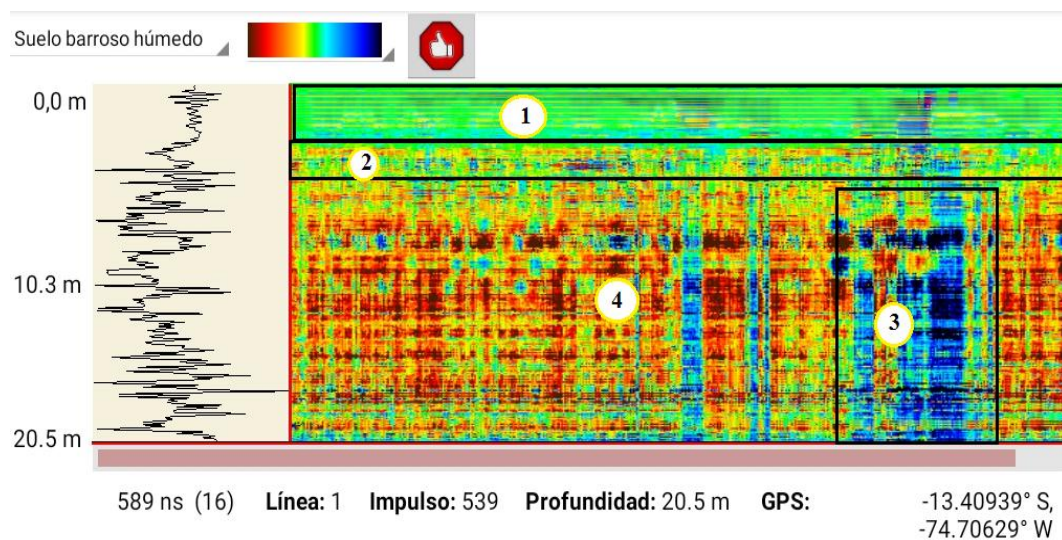
**Figura 4.2.** Radargrama del tramo 5, bofedal donde se realizó la prospección

- ❖ 1 de igual manera que en el tramo 1, es la parte superficial o exterior del bofedal aproximadamente hasta 1.6m de profundidad es homogénea.
- ❖ 2 es la parte que se encuentra desde 1.6m hasta 3.5m de profundidad podemos visualizar, que esa parte no es homogénea podemos decir que es una zona que contiene agua o que el suelo en esa parte es húmedo, a diferencia del tramo 1, esta parte del tramo 5, el suelo tiene menor humedad.

- ❖ 3 es la parte que se encuentra a partir de los 7.4m hasta 11.2m de profundidad de esa parte podemos ver zonas con áreas pequeñas de se distinguen de los demás, este podría ser partes humedad del suelo donde se filtraron agua.
- ❖ 4 es la parte que se encuentra a partir de los 3.5m hasta 7.4m de profundidad es una zona de suelo homogénea.

Las demás partes del tramo son homogéneas podemos decir que son suelos que no contienen humedad.

**Tramo 10.** Podemos visualizar el radargrama del tramo5 en la figura 4.3 de donde podemos decir que:



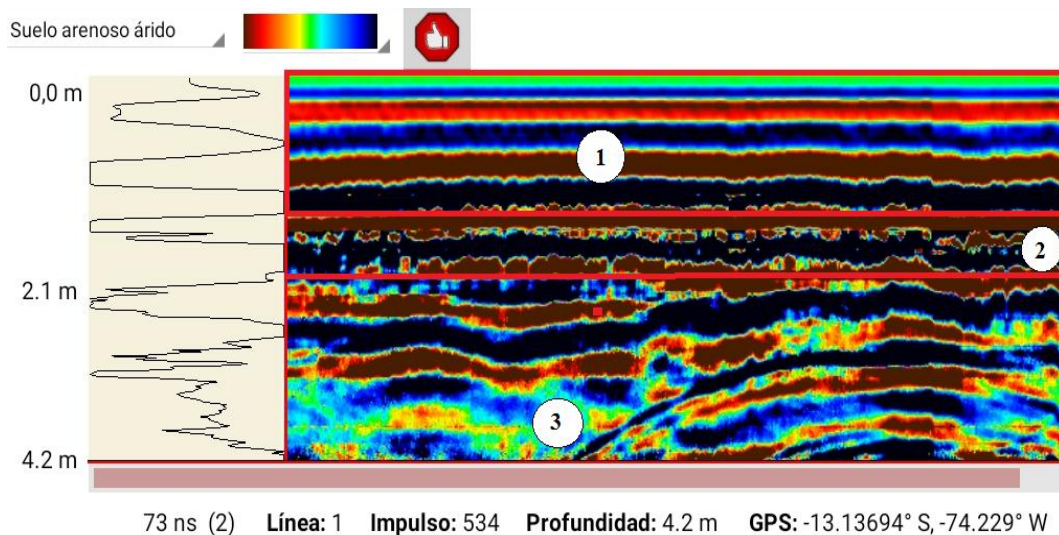
**Figura 4.3.** Radargrama del tramo 10, bofedal donde se realizó la prospección

- ❖ 1 es la parte superficial o exterior del bofedal aproximadamente hasta 2.2m de profundidad es homogénea, no presenta anomalías.
- ❖ 2 es la parte que se encuentra desde 2.2m hasta 4.5m de profundidad podemos visualizar, que esa parte es casi homogénea, podemos decir que es una zona que tiene poca humedad, a diferencia del tramo 1 y el tramo 5.
- ❖ 3 es la parte rectangular que se encuentra a partir de los 7.9m hasta 20.5m de profundidad de esa parte podemos ver que contiene agua o el suelo contiene mucha humedad.
- ❖ 4 es la parte que toma los demás a excepción del 3, se encuentra a partir de los 4.5m hasta 20.5m de profundidad es una zona de suelo homogénea, con algunas partes que contiene humedad.

#### 4.1.2. Anomalías presentes en el subsuelo de la Av. Javier Pérez de Cuellar

Los resultados mostrados en el radargrama no presentan similitudes entre los tramos 1 y 2 prospectadas.

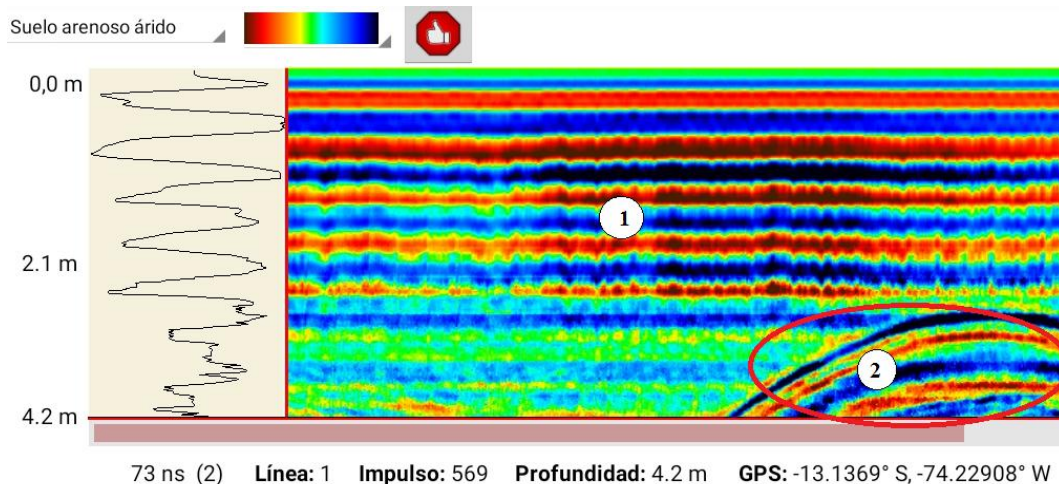
**Tramo 1.** Podemos visualizar el radargrama del tramo 1 en la figura 4.4 de donde podemos decir que:



**Figura 4.4.** Radargrama del tramo 1, de la Avenida que contiene la tubería

- ❖ La parte 1 del tramo 1 de la avenida, representa un relleno de suelo homogéneo hasta 1.7m de profundidad, como podemos ver que no existe anomalías en el tramo1 hasta esa profundidad
- ❖ La parte 2 es la parte que se encuentra desde 1.7m hasta 2m de profundidad podemos visualizar, que en esta parte 2 existe anomalías, el radargrama se ve distorsionado en esta parte en todo el tramo 1 como se ve.
- ❖ La parte 3 es la parte que se encuentra a partir de los 2m hasta 4.2m de profundidad de esa parte podemos ver que existe anomalías

**Tramo 2.** podemos visualizar el radargrama del tramo 1 en la figura de donde podemos decir que:



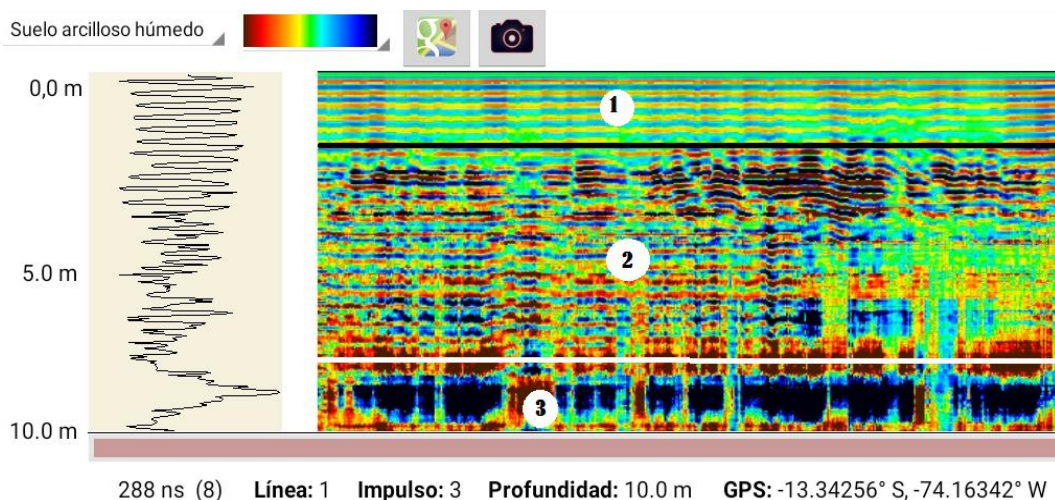
**Figura 4.5.** Radargrama del tramo 2, de la avenida sin la tubería

- ❖ La 1 de la avenida, como se ve en el radargrama no se ven anomalías podemos ver que es homogéneo.
- ❖ La 2 es la parte donde podemos ver una anomalía inicia a una profundidad de 2.8m, pero solo en esa sección.

#### 4.1.3. Anomalías presentes en el subsuelo de pastizales en la localidad de Toccto

Los resultados mostrados en el radargrama presentan similitudes entre los tramos prospectados, del tramo 1 al tramo 10 con excepción de uno. Se tomarán los tramos 3,7 y 10. Del cual observaremos si es que existen anomalías. Los radargramas del tramo 1 al 10 se pueden observar en el anexo B.

