

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Aplicación del método de Georadar y detección de cavidades en el subsuelo  
de Cerro de Pasco, 2021**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. José Angel ILLESCAS VILLARREAL**

**Asesor:**

**Dr. Reynaldo MEJIA CACERES**

**Cerro de Pasco – Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Aplicación del método de Georadar y detección de cavidades en el subsuelo  
de Cerro de Pasco, 2021**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Jose Fermin HINOJOSA DE LA SOTA**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. Favio Máximo MENA OSORIO**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Javier LOPEZ ALVARADO**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

#### INFORME DE ORIGINALIDAD N° 241-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**"Aplicación del método de Georadar y detección de cavidades en el  
subsuelo de Cerro de Pasco, 2021"**

Apellidos y nombres del tesista:

**Bach. ILLESCAS VILLARREAL, José Angel**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Dr. MEJÍA CÁCERES, Reynaldo**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Geológica**

Índice de Similitud

**18%**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 16 de diciembre del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA  
CÁCERES, Reynaldo FNU  
20190803048 v01  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 16.12.2024 21:32:07 -05:00

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación es dedicado a mis padres: Walter y Eugenia por su inquebrantable fe en mi persona, por su apoyo incondicional que me dieron y los esfuerzos que realizaron para poder apoyarme en toda mi vida para poder ser una persona de bien y un excelente profesional



## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, mi gran agradecimiento a Dios que nunca me ha abandonado, siempre ha estado conmigo en cada momento de mi vida y de mi carrera profesional, por ser guía cada vez que me sentía confundido, por apoyarme en mis momentos de mayor dificultad y sobre todo por seguir guiando mi camino.

En lo siguiente mi agradecimiento y estima a mis adorables padres Walter y Eugenia, les estaré grandemente agradecido por su gran apoyo incondicional durante toda mi vida entera, sin su apoyo sus consejos y el gran amor no hubiera podido lograr ninguna de mis metas incluyendo el presente trabajo de investigación.

Como también agradecer a todos los docentes de la escuela de formación profesional de ingeniería geológica de la universidad nacional Daniel Alcides Carrión por haberme instruido y compartido todos sus conocimientos a lo largo de toda mi carrera profesional, el esmero y comprensión para hacer de mi persona un excelente profesional.

## RESUMEN

El método de Georadar es una técnica muy versátil en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas en un medio como el subsuelo y que luego se recibe las ondas reflectivas que generan las discontinuidades. Estas discontinuidades son el resultado de los cambios que ocurren en los parámetros electromagnéticos.

La investigación tuvo como objetivo principal aplicar el método de Georadar para detectar la presencia de cavidades o zonas de karstificación en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco. La metodología empleada en la investigación corresponde a una investigación aplicada porque se pone en práctica los conocimientos de la prospección geofísica para posteriormente aplicarlos a la solución de problemas de peligros que pueden generar riesgos en las construcciones que se hallan en la ciudad de Cerro de Pasco, asimismo, es de nivel descriptivo, no experimental con diseño transversal. La población estuvo constituida por los 7 tramos, donde se hizo el levantamiento geofísico y las muestras corresponden a los correspondientes con la antena de 500 MHz con 680 muestras de lectura y con antena de 100

Mhz con 872 muestras de lecturas. Los instrumentos utilizados las guías de análisis documental, guía de observación de campo. Los resultados hallados que resaltan, son los diferentes Radargramas donde se localizó las cavernas y otras grietas. Finalmente se concluyó que la aplicabilidad de la técnica de GPR, demuestra ser una metodología eficaz para la caracterización de materiales, ubicación de cavidades y túneles.

**Palabras claves:** georadar, geofísica, radargrama, ecograma, riesgo, subsuelo, ondas electromagneticas

## **ABSTRACT**

The Georadar method is a very versatile technique in the emission and propagation of electromagnetic waves in a medium such as the subsoil and which then receives the reflective waves that generate the discontinuities. These discontinuities are the result of changes that occur in the electromagnetic parameters.

The main objective of the research was to apply the Georadar method to detect the presence of cavities or karstification zones in the subsoil of the city of Cerro de Pasco. The methodology used in the investigation corresponds to an applied investigation because the knowledge of geophysical prospecting is put into practice to later apply them to the solution of problems of dangers that can generate risks in the constructions that are in the city of Cerro de Pasco, Likewise, it is descriptive, not experimental, with a cross-sectional design. The population was constituted by the 7 sections, where the geophysical survey was carried out and the samples correspond to those corresponding to the 500 MHz antenna with 680 samples and to the 100 MHz antenna with 872 samples. Instruments used are the documentary analysis guides, the field observation guide. The results found that stand out are the different Radargrams where the caverns and other cracks were located. Finally, it was concluded that the applicability of the GPR technique proves to be an effective methodology for the characterization of materials, location of cavities and tunnels.

Keywords: Georadar, geophysics, radargram, echogram, risk, subsoil, electromagnetic waves

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio que corresponde a la aplicabilidad del método de Georadar y detección de cavidades en el subsuelo de Cerro de Pasco. En la Ingeniería Geológica existe un problema que es la presencia de cavidades, grietas y otras estructuras geológicas en subsuelo y como dimensionarlos y conocer con precisión su ubicación, donde posiblemente se ubicaron construcciones, como en el caso de la ciudad de Cerro de Pasco.

El origen de las cavidades en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco es diverso, pueden ser de origen natural como los fenómenos kársticos o de origen artificial aquellos túneles o socavones realizados durante la explotación minera. Una cavidad o un punto kárstico suponen una falta de masa en relación con la roca encajonante, dando como resultado anomalías de cierta magnitud, y en donde es posible interpretar sus características geométricas y dimensionales, así como su profundidad.