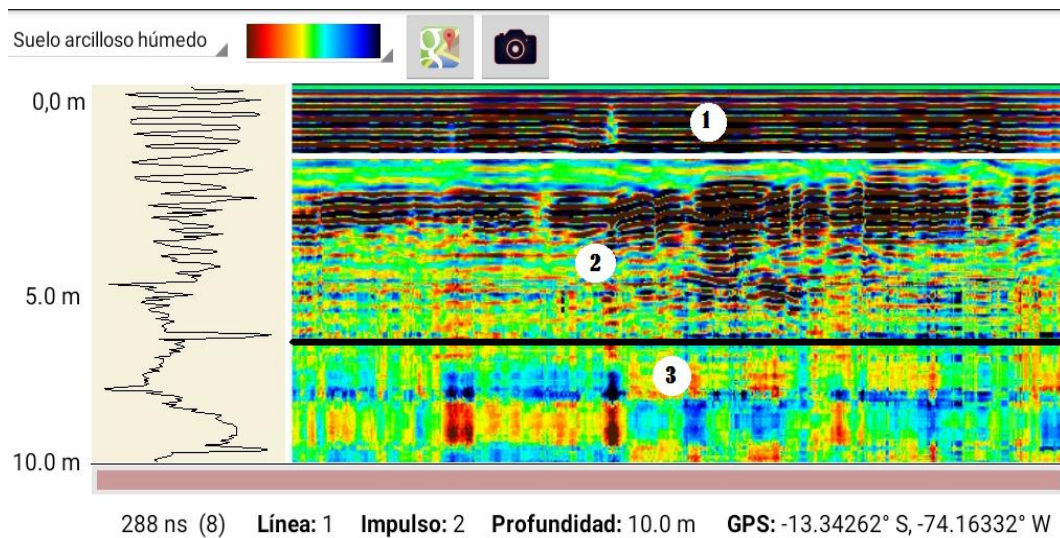
**Tramo 3.** Podemos visualizar el radargrama del tramo 3 en la figura 4.6 de donde podemos decir que:



**Figura 4.6.** Radargrama del tramo 3, zona de pastizales en la localidad de Toccto

- ❖ La 1 es la sección homogénea como podemos observar en el radargrama, no muestra anomalías.
- ❖ La 2 es la sección donde observamos algunas anomalías.
- ❖ La 3 es la sección donde se muestra una diferencia en el radargrama a diferencia de las demás secciones.

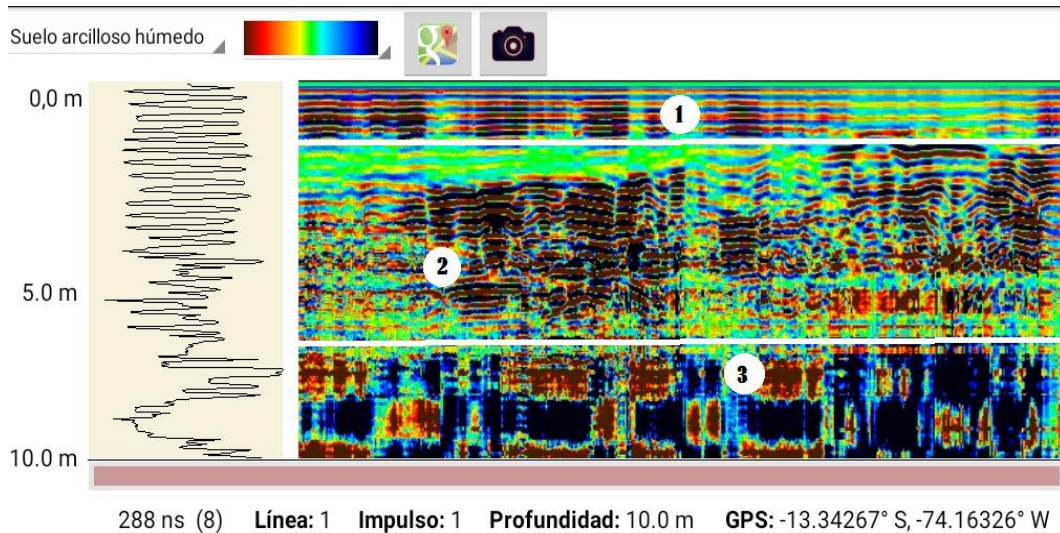
**Tramo 7.** Podemos visualizar el radargrama del tramo 7 en la figura 4.7 de donde podemos decir que:



**Figura 4.7.** Radargrama del tramo7, zona de pastizales en la localidad de Toccto

- ❖ La 1 es la sección homogénea como podemos observar en el radargrama, no muestra anomalías.
- ❖ La 2 es la sección donde se observa algunas anomalías que existen.
- ❖ La 3 es la sección inferior del radargrama donde la mayor parte es homogénea, pero muestra algunas zonas de color azul oscuro.

**Tramo 10.** Podemos visualizar el radargrama del tramo 10 en la figura 4.8 de donde podemos decir que:

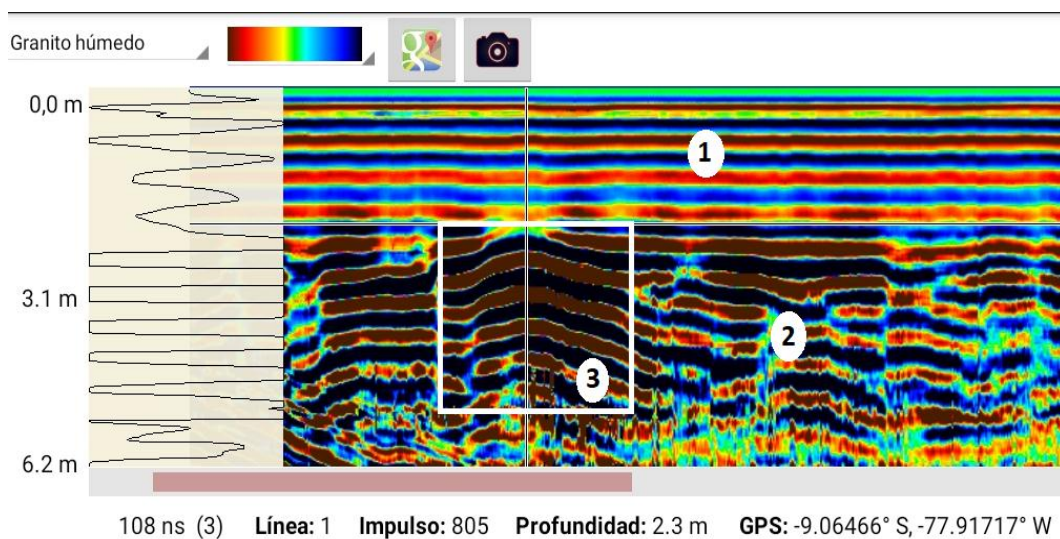


**Figura 4.8.** Radargrama del tramo 10, zona de pastizales en la localidad de Toccto

- ❖ La 1 es la sección homogénea como podemos observar en el radargrama, no muestra anomalías.
- ❖ La 2 es la sección media donde podemos observar anomalías por partes
- ❖ La 3 es la sección inferior del radargrama donde podemos observar que existe muchas zonas oscuras.

#### 4.1.4. Anomalías presentes en el subsuelo del embalse de la presa prehispánica Ricococha

Esta prospección solo se realizó de una sola línea sobre el muro de la presa prehispánica. El resultado mostrado en el radargrama en la figura 4.9 de donde podemos decir que:

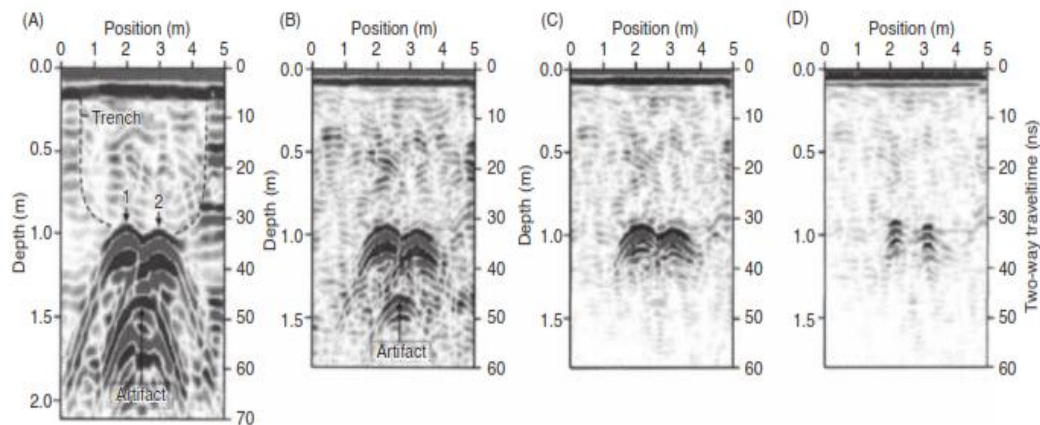


**Figura 4.9.** Radargrama del muro de presa, zona de embalse de la presa prehispánica Ricococha

- ❖ La sección 1 que va desde 0 a 2.3 m. cómo se observa es homogéneo y no se observa ninguna anomalía.
- ❖ La sección 2 muestra distorsión como podemos observar.
- ❖ La sección 3 que representa la zona rectangular como se observa muestra una anomalía a diferencia de las demás.

#### 4.2. Interpretación de anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo muestreado en diferentes zonas con el georadar de penetración terrestre, Gepard

En este apartado en primer lugar veamos la figura 4.10, donde se observa la anomalía presentada en el radargrama de un contenedor vacío. Esta tomaremos como referencia si existen cavidades vacías en los radargramas obtenidos.



**Figure 14.33** Radargrams acquired over a pair of buried steel tanks at (A) 200 MHz, and (B) 400 MHz with standard processing without deconvolution; (C) as for (B) but with deconvolution and high-pass filtering; and (D) after Kirchhoff migration from (C). From Porsani and Stauck (2007), by permission. [C]

**Figura 4.10.** Anomalías de radargrama

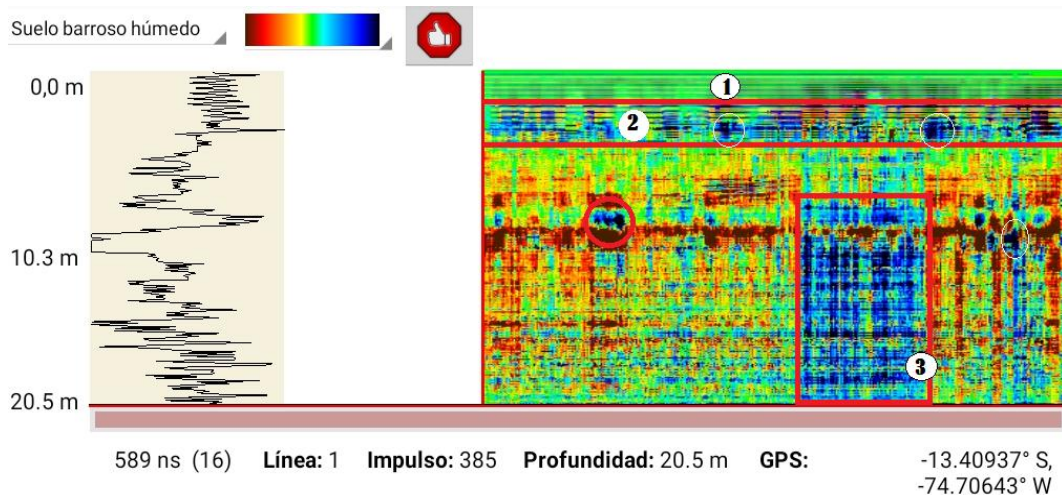
Nota: Se presenta el Radargramas adquiridos sobre un par de tanques de acero enterrados, producida de la figura 14.33 (Reynolds, 2011)

#### 4.2.1. Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo de bofedal en la microcuenca Apacheta

**Interpretación Tramos 1.** Se observa en la figura del radargrama que es homogénea libre de anomalías. Esta sección está conformada de suelo orgánico que son acumulación de sedimentos de suelos de las partes altas.