En la presente tesis se analiza e interpreta la aplicación de la técnica del Georadar que consiste en detectar ondas reflejadas que corresponden a discontinuidades que son cambios bruscos de los parámetros electromagnéticos del subsuelo, es decir, de la conductividad, la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética. Como resultado se obtiene la información que aportan estos Radargramas, principalmente se trabaja con tiempos de llegada. El tipo de estudio de subsuelo básico consiste en determinar velocidades de propagación promedio y junto con los tiempos de propagación registrados para cada evento, localizar la discontinuidad en la que se ha producido la reflexión, determinando su situación horizontal y la profundidad a la que se encuentra. La profundidad que se puede alcanzar depende de las condiciones de medio analizado y del equipo utilizado.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|        |   |   |
|--------|---|---|
| 1.1.   | Identificación y determinación del problema ..... | 1 |
| 1.2.   | Delimitación de la investigación .....            | 2 |
| 1.3.   | Formulación del problema.....                     | 3 |
| 1.3.1. | Problema general .....                            | 3 |
| 1.3.2. | Problemas específicos .....                       | 3 |
| 1.4.   | Formulación de objetivos .....                    | 3 |
| 1.4.1. | Objetivo general .....                            | 3 |
| 1.4.2. | Objetivos Específicos .....                       | 3 |
| 1.5.   | Justificación de la investigación.....            | 3 |
| 1.5.1. | Teórica.....                                      | 3 |
| 1.5.2. | Social o Práctica .....                           | 4 |
| 1.6.   | Limitaciones de la investigación .....            | 4 |

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.1.   | Antecedentes de estudio .....                               | 5  |
| 2.2.   | Base teóricas - científicas .....                           | 8  |
| 2.2.1. | Método de Georadar .....                                    | 8  |
| 2.2.2. | Descripción del equipo de Georadar utilizado .....          | 11 |
| 2.2.3. | Vista panorámica del equipo GPR con antena de 500 Mhz ..... | 12 |
| 2.2.4. | Aplicaciones de Georadar en Geotecnia.....                  | 13 |
| 2.2.5. | Karst .....   | 14 |
| 2.2.6. | Marco geológico .....                                       | 14 |
| 2.3.   | Definición de términos básicos .....                        | 29 |
| 2.4.   | Formulación de hipótesis.....                               | 31 |
| 2.4.1. | Hipótesis general .....                                     | 31 |
| 2.4.2. | Hipótesis específicas .....                                 | 31 |
| 2.5.   | Identificación de variables.....                            | 31 |
| 2.6.   | Definición operacional de variables e indicadores .....     | 31 |

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

|        |                                |    |
|--------|--------------------------------|----|
| 3.1.   | Tipo de investigación .....    | 32 |
| 3.2.   | Nivel de investigación .....   | 32 |
| 3.3.   | Métodos de investigación ..... | 32 |
| 3.4.   | Diseño de Investigación .....  | 32 |
| 3.5.   | Población y muestra .....      | 33 |
| 3.5.1. | Población .....                | 33 |
| 3.5.2. | Muestra .....                  | 33 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.6. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... | 33 |
| 3.7. | Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....    | 34 |
| 3.8. | Tratamiento estadístico.....                          | 34 |

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.1.   | Descripción del trabajo de campo .....  | 35  |
| 4.2.   | Presentación, análisis e interpretación de resultados.....                    | 39  |
| 4.2.1. | Parámetros de levantamiento del Radar de Penetración de Suelos (GPR)<br>..... | 39  |
| 4.3.   | Prueba de Hipótesis .....   | 100 |
| 4.3.1. | Hipótesis general .....   | 100 |
| 4.3.2. | Primera Hipótesis específica .....  | 100 |
| 4.3.3. | Segunda Hipótesis específica .....  | 100 |
| 4.4.   | Discusión de resultados .....   | 100 |

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....  | 31 |
| <b>Tabla 2</b> Parámetros de levantamiento con antena de 500 Mhz .....  | 39 |
| <b>Tabla 3</b> Parámetros de levantamiento con antena de 100 Mhz .....  | 39 |
| <b>Tabla 4</b> Parámetros para determinar la estratificación de peligros naturales en el distrito de Chaupimarca, Yanacancha, Simón Bolívar ..... | 92 |
| <b>Tabla 5</b> Resumen de la estratificación de peligros naturales por geodinamica externa en el distrito de Chaupimarca.....                     | 92 |
| <b>Tabla 6</b> Resumen de la estratificación de peligros naturales por geodinamica externa en el distrito de Simón Bolívar.....                   | 93 |
| <b>Tabla 7</b> Nivel de peligrosidad de los hundimientos .....  | 96 |
| <b>Tabla 8</b> Matriz de peligro y vulnerabilidad .....   | 96 |
| <b>Tabla 9</b> Matriz de riesgos por sectores .....   | 97 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 1</b>  | Plano de ubicación de Cerro de Pasco .....                            | 17 |
| <b>Figura 2</b>  | Plano de Geología distrital de Cerro de Pasco.....                    | 29 |
| <b>Figura 3</b>  | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-01 .....   | 40 |
| <b>Figura 4</b>  | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-C.....              | 41 |
| <b>Figura 5</b>  | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-D .....             | 41 |
| <b>Figura 6</b>  | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-E.....              | 42 |
| <b>Figura 7</b>  | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-F.....              | 42 |
| <b>Figura 8</b>  | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-G .....             | 43 |
| <b>Figura 9</b>  | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-H .....             | 43 |
| <b>Figura 10</b> | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-02 .....   | 47 |
| <b>Figura 11</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-A .....             | 48 |
| <b>Figura 12</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-B.....              | 48 |
| <b>Figura 13</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-C.....              | 49 |
| <b>Figura 14</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02.....                | 49 |
| <b>Figura 15</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-E.....              | 50 |
| <b>Figura 16</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-F .....             | 50 |
| <b>Figura 17</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 Hz) – L-02-.....                | 51 |
| <b>Figura 18</b> | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-03-A ..... | 52 |
| <b>Figura 19</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-A .....             | 53 |
| <b>Figura 20</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-B.....              | 53 |
| <b>Figura 21</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-C.....              | 54 |
| <b>Figura 22</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-D .....             | 54 |
| <b>Figura 23</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03.....                | 55 |
| <b>Figura 24</b> | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-03-B ..... | 56 |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 25</b> | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-04 ..... | 57 |
| <b>Figura 26</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-04- .....            | 58 |
| <b>Figura 27</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-04-B.....            | 58 |
| <b>Figura 28</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-04-C.....            | 59 |
| <b>Figura 29</b> | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-05 ..... | 60 |
| <b>Figura 30</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-A .....           | 61 |
| <b>Figura 31</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-B.....            | 61 |
| <b>Figura 32</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-C.....            | 62 |
| <b>Figura 33</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-D .....           | 62 |
| <b>Figura 34</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-E.....            | 63 |
| <b>Figura 35</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-F .....           | 63 |
| <b>Figura 36</b> | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-06 ..... | 65 |
| <b>Figura 37</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-06-A .....           | 66 |
| <b>Figura 38</b> | Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-07 ..... | 67 |
| <b>Figura 39</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-A .....           | 68 |
| <b>Figura 40</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-B.....            | 68 |
| <b>Figura 41</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-C.....            | 69 |
| <b>Figura 42</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-D .....           | 69 |
| <b>Figura 43</b> | Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-E.....            | 70 |
| <b>Figura 44</b> | Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-A .....           | 71 |
| <b>Figura 45</b> | Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-B.....            | 71 |
| <b>Figura 46</b> | Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-C.....            | 72 |
| <b>Figura 47</b> | Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-D .....           | 72 |
| <b>Figura 48</b> | Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-E.....            | 73 |
| <b>Figura 49</b> | Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-F .....           | 73 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 50</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-G .....  | 74 |
| <b>Figura 51</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-A .....  | 75 |
| <b>Figura 52</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-B.....   | 75 |
| <b>Figura 53</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-C.....   | 76 |
| <b>Figura 54</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-D .....  | 76 |
| <b>Figura 55</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-E.....   | 77 |
| <b>Figura 56</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-F .....  | 77 |
| <b>Figura 57</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-G .....  | 78 |
| <b>Figura 58</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03A-A ..... | 79 |
| <b>Figura 59</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03A-B.....  | 79 |
| <b>Figura 60</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03A-C.....  | 80 |
| <b>Figura 61</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03B-A.....  | 80 |
| <b>Figura 62</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03B-B.....  | 81 |
| <b>Figura 63</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-A .....  | 82 |
| <b>Figura 64</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-B.....   | 82 |
| <b>Figura 65</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-C.....   | 83 |
| <b>Figura 66</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-D .....  | 83 |
| <b>Figura 67</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-E.....   | 84 |
| <b>Figura 68</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-06-A .....  | 85 |
| <b>Figura 69</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-07-A .....  | 85 |
| <b>Figura 70</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-07-B.....   | 86 |
| <b>Figura 71</b> Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-07-C.....   | 86 |
| <b>Figura 72</b> Mapa de peligros.....                                      | 98 |
| <b>Figura 73</b> Mapa de vulnerabilidad.....                                | 99 |

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Existe diversos métodos geofísicos que permiten la detección de estructuras desde la superficie según Griffiths & King (1985). Entre los más importantes están el gravimétrico, el magnético, el sísmico, el georadar y los métodos eléctricos.

El método basado en el georadar, utiliza un radar cuyo objetivo es detectar e identificar la estructura del subsuelo (Peters, Daniels, & Young, 1994).

En el Perú diferentes investigaciones geofísicas utilizan el método de Georadar porque resultan de menor costo y además se optimiza el tiempo en muchos proyectos relacionados a la geotecnia, especialmente para el análisis e interpretación de imágenes de resistividad y Radargramas (Huisa, 2017).

El subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco ha sido relativamente estudiado desde el punto de vista de exploraciones geológicas, mas no como un ordenamiento territorial donde se debe planificar, diseñar y ejecutar proyectos de construcción y si no se cuenta con los estudios existe la probabilidad de riesgos,

tales como colapsos, hundimientos entre otros. Por lo mencionado es importante obtener información del subsuelo del área de Cerro de Pasco para definir anomalías, tales como cavernas, contacto entre materiales, grietas y la composición de la misma que se encuentran sujetas esencialmente al volumen y a la permitividad iónica del entorno de la zona ocasionado por filtraciones o encadenamiento de canales de agua, el cual desde el punto de vista cualitativo apoyará contribuye a un estudio de vulnerabilidad en función al riesgo de la profundidad y ancho de cada anomalía.

Para obtener información del subsuelo existen diferentes técnicas geofísicas los cuales utilizan parámetros físicos que miden las anomalías. El método de Georadar, corresponde a una técnica no destructiva, por lo que se convierte en una herramienta de bajo costo y realiza un buen diagnóstico, lo que implica una buena alternativa para buscar información e intentar distinguir las distintas capas del subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco estudiando sus comportamientos y características físicas de posibles existencias de cavernas u otras estructuras los cuales serán investigados, analizados e interpretados que contribuirán en la mitigación o reducción de alguna vulnerabilidad y evitar pérdidas que se puedan presentar en la ciudad de Cerro de Pasco.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