Veamos las anomalías presentes en el tramo 1, observar la figura 4.11 y diremos que:

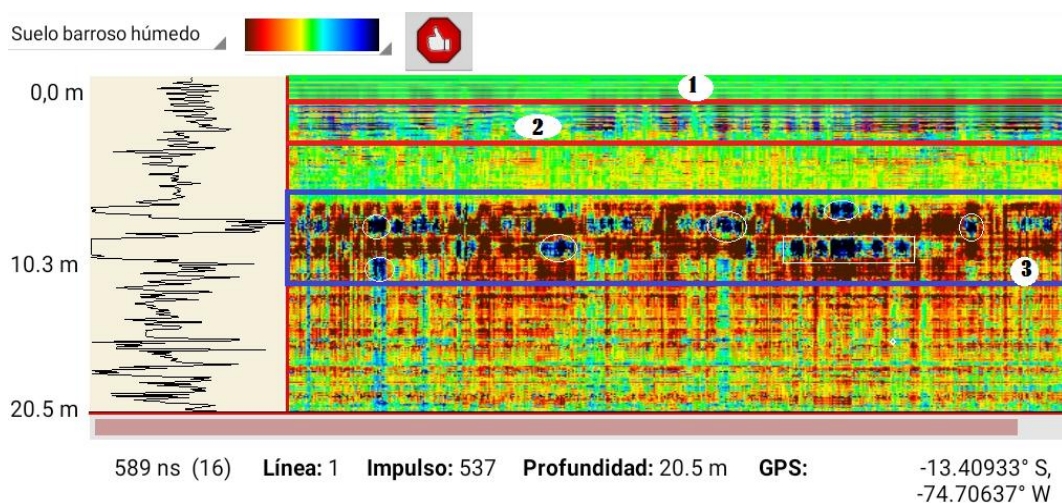




**Figura 4.11.** Radargrama del transecto 1 en el bofedal de la microcuenca Apacheta

- ❖ Tanto en la sección 2 y 3 se observa zonas de color azul y azul oscuro, el color azul oscuro podría representar acumulación de agua pues no se observa deformaciones en el radargrama. Pues los bofedales son zonas que siempre se mantienen con pastos de la zona pues acumulan agua, por tal razón habrá zonas donde se filtre el agua y esta es conservada en lo profundo.
- ❖ De la parte 2 podemos decir que, en esa parte intermedia entre la superficie exterior y el suelo compacto, por lo que existe mayor humedad que en la parte 1, diremos que es la parte del subsuelo que contiene mayor humedad en el bofedal.
- ❖ De la parte 3 en el tramo 1, diremos que es una zona donde se acumula agua pues en esa parte sale el color azul oscuro que representaría zonas donde se filtró el agua.

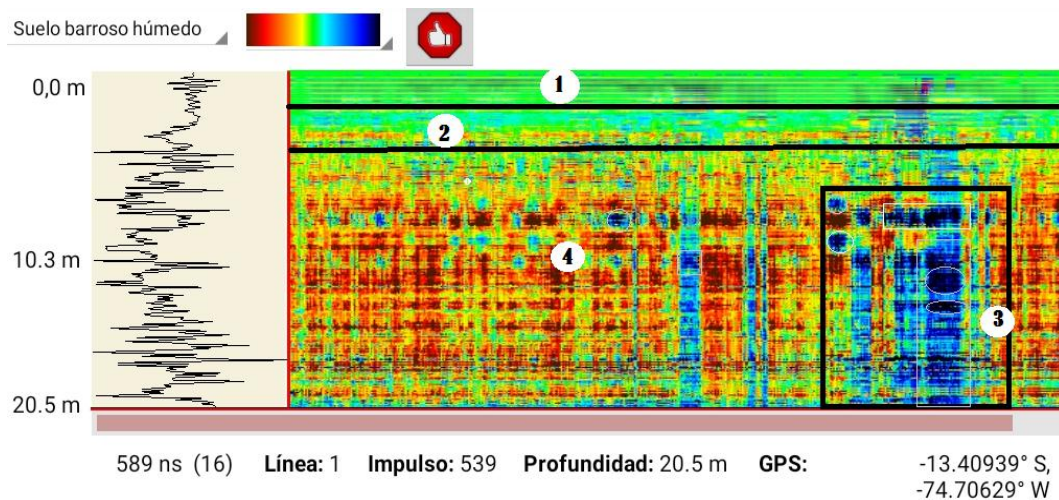
**Interpretación Tramo 5.** Veamos las anomalías presentes en el tramo 5, visualizar figura 4.10 y decimos que:



**Figura 4.12.** Radargrama del transecto 5 en el bofedal de la microcuenca Apacheta

- ❖ En la zona 1 no presenta ninguna anomalía, esta representa por la superficie y el suelo orgánico acumulado con el tiempo.
- ❖ La zona 2 presenta variación pues es la zona intermedia por tal razón se mantiene húmedo, por lo cual se siente movimiento cuando se transita por la superficie.
- ❖ En la zona 3 está representada por el marco rectangular, vemos zonas azul oscura en todo el recorrido de la prospección, como ya mencionamos estas estarían representando cavidades o pequeñas bolsas con contenido de agua.

**Interpretación Tramo 10.** Veamos las anomalías presentes en el tramo 10, ver la figura 4.11 del cual diremos que:



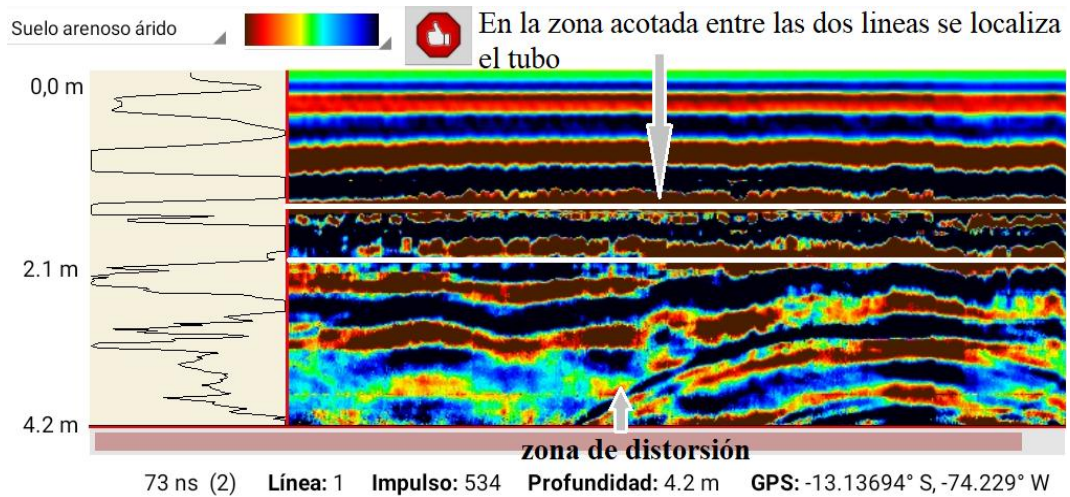
**Figura 4.13.** Radargrama del transecto 10 en el bofedal de la microcuenca Apacheta

- ❖ El área 1 y 2 no presenta anomalías, es zona homogénea formada de tierra orgánica.
- ❖ El área 3 presenta zonas oscuras, en el radargrama, estas representan cavidades con agua. Estas son las filtraciones de agua que se genera en épocas de lluvia, la cual mantiene húmeda el bofedal en tiempos de sequía.
- ❖ En 4 casi no muestra anomalías es una zona uniforme.

#### 4.2.2. Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo de la Av. Javier Pérez de Cuellar

Los dos radargramas mostradas no tienen similitudes similares, pues se prospectó, el tramo 1 que contenía tubería y el tramo 2 suelo donde no existe nada en su interior.

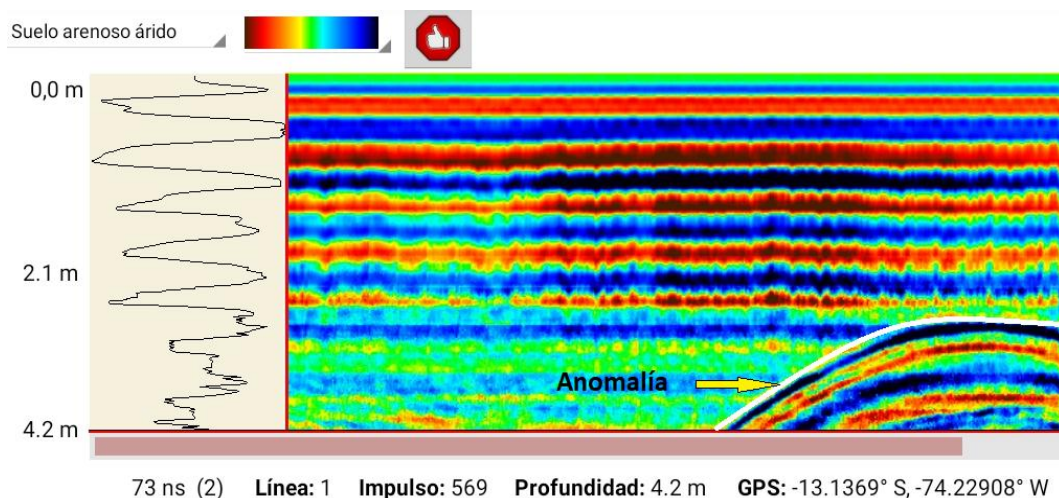
**Interpretación Tramo 1.** Veamos las anomalías presentes en el tramo 1, ver figura 4.12 del cual diremos que:



**Figura 4.14.** Radargrama del transecto 1 en la Av. Javier Pérez de Cuellar

- ❖ Como se puede observar en el radargrama en la sección que pertenece desde la superficie hasta la línea, se puede visualizar que el suelo es homogéneo pues esa parte es un relleno que se utilizó para tapar la tubería.
- ❖ La sección comprendida entre las dos líneas blancas es la zona donde se encuentra la tubería de desagüe. Como podemos observar existe distorsión en todo el recorrido de la prospección, esta es a causa del tubo.
- ❖ En la sección inferior a partir de la línea blanca, vemos una zona con distorsión esta parte está conformada por suelo compacto, esta anomalía es debido al tubo que contiene en su interior aire, ya que el tubo nunca estará con saturado de agua.