En cuanto a la delimitación espacial, se desarrolló la investigación en la ciudad de Cerro de Pasco, que se encuentra en la zona del centro del país a una altura de 4380 m.s.n.m., en cuanto a la delimitación temporal la investigación se realizó en el año 2021 y para la delimitación de unidades de observación se tiene el subsuelo del área que corresponde a la ciudad de Cerro de Pasco.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Será factible aplicar el método de Georadar para detectar la presencia de cavidades o zonas de karstificaciones en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco, 2021?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Será factible la aplicabilidad del método de Georadar en la caracterización del subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco?
- ¿Será factible determinar la presencia de cavidades y otras estructuras en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco para identificar áreas expuestas al peligro?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Aplicar el método de Georadar para detectar la presencia de cavidades en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a) Definir la aplicabilidad del método de Georadar para la caracterización del subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco
- b) Determinar mediante el procesamiento de información la presencia de cavidades en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco.
- c) Modelo de riesgos

### **1.5. Justificación de la investigación**

#### **1.5.1. Teórica**

Se justifica la porque constituye un aporte metodológico de los procedimientos que permitan aplicar el método geofísico de Georadar para

detectar cavidades o zonas de karstificaciones en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco, los cuales serán utilizados para apoyar estudios de vulnerabilidad que puedan presentarse en el subsuelo de la zona.

#### **1.5.2. Social o Práctica**

El presente trabajo de investigación es conveniente porque profundiza el conocimiento de las características del subsuelo del área de estudio, identificando zonas de cavernas y otras estructuras, que contribuyeron a realizar un plan de mitigación de riesgos en áreas vulnerables y como consecuencia benefició a la población del área de Cerro de Pasco.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Cada estudio presenta sus propias limitaciones, en este caso, la investigación está limitada al uso del método geofísico del Georadar y aplicadas a las características propias de los distritos de Chaupimarca , Yanacancha y Simón Bolívar en la ciudad de Cerro de Pasco.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

En investigaciones a nivel internacional, se tiene a Jara (2015) quien, en la investigación efectuada en Chaitén, provincia de Palena, Región de Los Lagos, Chile, realizó una aplicación práctica en el área de la sedimentología con el Radar de penetración Terrestre en los sedimentos volcánicos en Chaitén.

- a) Márquez (2021) en su investigación “Detección de oquedades en el subsuelo de la zona del parque de la Orquídea en Xalapa, Veracruz mediante gravimetría y Georadar” en México. La investigación tuvo como objetivo general el descubrimiento de cavidades en la zona estudio, mediante aplicación de métodos geofísicos, tales como, la gravimetría y el georadar, con la finalidad de adquirir una mejor perspectiva sobre la situación en que se halla la cavidad. Se plantea detectar oquedades en zonas donde no existe estudios que indican la presencia de estas formaciones geológicas. Se trata de un estudio de tipo descriptiva y explicativa. La población estuvo conformada por el área de estudio que incluye la entrada superficial a la



cueva, una bóveda primaria y otra secundaria, la muestra estuvo constituida por 23 perfiles. A través de los métodos mencionados se obtuvieron datos que se analizaron e interpretaron para detectar las oquedades dentro y fuera del parque de la cueva de la Orquídea. Otros resultados que se obtuvieron fueron las posibles profundidades de las diferentes oquedades detectadas de 7.4 metros y finalmente, un punto de vista respecto a la factibilidad de construcción de infraestructura turística o de casas-habitación.

- b) Giordano (2010) en su investigación denominado “Estudio con Georadar (GPR) de la geometría de los procesos de subsidencia – Crep-Falla (PSCF), en la ciudad de Celaya, Guanajuato, México”. Tuvo como objetivo identificar estructuras de deformación ligadas a la subsidencia – Crep – Falla, que comprende fallas sintéticas y antitéticas, se aplicó la técnica del Georadar en exploraciones de 15 a 20 metros de profundidad, también se definió las franjas de afectación de las principales fallas geológicas de la ciudad. Respecto a la metodología empleada fue de tipo descriptiva, con una muestra de 16 perfiles. Los resultados obtenidos con el Georadar revelan que el subsuelo en correspondiente con la falla oriente se encuentra muy afectado por fallas sintéticas y antitéticas de  $40^{\circ}$  a  $50^{\circ}$  de inclinación, que definen hundimientos de sedimentos fluvio - lacustres en el bloque del techo, hasta una distancia de 15 a 20 metros con respecto al plano principal de falla, cuya inclinación mide aproximadamente  $35^{\circ}$  hacia el oriente. Como conclusión se comprobó que la ciudad de Celaya ha sido afectada por los procesos de subsidencia – Crep- Falla y la sobreexplotación del acuífero ha originado la consolidación diferencial de los sedimentos fluvio-lacustres, los cuales se encuentran afectados por 6 fallas normales de dirección NNO-SSE, con plano

de falla que se inclina hacia el Oeste, asimismo, se determinó que las fallas tienen tasas de hundimiento de 8 a 10 cm/año.

- c) Jara (2015) en la investigación titulado “Exploración Geofísica mediante la técnica del Radar de penetración terrestre. Un estado del conocimiento”, de Chile. La investigación tuvo como objetivo general elaborar un estado del arte de la exploración geofísica mediante la técnica del Radar de penetración terrestre. Se trató de un estudio de tipo exploratorio, que consistió en una revisión del estado del conocimiento relativo al funcionamiento y fundamentos físicos del radar de penetración terrestre, para establecer los principios físicos y su funcionamiento; el sistema de medición e interpretación de datos y el contexto histórico. Los resultados evidenciaron que en geotecnia la técnica del Radar de Penetración Terrestre sirve para evaluar la calidad del suelo y para realizar estudios geotécnicos en zonas donde no se pueden aplicar métodos tradicionales de exploración. Asimismo, se ha utilizado para detectar inhomogeneidades, cavidades, contenido de arcilla y zonas de subsidencia y estudios estratigráficos.
- d) Flores (2019) en su investigación “Estudio de la estructura somera en el municipio de Cerro de San Pedro por medio del uso de métodos geofísicos” en San Luis de Potosí, México. Tuvo como objetivo general verificar cualitativamente las condiciones estructurales del subsuelo del municipio de Cerro de San Pedro en relación con la posible presencia de túneles dentro de la zona de estudio. La metodología empleada consistió en investigación de tipo exploratoria. La población estuvo constituida por el del municipio de Cerro San Pedro. Los resultados comprobaron que dentro de la zona

estudiada no se hallan estructuras que se correlacionen con túneles como se había planteado.

- e) Huisa (2017) en su estudio “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”. Consideró como objetivo demostrar el método de resistividad Multielectrodo y Georadar para determinar las características del subsuelo en el estudio geotécnico. La metodología empleada es descriptiva considerando la revisión bibliográfica y la observación como técnica, para luego interpretarlas. Los resultados demostraron que existe buena correlación entre los datos de resistividad de acuerdo a ensayos realizados in situ representados en 03 capas. Por otro lado, la data de Georadar mostró una correlación buena al grado de fracturamiento de la última capa y el contacto agua marina – suelo o fondo marino.

## **2.2. Base teóricas - científicas**

### **2.2.1. Método de Georadar**

El método basado en el georadar, en inglés Ground Penetrating Radar (GPR), utiliza un radar cuyo objetivo es detectar e identificar la estructura del subsuelo (Peters, Daniels y Young, 1994).

Este método suministra una alta resolución cuando se selecciona la frecuencia adecuada. Sin embargo, se requiere que el terreno donde se realiza la prueba sea plano y poco conductor. (Peters, et al., 1994).

El Radar de Penetración Terrestre es un sistema electromagnético diseñado para la localización de objetos, exploración y estudio no destructivo bajo la superficie de la tierra. Está basado en el principio de propagación de ondas

electromagnéticas de muy alta frecuencia, que consiste en la interpretación de los fenómenos de reflexión, refracción y difracción de ondas durante su propagación en un medio discontinuo.

**Ecuaciones de Maxwell.** Las ecuaciones de Maxwell asocian entre sí el campo eléctrico, el magnético y las cargas y corrientes que los crean. Dichas ecuaciones fueron halladas por diferentes científicos a lo largo del siglo XIX, y fue Maxwell quien, describió por completo el electromagnetismo (Dios et al, 1998).

Las ecuaciones de Maxwell se expresan de la siguiente forma:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \text{ (Ley de Gauss para campo eléctrico)}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \text{ (Ley de Gauss para campo magnético)}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \partial \vec{B} / \partial t \text{ (Ley de Faraday)}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \partial \vec{D} / \partial t \text{ (Ley generalizada de Ampère)}$$

Donde  $\vec{E}$  es la intensidad de campo eléctrico (V/m);  $\rho$  es la densidad de carga eléctrica (C/m<sup>3</sup>);

$\vec{B}$  es la densidad de flujo magnético (T);  $\vec{J}$  es la densidad de flujo de corriente eléctrica (A/m<sup>2</sup>);

$\vec{D}$  es el vector desplazamiento (C/m<sup>2</sup>);  $t$  es tiempo (s); y  $\vec{H}$  es la intensidad del campo magnético (A/m).

**Propiedades electromagnéticas de un medio.** Las propiedades electromagnéticas de un medio, conductividad ( $\sigma$ ), permitividad dieléctrica ( $\epsilon$ ) y permeabilidad magnética ( $\mu$ ), lo definen al paso de una onda electromagnética.

**Conductividad.** La conductividad de cualquier medio facilita una medida de la respuesta de sus cargas en cuando existe un campo eléctrico externo, siendo

el factor de proporcionalidad entre el campo libre y la densidad de volumen de corriente eléctrica, es decir:  $Jf = \sigma E^{\rightarrow}$  (Ley de Ohm).

Donde  $Jf$  es la densidad de volumen de corriente debido a las cargas libres,  $E^{\rightarrow}$  es el campo eléctrico aplicado y  $\sigma$  es la conductividad del material (mho/m o  $1/\Omega m$ ).

En varios medios, lo que determina su conductividad no es la composición mineral del material, sino que es el contenido de agua y la composición química de esta. Así también, al cambiar la temperatura de los medios, la conductividad puede verse afectada. En general la conductividad es muy variable y puede cambiar dentro de una misma formación, ya que no depende sólo del cambio del material.

La conductividad se presenta como un valor complejo:

$$\sigma = \sigma' - i\sigma''$$

Donde,  $\sigma'$  es la parte real de la conductividad compleja, y determina la amplitud de la corriente en fase con la intensidad del campo eléctrico, y  $\sigma''$  es la parte imaginaria de la conductividad compleja, que determina la amplitud de la corriente desfasada respecto al campo eléctrico externo y considera el retardo en la respuesta de conducción que presenta el material en presencia de un campo eléctrico variable con el tiempo (Pérez, 2001).

**Permitividad Dieléctrica.** La permitividad dieléctrica es un campo eléctrico afectado por un medio. Está determinada por la tendencia de un material a polarizarse ante el suministro de un campo eléctrico, eliminando parcialmente el campo eléctrico interno del material (Dios et al, 1998).

Para altas frecuencias (entre 10 MHz y 1000 MHz), en la mayor parte de los materiales del subsuelo, los fenómenos de polarización dominan sobre los

fenómenos de conductividad. De esta forma, los medios suelen caracterizarse a partir de su constante dieléctrica. Para frecuencias algo menores el término de la conductividad estática predomina sobre lo otro. Para frecuencias bajas (por debajo de los 100 hz) no se ha observado que este parámetro dependa de la frecuencia de pulso, pero para frecuencias más altas se aprecia una dependencia entre ambos (Pérez, 2001).