**Interpretación Tramo 2.** Veamos las anomalías presentes en el tramo 2, observar figura 4.15 y diremos que:



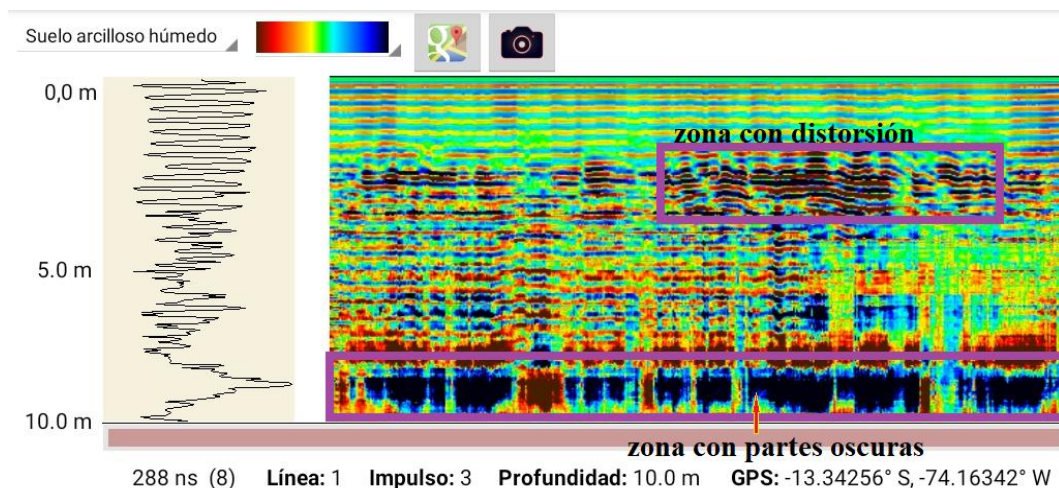
**Figura 4.15.** Radargrama del transecto 2 en la Av. Javier Pérez de Cuellar, zona sin tubo

- ❖ Como podemos observar el subsuelo donde no intervino la mano del hombre, es homogéneo, a menos que exista cavidad natural o una roca de tamaño considerable para poder ver distorsión en el radargrama.
- ❖ La parte seleccionada de color blanco, que se muestra en el radargrama podemos deducir que es generada por una roca de dimensiones considerado, aparte de eso que se genere ese tipo de anomalías sería que contiene un vacío.

#### 4.2.3. Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo zona de pastizales en la localidad de Toccto

Tramo En esta zona de Toccto donde se realizó la prospección, existe filtración de agua del subsuelo hacia el exterior.

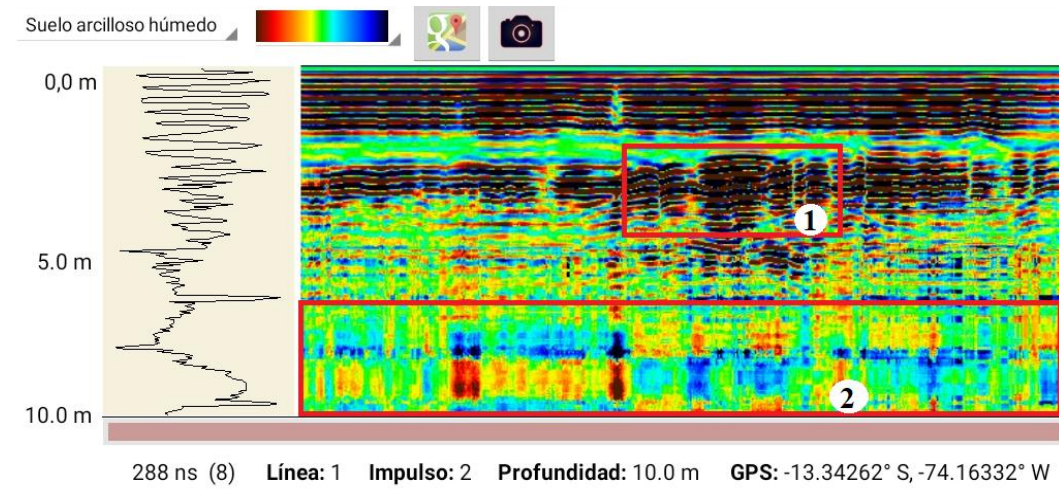
**Interpretación Tramo 3.** Veamos las anomalías presentes en el tramo 3, visualizar figura 4.16 y decimos que:



**Figura 4.16.** Radargrama del transecto 3 en las zonas de pastizales de Toccto

- ❖ La sección rectangular superior del radargrama donde menciona zona con distorsión se visualiza anomalías. Se puede decir que es ocasionado debido a que exista zonas vacías de dimensiones pequeñas o fisuras por donde se filtraría agua a la superficie en temporada lluvioso de lluvia.
- ❖ La sección rectangular inferior que se observa en el radargrama, donde tenemos zonas de color azul oscuro, que se presenta en la línea de prospección que representaría cavidades con contenido de agua.

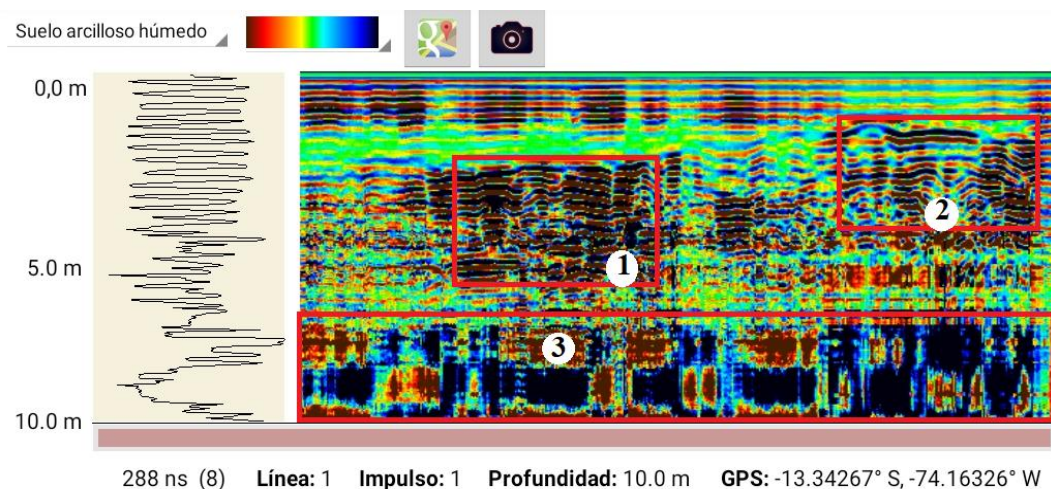
**Interpretación Tramo 7.** Veamos las anomalías presentes en el tramo 7, ver figura 4.17 y decimos que:



**Figura 4.17.** Radargrama del transecto 7 en las zonas de pastizales de Toccto

- ❖ En la sección 1 representado por el rectángulo que se visualiza en el radargrama, es donde existe una mayor distorsión. Esta debe representar pequeñas cavidades de vacío o fisuras, estas son las que representan pequeñas ondulaciones.
- ❖ La sección 2 como podemos observar es representado por el rectángulo de la parte inferior del radargrama. Se visualiza que existe algunas zonas de color azul oscuro, esta debe representar las cavidades de agua, se puede ver que existe como una capa de velo de color verde que esta sobre el color azul. Solo en este tramo 7 se ve de esta manera no se podría explicar a qué se debe o realmente hay una separación que contiene suelo casi compacto en la sección 2.

**Interpretación Tramo 10.** Veamos las anomalías presentes en el tramo 10, ver figura 4.18 del cual podemos decir que:



**Figura 4.18.** Radargrama del transecto 10 en las zonas de pastizales de Toccto

- ❖ En el área 1 y 2 que están representados por los cuadros que se visualiza en el radargrama, presentan distorsión y ondulaciones, de igual manera que en los casos anteriores estas podrían representas pequeñas cavidades o fisuras vacías.
- ❖ En el área 3 representado por el rectángulo localizado en la parte inferior del radargrama, se ve zonas de color azul oscuro. Estas representarían a las cavidades llenas de agua.

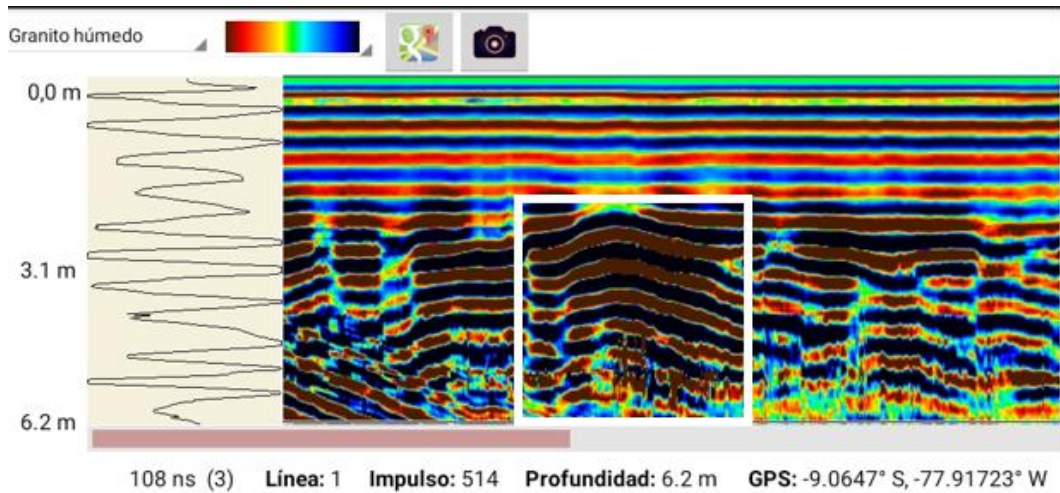
#### **4.2.4. Interpretación de las anomalías en el radargrama del subsuelo de la zona de embalse de la presa ricococha en el distrito de Pamparomás**

Para la comparación del resultado de la prospección que se muestra en el radargrama se tiene la figura 4.17 donde aparece la anomalía más resaltante.



**Figura 4.19.** Muro de la presa prehispánica en Pamparomás

**Interpretación del muro de la presa prehispánica.** Veamos la anomalía presente prospectada en el muro de la presa prehispánica, se visualiza en la figura 4.20 del cual podemos decir que:



**Figura 4.20.** Radargrama del transecto en muro por donde pasa la bocatoma de la presa

- ❖ Como se observa del radargrama del muro prehispánica prospectada, el área dentro del cuadro blanco es donde aparece la anomalía. Esta representa la zona por donde recorre el agua, es una forma de túnel que contiene un vacío tal como se ve en la figura 4.17.
- ❖ La parte que no pertenece al rectángulo a partir de 2.5 m de profundidad muestran anomalías estas representarían pequeñas cavidades por el cual filtraría el agua a parte de su salida principal.

## CONCLUSIONES

### **Bofedal de la microcuenca Apacheta**

- En esta tesis se analizó el radargrama para la detección de anomalías del subsuelo con el georadar de Penetración Terrestre Gepard (OKM), para corroborar las afirmaciones que se dan de los bofedales.
- Se logró determinar las anomalías del subsuelo detectadas en diferente textura de suelos muestreados en el bofedal de la microcuenca Apacheta. Se prospecto con el tipo de suelo barroso húmedo, esta se acerca al tipo de suelo orgánico húmedo del bofedal, en la cual muestran anomalías en la parte profunda del bofedal.
- Se interpretó las anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo con el Georadar de Penetración Terrestre, y se verifica que los bofedales almacenan agua en las partes profundas, por tal razón estas se mantienen húmedas durante el tiempo de sequía.
- Por lo tanto, se comprueba que los bofedales son zonas donde se almacenan agua en tiempo de las lluvias; para luego, durante el año mantiene húmeda esa zona.