Permeabilidad magnética. La permeabilidad magnética señala que el campo magnético atraviesa con facilidad la materia y relaciona la inducción magnética con la intensidad de campo magnético.

En la mayoría de los materiales que se encontrarán en los estudios con georadar se cumple que la permeabilidad magnética se aproxima a 1, con excepción de aquellos que contienen materiales ferromagnéticos, no dependiendo de la frecuencia del campo magnético. La mayoría de los materiales tienen un comportamiento isotrópico respecto a la permeabilidad magnética [Pérez, 2001].

### **2.2.2. Descripción del equipo de Georadar utilizado**

El sistema RAMAC Georadar (GPR), dicho dispositivo incluye una unidad de control con un procesador de 32 bytes, aparatos electrónicos de transmisión/recepción, antenas y una computadora notebook personal. En el proyecto, estuvo disponible una antena blindada de 500

MHz, un móvil propio del equipo para la movilización de la antena y accesorios para su mejor funcionamiento.

El GPR utiliza una tecnología de 16 bytes, con fines de obtener datos claros y de alta resolución; con una frecuencia de repetición de pulso de 100kHz, se puede recolectar más de 200 rastreos por segundo, mejorando de esta manera la relación señal a ruido. La resolución horizontal se optimiza utilizando una alta

densidad de muestra a lo largo del perfil. Las secciones fueron levantadas a una distancia de muestreo horizontal de 0.020 m con antena de 500 MHz y 0.2m para la antena de 100 MHz. La activación y la medida de la distancia se efectuaron con un distanciómetro.

### **2.2.3. Vista panorámica del equipo GPR con antena de 500 Mhz**

En general; para la mejora y precisión del trabajo del GPR, el equipo y los procedimientos de levantamiento se encuentra de acuerdo a las normativas internacionales ASTM D 6432-11. El certificado de calibración del equipo consta de las siguientes partes:

- Unidad de Control s/n: 34891.
- Antena de 500 MHz s/n: 35165.
- Antena de 100 MHz s/n: 34694.
- Monitor MALA s/n: 34443.
- Odómetro s/n: 005280.
- Cargador de Batería s/n: 35109.
- Carrete de Hilo.
- Cable de Transferencia y Alimentación.
- Set de Baterías MALA.
- Hilos Distanciómetros.
- Soporte de Equipo GPR Accesorios y/o Herramientas.

El equipo de Georadar está formado, fundamentalmente, por:

**Unidad Central.** Controla los tiempos de envío de señales eléctricas que son convertidas en electromagnéticas por la antena emisora y recibe las señales reflejadas en forma de registros de radargramas.

**Antena Emisora.** Transforma los impulsos eléctricos que recibe de la unidad central en ondas electromagnéticas de corta duración que se emiten hacia el medio que se quiere estudiar.

**Antena Receptora.** Capta la energía reflejada y transformada en pulsos eléctricos que envía a la unidad central. Ambas antenas, emisora y receptora, están integradas en un mismo elemento.

**Ordenador Portátil.** Incorpora un software de registro de la señal electromagnética, que la procesa y permite una representación gráfica pudiéndose visualizar el perfil de georadar en tiempo real.

**Odómetro.** Rueda conectada a la antena. En la siguiente figura se muestra un equipo de georadar en el que se pueden ver los distintos elementos que lo constituyen.

#### **2.2.4. Aplicaciones de Georadar en Geotecnia**

El Radar de Penetración Terrestre se aplica en esta área para evaluar la calidad del suelo, [Orlando, 2003] estudió una metodología a partir de los datos de georadar, que obtuvo con una antena de 200 MHz, que permitió una evaluación semicuantitativa de la calidad de la roca masiva; en una presa de la región de Basilicata en el sur de Italia.

En esta misma línea, el Radar de Penetración Terrestre se aplicó para la detección de cavidades en el subsuelo de las zonas kársticas para prevenir riesgos geotécnicos. (Gosar, 2012) en su estudio puso a prueba una antena de 50 MHz diseñada en forma de tubo para detectar la galería desconocidas en la cueva de Divača en Eslovenia, a una profundidad entre 12 m y 60 m de formación de piedra caliza karstificada.



### 2.2.5. Karst

Es el régimen de drenaje jerarquizado que posee flujo hídrico mediante conductos, que se origina de la disolución de rocas carbonatadas y como resultado generan características geomorfológicas y sedimentológicas subterráneas (Andreau et al., 2016).

La disolución de CO<sub>3</sub> produce el fenómeno denominado paisaje de Karst, los cuales generan espacios vacíos en el subsuelo, tal vez de enormes dimensiones como las llamadas cavernas. Los espacios muy cerca a la superficie pueden desmoronarse y se forman las dolinas (Wriem, 2020).

### 2.2.6. Marco geológico

**Fisiografía.** El relieve de la zona es el producto de un continuo proceso que se dio a lo largo de sucesivas eras geológicas, desde el Paleozoico hasta el Cuaternario presente la zona de estudio se encuentra situada en la parte central del territorio peruano, topográficamente el área presenta una zona bien diferenciada representada por la cordillera occidental, presentando cumbres agrestes con glaciares perpetuos con altitudes mayores a 4,500 m.s.n.m.; una zona inter cordillerana por donde fluye el río Mantaro denominado depresión de Chinchaycocha, erosionados formando una superficie puna:

**Cordillera Occidental.** Es la cadena montañosa más prominente de los Andes peruanos, la misma que se ubica en el extremo SO del cuadrángulo de Ondores, donde tiene una dirección NO-SE concordante con la orientación andina. En ella están alineadas las Cordilleras la Viuda, Puagjanca así como los Nevados de Alcay y Azulcocha entre otros; alcanzando altitudes de 4,800 a 5,300 msnm. Las cordilleras están constituidas por rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico que se hallan fuertemente plegadas y falladas, cubiertas por rocas

volcánicas del Paleógeno al Neógeno. El flanco oeste de la Cordillera Occidental está intensamente disecado, originando un paisaje totalmente abrupto, mientras que el flanco este presenta un paisaje suave poco accidentado.

**Zona Intracordillerana.** Esta unidad se ubica entre la Cordillera Occidental y la Oriental representada estructuralmente por el Geosinclinal Andino, el valle del río Mantaro que recorre longitudinalmente esta zona, ocupa el 70% de los cuadrángulos de Cerro de Pasco y Óndores constituyéndose así en la parte más interesante de los Andes centrales del Perú. El río Mantaro discurre de la región andina hacia la Amazonía de Norte a Sur, tiene como principal afluente al río San Juan y una red de tributarios que drenan desde la superficie altiplánica hacia la cuenca del Mantaro, constituyéndose así un rasgo impresionante en la región. El Nudo de Pasco topográficamente está conformado por relieves residuales y remanentes de erosión diferencial.

La zona intracordillerana comprende el borde oriental de la cuenca marina mesozoica; entre los paralelos 10°30' y 11°00' Sur, la sedimentación mesozoica se inicia en el Cretáceo inferior, siendo afectada por las tectónicas Santoniana, peruana e Inca principalmente.

**Cordillera Oriental.** Esta unidad morfológica bien individualizada, comprende el 90% de la hoja de Ambo formando un macizo montañoso continuo de dirección SE. La Cordillera Oriental es un geoanticlinal, correspondiendo al dominio del afloramiento de la cadena hercínica y a los terrenos neo-proterozoicos.

Durante el Mesozoico y Cenozoico esta zona ha tenido una tendencia positiva constituyendo un “horst” que separó la cuenca marina occidental de la Oriental, esencialmente la zona intracordillerana está constituida por rocas

metamórficas neo-proterozoicas (esquistos y gneis), que encuentran plegadas y falladas. La cordillera está seccionada por los valles del río Mantaro y del Huallaga. La Cordillera Oriental es menos elevada que la Occidental, siendo controlado su levantamiento por fallas regionales longitudinales.

**Geomorfología Local.** Las unidades geomorfológicas son las siguientes:

#### **Flanco Occidental de la Cordillera Oriental**

Esta unidad geomorfológica se ubica al Noreste de la ciudad de Cerro de Pasco. Conformando cumbres agrestes de modelado glaciar, alcanzando altitudes de 4,400 m.s.n.m.

#### **Cuello Volcánico de Cerro de Pasco**

Esta unidad geomorfológica se ubica al Noroeste de la ciudad de Cerro de Pasco, representa una geoforma circular conformado por piroclastos volcánicos.

#### **Circo Glacial de Patarcocha**

Se ubica al este de la ciudad de Cerro de Pasco, presenta una topografía típica de erosión glacial, conformando la cubeta de la laguna de Patarcocha.

#### **Planicie Altoandina**

Esta unidad geomorfológica constituye la meseta de Chinchaycocha, se ubica al Suroeste de la ciudad de Cerro de Pasco.

#### **Valle interandino**

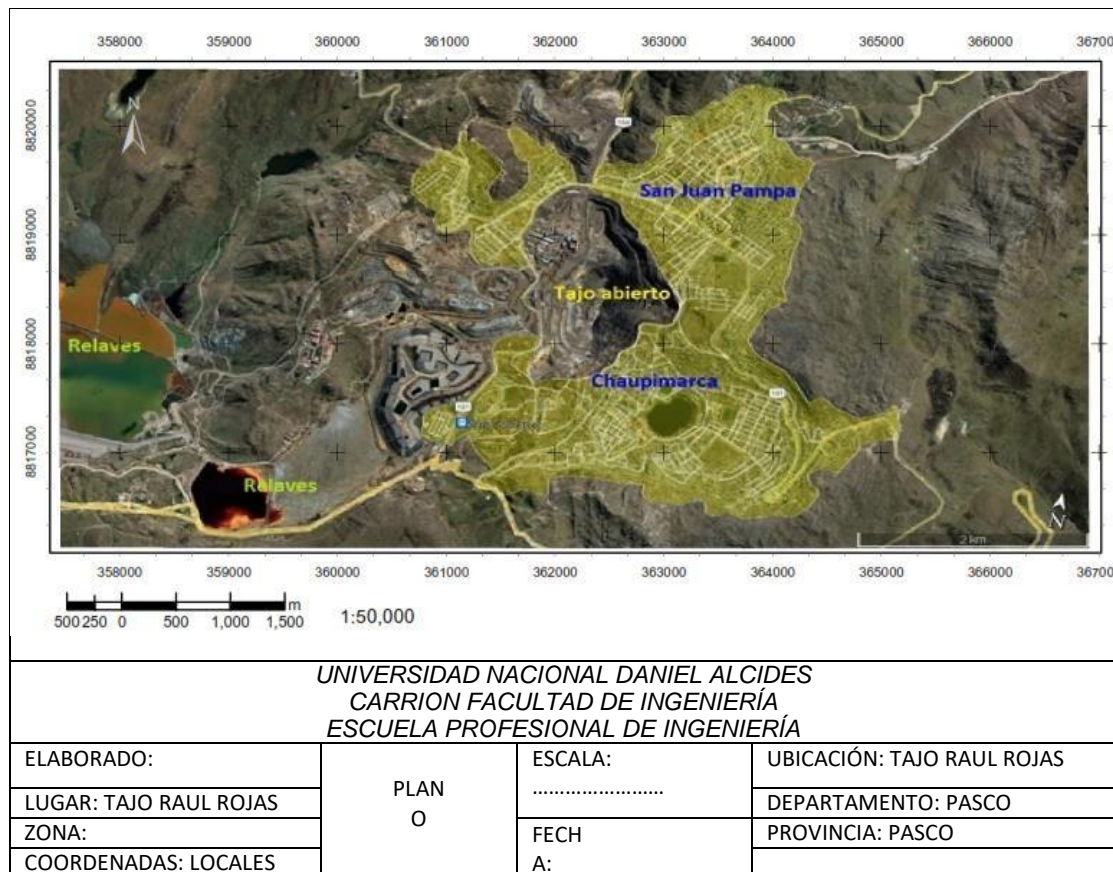
Esta unidad geomorfológica está representada por el valle interandino del río Tingo, se ubica al norte de la ciudad de cerro de Pasco.