### **Avenida Javier Pérez de Cuellar**

- En este trabajo se analizó el radargrama para la detección de anomalías del subsuelo con el georadar de Penetración Terrestre Gepard (OKM), para verificar el tipo de anomalía que muestra el tubo enterrado.
- Se logró determinar las anomalías del subsuelo detectadas en diferente textura de suelos muestreados en la av. Javier Pérez de Cuellar. Se prospecto con el tipo de Suelo arenoso árido, pues la zona tiene ese tipo de suelo en la superficie y se observan anomalías generadas por el tubo.
- Se interpretó las anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo con el Georadar de Penetración Terrestre Gepard (OKM), y se verifica que los resultados mostrados coinciden con las anomalías ocasionadas por zona vacías.



- Por lo tanto, podemos decir que las anomalías presentes en el tramo 1 del radargrama muestran como es un subsuelo con intervención del hombre y el tramo 2 que es un suelo sin intervención.

### **Pastizales en la localidad de Toccto**

- En este trabajo de campo se analizó el radargrama para la detección de anomalías del subsuelo con el georadar de Penetración Terrestre Gepard (OKM), para argumentar como se observa el subsuelo de un lugar de donde filtra agua a la superficie.
- Se determinó las anomalías del subsuelo detectadas en diferente textura de suelos muestreados en la zona de Pastizales en la Localidad de Toccto. Se prospectó con el tipo de Suelo arcilloso húmedo, es lo que presenta la parte exterior del terreno se encontró anomalías de tipo vacías y zonas oscuras.
- Se interpretó las anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo con el Georadar de Penetración Terrestre Gepard, y se verifica que las zonas profundas donde se observa los colores azul oscuros representarían cavidades con contenido de agua, por tal razón la filtración hacia la superficie.
- Por tanto, se puede decir que la zona prospectada contiene agua en el subsuelo o podría ser que existe un canal natural subterráneo.

### **Zona de embalse de la presa Ricococha en el distrito de Pamparomás**

- Se analizó el radargrama para la detección de anomalías del subsuelo con el georadar de Penetración Terrestre Gepard (OKM), para ratificar como se observa la anomalía en la zona por donde recorre el agua en el muro de la presa prehispánica.
- Se logró determinar las anomalías del subsuelo detectadas en diferente textura de suelos muestreado en el muro de la presa prehispánica. Se usó el tipo de Suelo granito húmedo, el muro de la presa está conformada de piedra, se identificó la anomalía presentada en la zona del paso del agua.
- Se hizo la interpretación de las anomalías mostradas en el radargrama para diferentes perfiles verticales de subsuelo con el Georadar de Penetración Terrestre Gepard, y se probó que en la zona por donde recorre el agua tiene una anomalía del tipo vacío, esta concuerda con el túnel de la presa por donde circula el agua.

- Por tanto, podemos concluir que cuando existe una zona de vacío con aire la anomalía presentada en el radargrama es de forma parabólicos.
- Este trabajo servirá como guía en el manejo y cuidado adecuado del equipo para aquellos profesionales interesados que deseen hacer su investigación con el georadar Gepard, ya que se detalla el manejo de la Tablet y la manipulación del equipo y la preparación adecuada del terreno para evitar dañar las antenas del Gepard.

## **RECOMENDACIONES**

- Tener las baterías de repuesto cargadas tanto para la unidad de control y la Tablet, con el fin de extender el tiempo de funcionamiento del equipo.
- Al armar el georadar de penetración terrestre Gepard, siempre verificar que los cables que unen la unidad de control y las antenas emisor y receptor estén conectados adecuadamente.
- Recorrer a un ritmo constante y evitar detenerse en el tramo que se prospectara para poder obtener una buena prospección que se muestra en el radargrama.
- Evitar llevar en las prendas materiales metálicos o aparatos electrónicos a excepción de la Tablet Android, para poder obtener una buena imagen en el radargrama.
- Para futuros trabajos llevar estacas de madera para colocar los puntos de inicio y final y amarrar una pita o cordel, como guía del tramo para la prospección.
- Actualizar las aplicaciones de la Tablet, antes de salir a realizar la prospección al campo.
- Realizar investigaciones interdisciplinarias para involucrar a profesionales de otras especialidades de nuestra universidad.

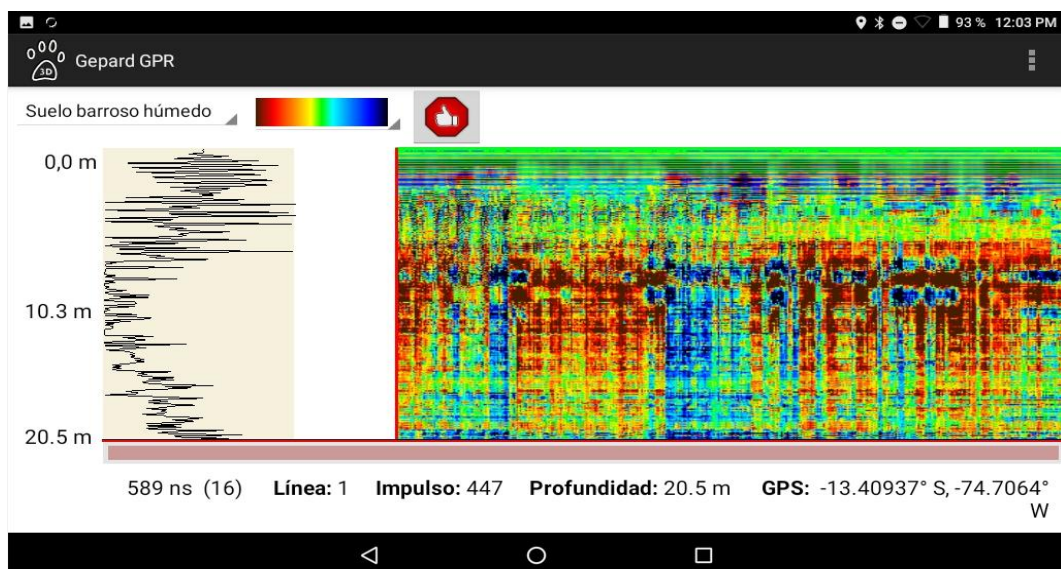
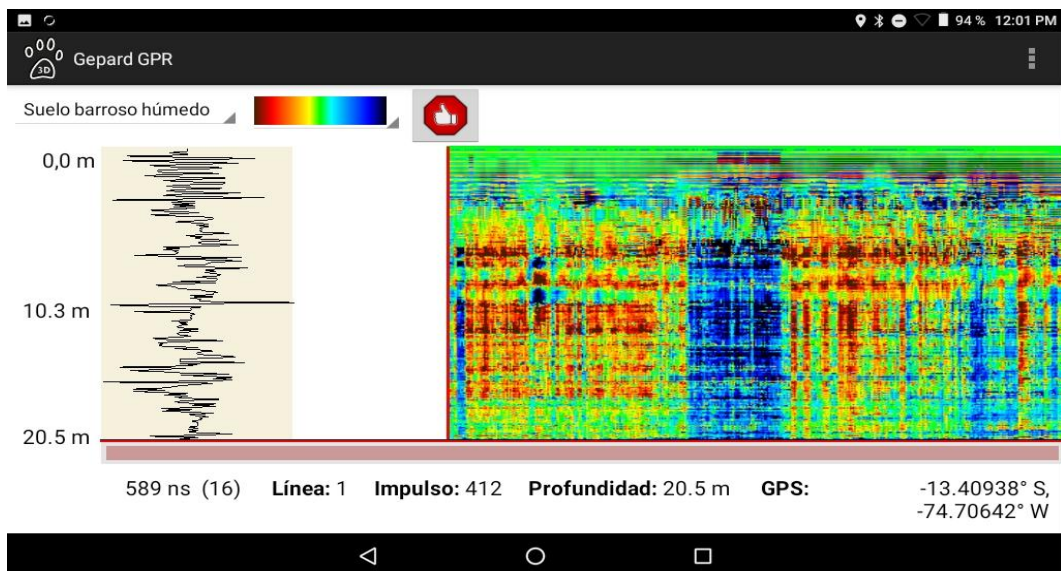
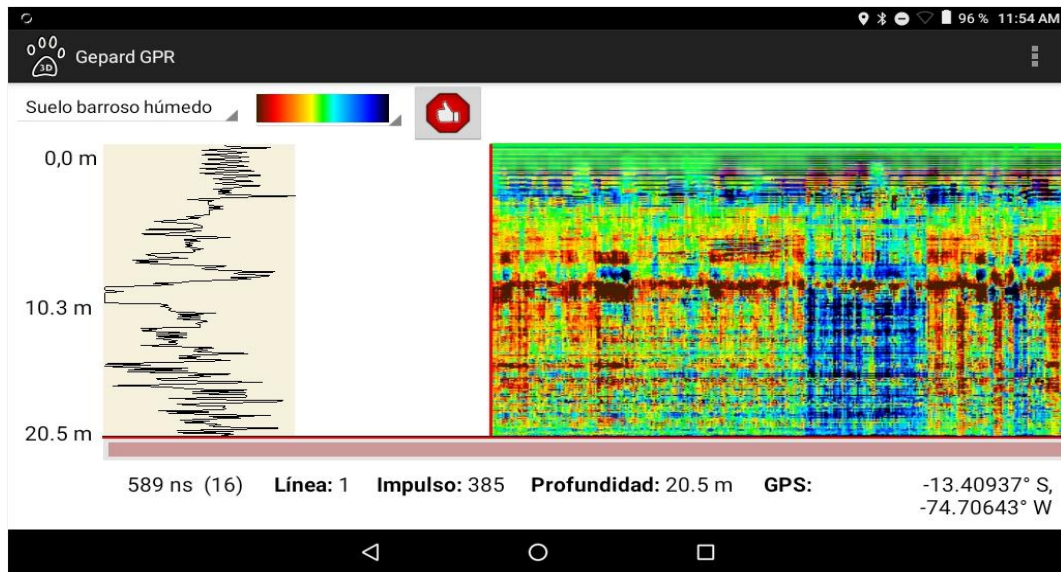
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

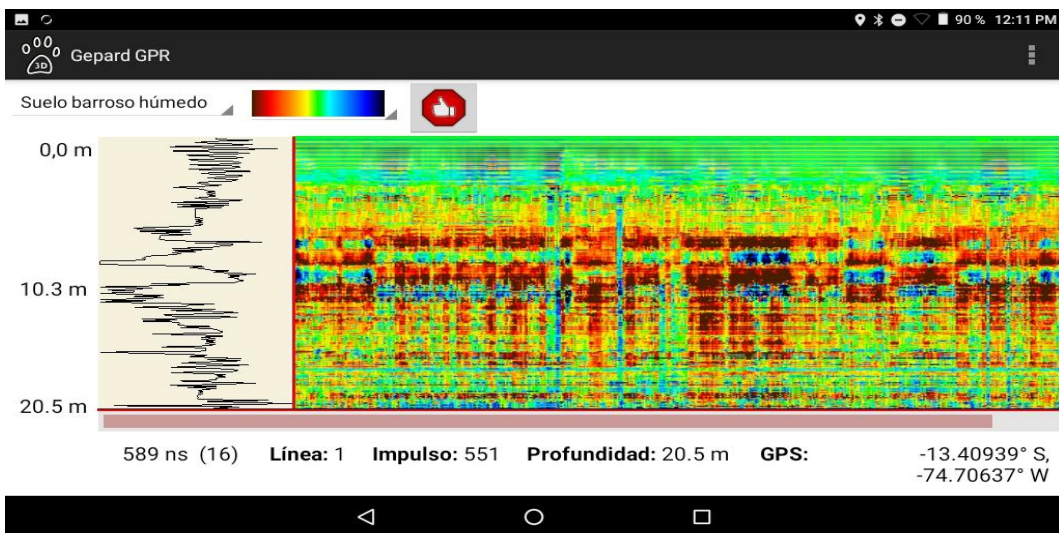
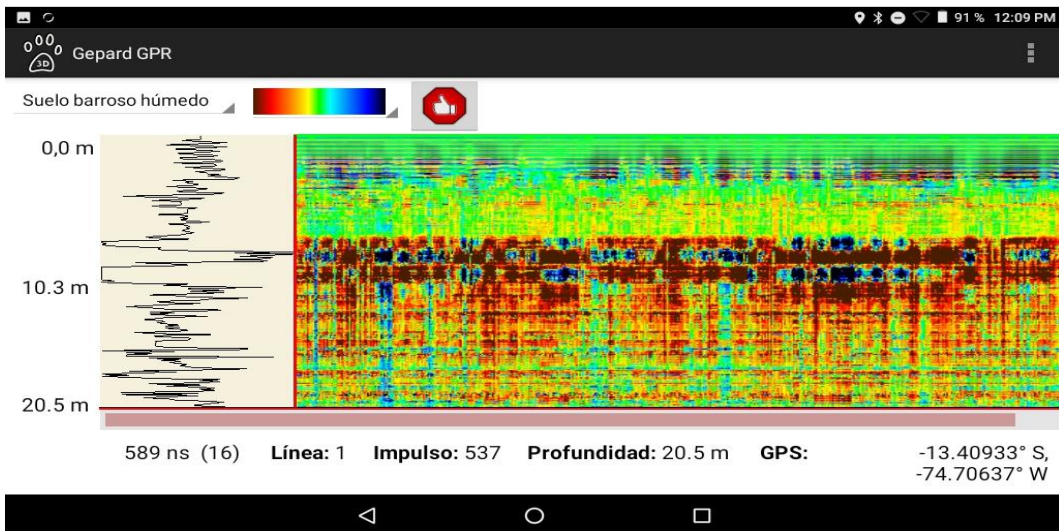
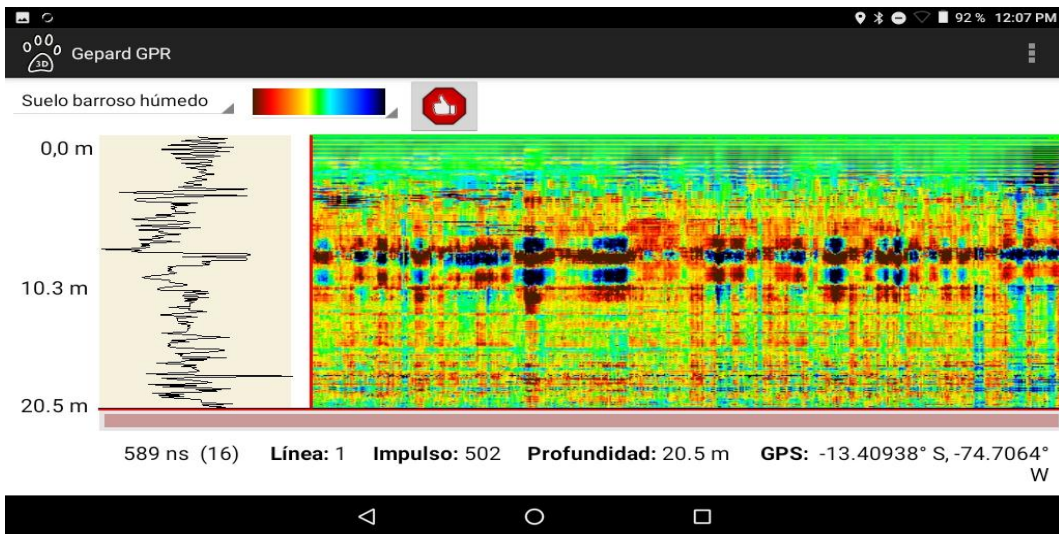
- Ayala, C. D. (2012). *Caracterización de tuberías enterradas para redes de abastecimiento en servicio mediante el análisis de imágenes obtenidas con radar de subsuelo (Ground Penetrating Radar—GPR)*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/14432>
- Benabdeloued, B. Y. N. (2008). *Principios Y Aplicación Del Georadar (GPR) En Ecología, Geotécnica Y Arqueología* [Universidad de Alicante]. [https://issuu.com/bynb/docs/tesis\\_phd\\_nassim\\_benabdeloued](https://issuu.com/bynb/docs/tesis_phd_nassim_benabdeloued)
- Borchert, D. O. (2010, abril 30). *History of Ground Penetrating Radar (GPR)*. obonic engineering. <https://www.obonic.de/blog/ground-peentrating-radar-history/>
- Campello, Y. B., Abad, I. R., & Sala, R. M. M. (2018). *Estudio del Efecto de las Propiedades Dieléctricas del Hormigón en los Parámetros de las Ondas Electromagnéticas del Georadar. Modelización Numérica del Comportamiento del Hormigón con GPRMax*. 149.
- Davis, Billy R, Lundien, Jerry R, & Williamson, Albert N. (1966). *Feasibility study for the use of radar to detect surface and groundwater*. <https://usace.contentdm.oclc.org/digital/collection/p266001coll1/id/2860/>
- Gil, J. M. I. (2004). *Actas de los XIV Cursos Monográficos sobre el Patrimonio Histórico: Reinosa, julio-agosto 2003*. Ed. Universidad de Cantabria.
- Huisa Condori, C. (2017). *Aplicación de los métodos de resistividad multielectrodo – georadar y su modelización 2d para caracterizar el subsuelo en la ampliación del terminal portuario general San Martín Región Ica*. <https://1library.co/document/q2n9jm6q-aplicacion-resistividad-multielectrodo-modelizacion-caracterizar-ampliacion-portuario-region.html>
- López Julián, P. L., Pueyo Anchuela, Ó., Pérez, J. A., Pocoví, A., & Sánchez, J. C. (2018). Uso del georadar para la identificación y definición geométrica de estructuras de cimentación en edificaciones existentes. *An. edific.*, Article ART-2018-107332. *Anales de edificación*. <https://doi.org/10.20868/ade.2018.3774>
- Oviedo González, J. (2017). *Utilización del georadar GEPARD (OKM) para la determinación de restos arqueológicos en los sitios Nuevo Corinto y El Cardal, Costa Rica*. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/77027>
- Porcel Arotaipe, C. (2013). *Simulación de detección de objetos metálicos en tolva de mineral utilizando georadar*. <https://1library.co/document/q7w989oz-simulacion-deteccion-objetos-metalicos-tolva-mineral-utilizando-georadar.html>

- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*.
- Rodríguez Abad, I. (2010). Evaluación de la técnica no destructiva del georradar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera estructural. *Riunet*. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/7361>
- Sears, F. (2009). *Física Universitaria con Física Moderna. Volumen 2* (decimosegunda, Vol. 2). Pearson.
- Tavera, M. (2011). *Aplicación del georadar para la mejora del rendimiento de una red hídrica*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12248>

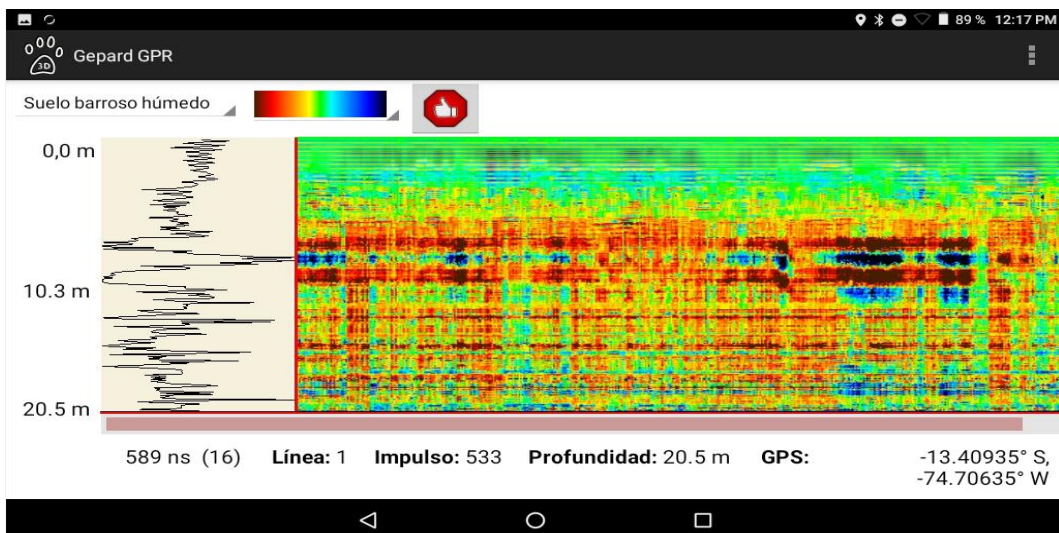
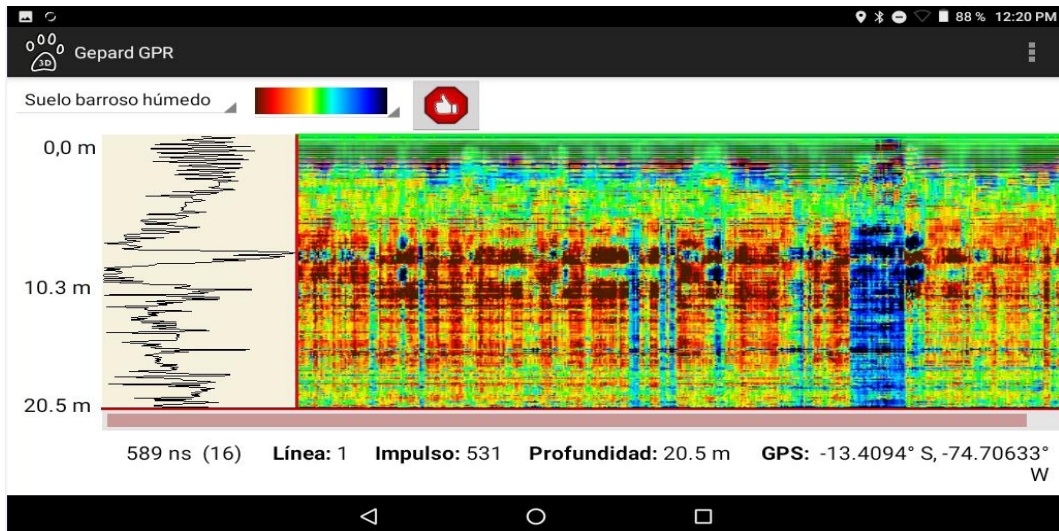
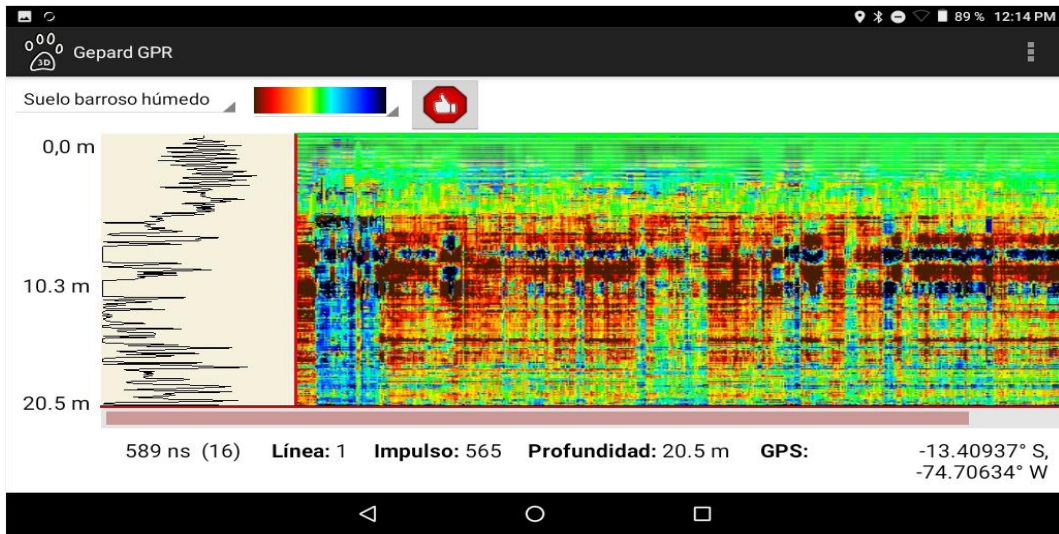
# ANEXOS