**Geología.** Desde el punto de vista estratigráfico hay dos áreas de deposición; el geoanticlinal del Maraón, donde delgados sedimentos de plataforma fueron depositados y el miogeo sinclinal donde gruesas secuencias sedimentarias de litología similar se extienden hacia el lado Oeste del área de

estudio, estas dos zonas gradan unas a otras en forma de interdigitación o gradualmente y el parentesco geodinámico de las dos zonas, son los que muestran la estratigrafía que vemos hoy en día.

**Filitas Excelsior.** (siluriano - Devónico) Nombre propuesto por Mc Laughlin, D.H. (1925) en la mina Excelsior, Cerro de Pasco. Las rocas que afloran en las ventanas son pizarras grises y filitas con areniscas en capas delgadas, a veces varía de 30 cm de espesor, en correspondiente desarrollo. Muchas venillas de cuarzo están presentes, las cuales son probablemente el resultado de la segregación de un metamorfismo regional de bajo grado. Los clivajes están bien desarrollados, pero son estrechamente irregulares en su distribución. Se caracteriza por presentarse, bastante plegados, fallados y fracturados; por efectos de erosión su morfología es suave ondulada.

**Figura 1** Plano de ubicación de Cerro de Pasco



Sus mejores afloramientos se presentan en Cerro de Pasco de dirección Norte a Sur, limitados desde el cerro Uchuccocora hasta Smelter (Tinyahuarco) respectivamente; formado por pizarras y filitas intercaladas con cuarcitas de grano fino y algunas capas de calizas; esta formación es incompetente mostrando abundantes pliegues. En la margen izquierda del río Auquiragra se presenta infrayaciendo a sedimentitas del Jurásico y Cretáceo; mientras la margen oriental del cuadrángulo de Cerro de Pasco, entre cerro Yanacocha y Raquina, descansa sobre esquistos del Complejo del Marañón; variando de filitas a delgados niveles de pizarra esquistosa bastante plegadas.

En la hoja de Óndores se restringe entre los caseríos de Jamaccancha y Yalicancha; así como el domo de Malpaso Central Hidroeléctrica del Mantaro, constituida por filitas, cuarcitas, calizas y volcánicos básicos (lavas y tufos). En el anticlinal domal de Malpaso predomina filitas negruzcas con escasas intercalaciones de cuarcitas delgadas, atravesados por vetas irregulares de cuarzo y ankerita se distingue unas secuencias silíceas notables al Este y Norte de Malpaso que no parece derivar de areniscas sino más bien de una precipitación silícea en ambientes submarinos. Complejas intercalaciones de lavas y volcanoclásticos básicos, se distinguen morfológicamente por su mayor resistencia a la erosión y su color verde oscuro (Kobe, H.1986).

Las estructuras dentro de los esquistos son complejas, hay abundantes venillas de cuarzo dentro de la esquistosidad, pero pocas venillas que cortan la esquistosidad; pliegues replegados y deformados (torcidos), son abundantes y aproximadamente paralelos a la orientación andina. Grandes estructuras son más abiertas, profundas y son usualmente bajos a moderadamente inclinados, pero también pueden ocurrir escarpas de buzamiento vertical. Las mayores estructuras

las cuales son pobremente definidas, parecen seguir la tendencia de los Andes. Por el fuerte plegamiento y la falta de afloramiento de las unidades inferiores y superiores ha sido difícil de determinar su potencia. Una variación lateral bastante reducida del Grupo Excelsior se ubica en la quebrada Chaupihuaranga. En corte de carretera Buena Vista a la quebrada Vilcacocha es bastante reducida, con areniscas grises más o menos verdosas de grano fino a grueso, aspecto micáceo, compactos en bancos medios. El piso está controlado hacia el Este por la falla Vilcacocha; mientras que el tope se halla cubierto por areniscas del Grupo Ambo.

Edad y Correlación. En el área de Cerro de Pasco no se reporta evidencias paleontológicas; sin embargo, en la quebrada Chaupihuaranga Steinmann, G. (1926) en su obra “Geología del Perú”, en Viroty próximo a Buena Vista (hoja de Ambo) reportó fauna de braquiópodos que le atribuye al Devónico. Posteriormente Boit, B. (1960) indica la presencia de braquiópodos y crinoideos con moldes ferruginosos, que indica la misma edad. En este trayecto es que Lisson, I. reportó *spirifer antarticus*. Dalmayrac, B. (1970) recolectó sobre el mismo lugar numerosas muestras fosilíferas que fueron estudiadas por Boucot, J. y Hurphy, L. (1970) quienes le atribuyen al Missisipiano inferior y no al Devónico; por el hecho de que los niveles que contienen braquiópodos, se encuentran en la base de la serie, fragmentos de plantas análogas a aquellas que son conocidas en el Missisipiano.

Grupo Pucará. Mc Laughlin, D. H. (1925) próximo al túnel de Pucará en Goyllarisquizga (hoja de Ambo) dio el término de Pucará a una caliza gris claro, brunácea y arenosa. Posteriormente se realizaron estudios de orden estratigráfico como: Steinmann, G. (1929), Harrison, J.V. (1940), Jenks, W. (1951), Boit, B. (