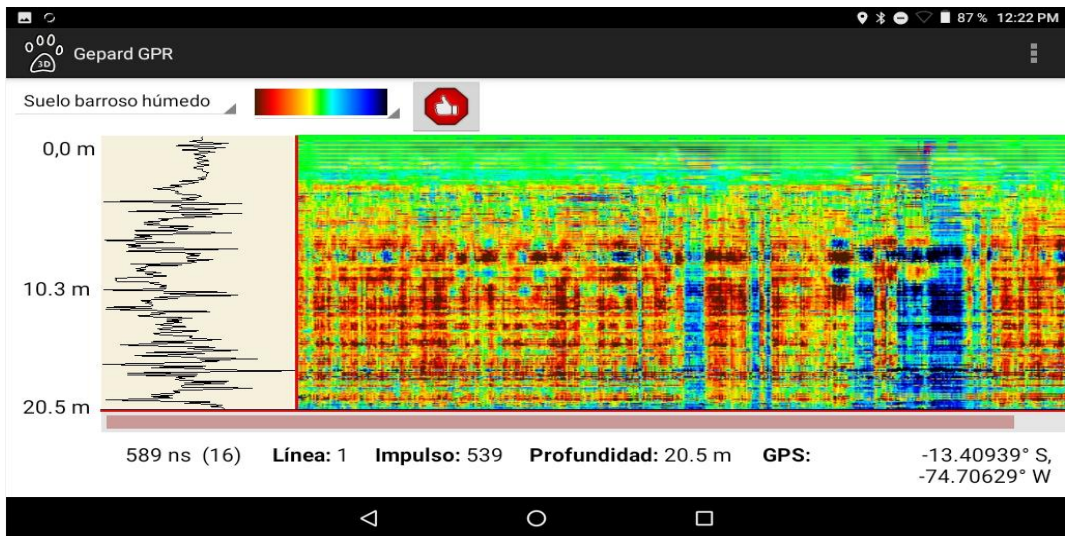
**Anexo 1. Radargramas de bofedal de la microcuenca Apacheta**  
Que se muestra desde el tramo 1 hasta el tramo 10 respectivamente.



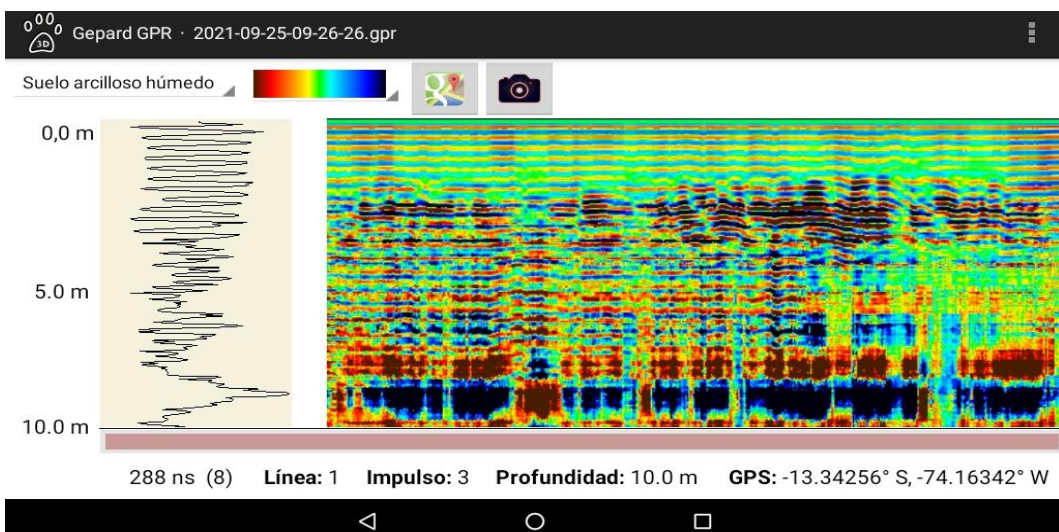
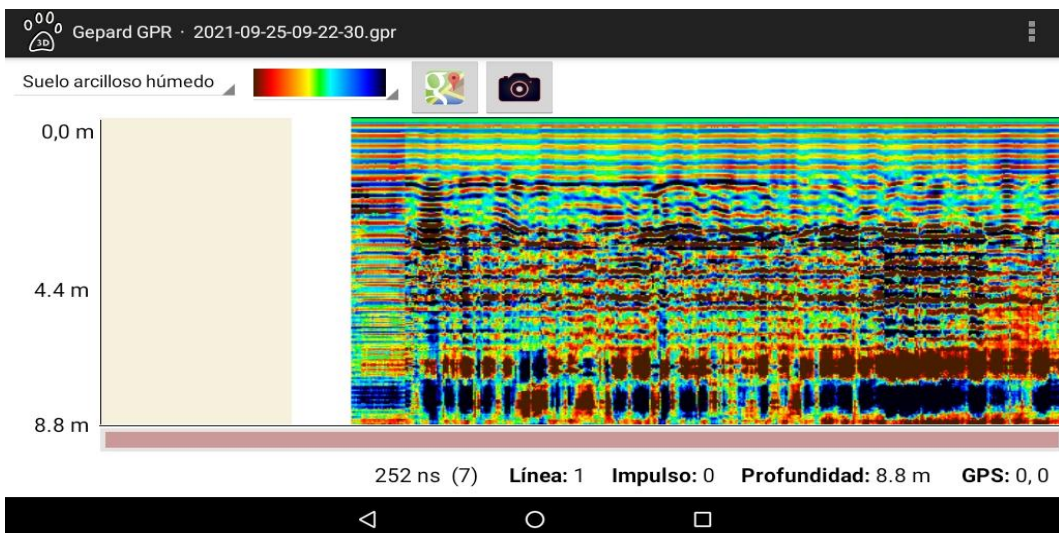


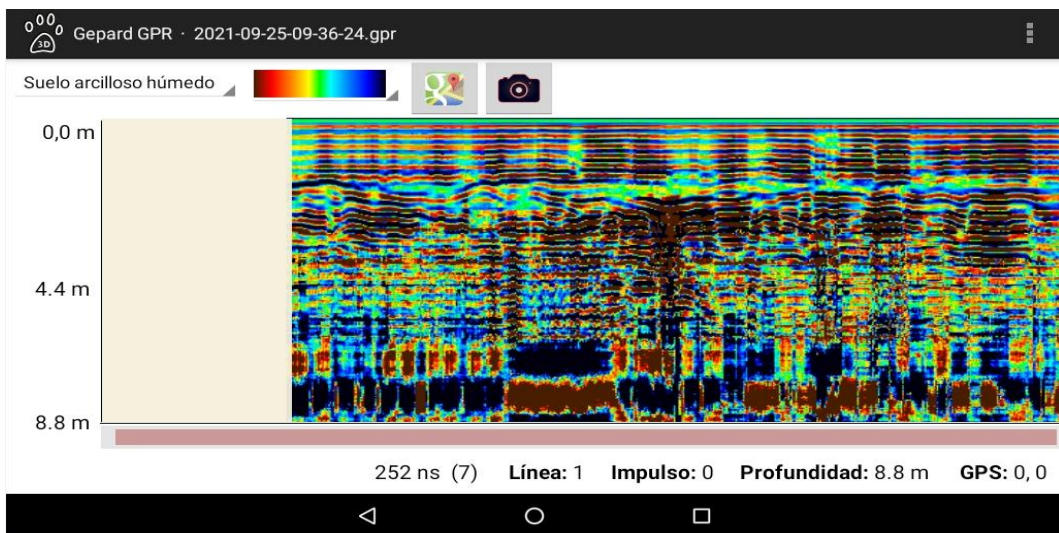
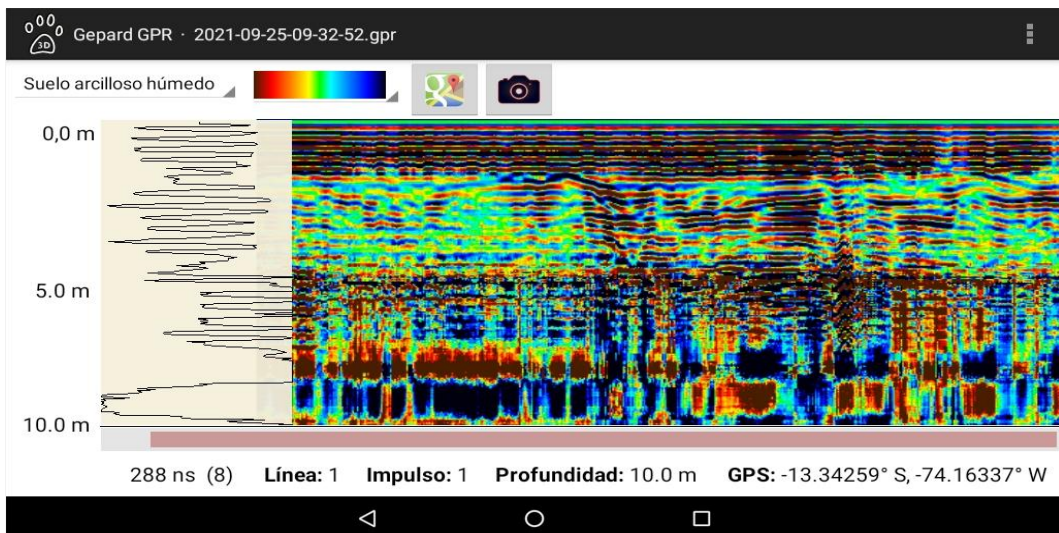
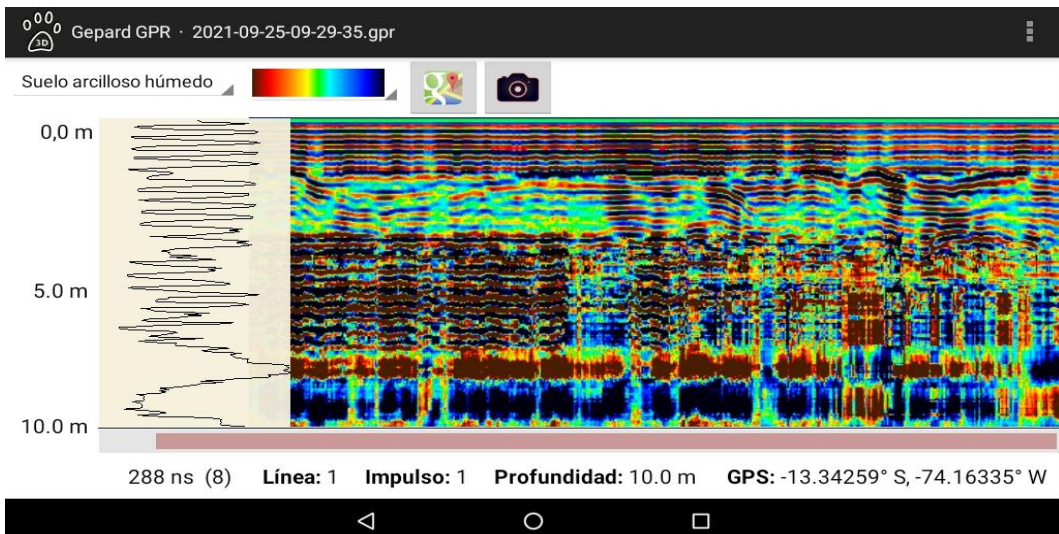


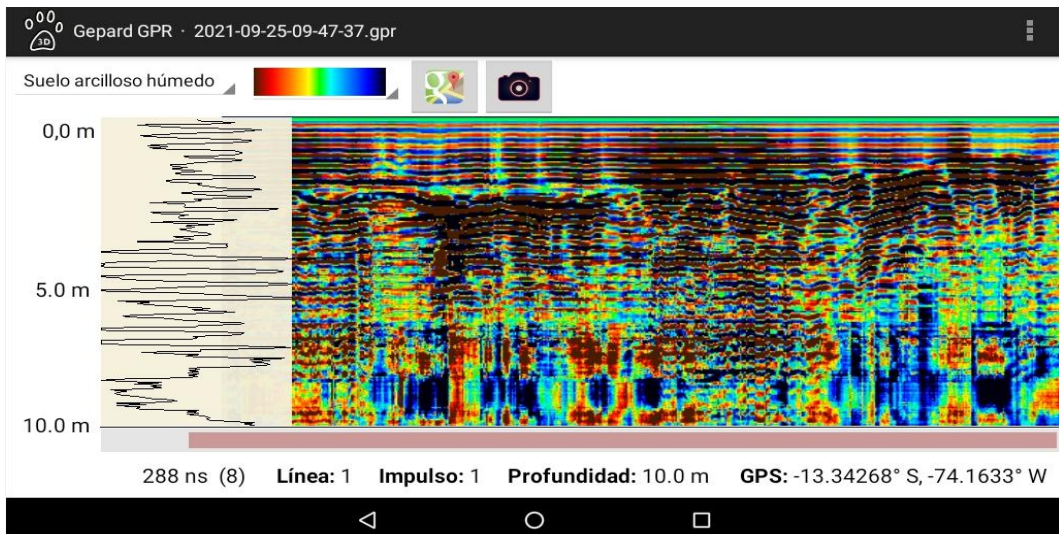
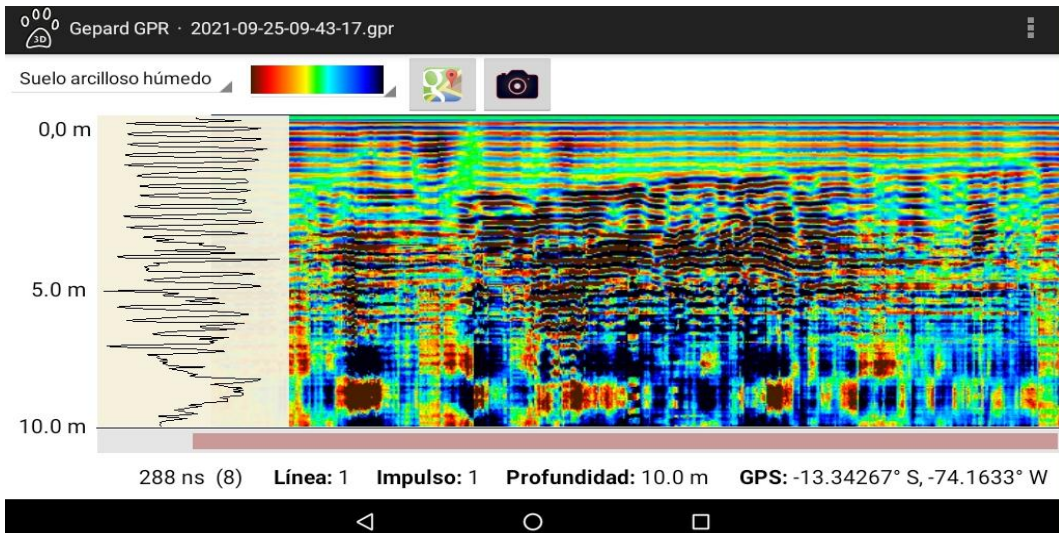
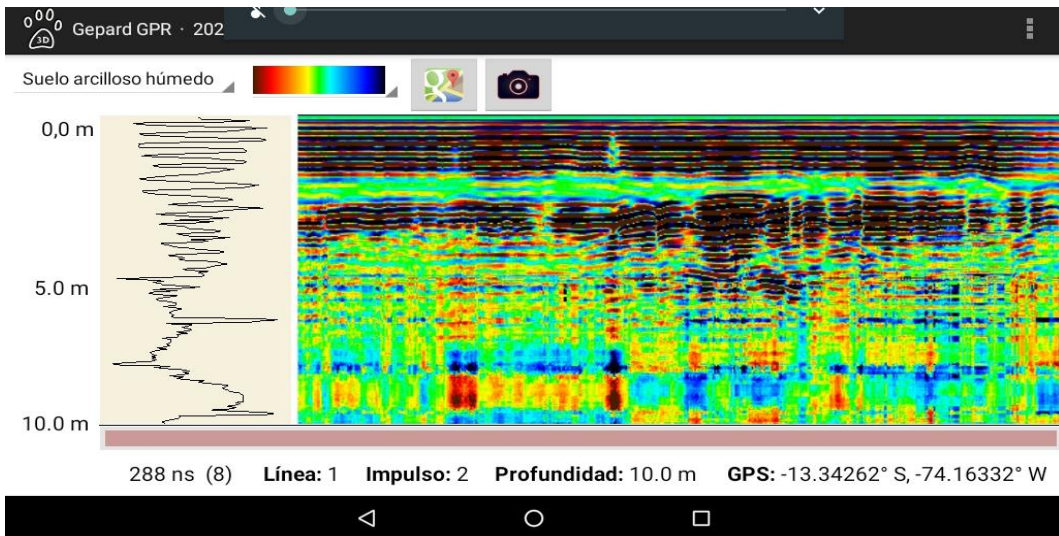


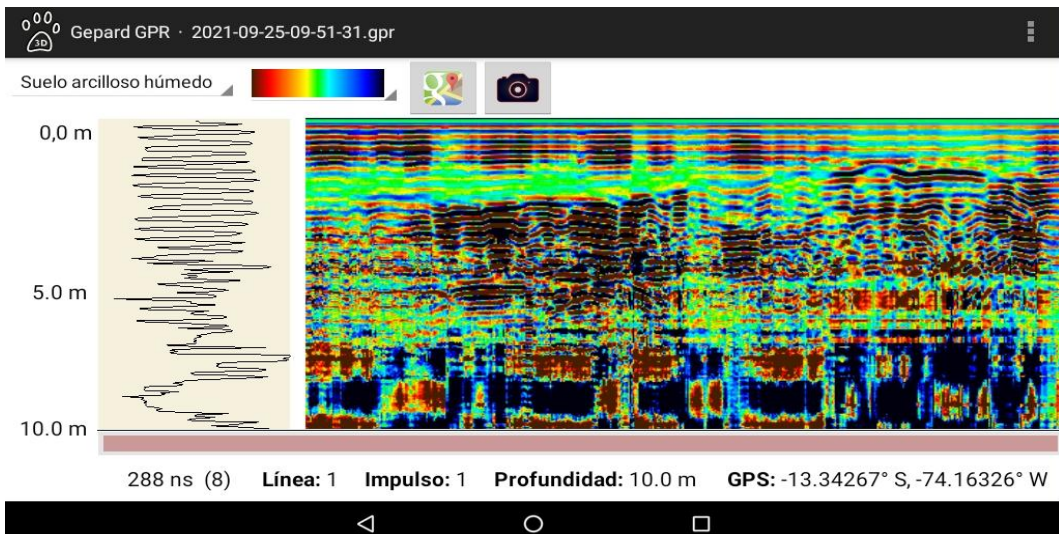


**Anexo 2.** Radargramas de la Zona de Pastizales en la Localidad de Toccto  
Que se muestra desde el tramo 1 hasta el tramo 10 respectivamente.











**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH y Resolución Decanal N° 158-2021-FIMGC-UNSCH-D, deja constancia que Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : AUCCATOMA GARAY, Michael  
**Escuela Profesional** : CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS  
**Título de la Tesis** : ANALISIS DEL RADARGRAMA PARA LA DETECCION DE ANOMALIAS EN EL SUBSUELO CON EL GEORADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE  
**Evaluación de la Originalidad** : **13 %** Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 1747191667

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 24 de enero del 2022

Firmado digitalmente  
por LEZAMA  
CUELLAR CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
de la FIMGC

Numero de constancia: **012-2022-FIMGC.**

Con depósito para Sustentación y Tramite de Titulo

# ANALISIS DEL RADARGRAMA PARA LA DETECCION DE ANOMALIAS EN EL SUBSUELO CON EL GEORADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE

*por Michael Auccatoma Garay*

---

**Fecha de entrega:** 24-ene-2022 11:45a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1747191667

**Nombre del archivo:** Tesis\_AUCCATOMA\_GARAY,\_Michael\_FISMA.pdf (4.13M)

**Total de palabras:** 11530

**Total de caracteres:** 65005



# ANALISIS DEL RADARGRAMA PARA LA DETECCION DE ANOMALIAS EN EL SUBSUELO CON EL GEORADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE

## INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
3	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="https://zaguan.unizar.es">zaguan.unizar.es</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	"Una nueva perspectiva del cartografiado del subsuelo para restauración y conservación del patrimonio histórico: modelización y catalogación de registros de georradar en	<1%

# edificios singulares religiosos.", 'Universitat Politecnica de Valencia'

Fuente de Internet

---

8

[www.racv.es](http://www.racv.es)

Fuente de Internet

<1 %

---

9

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo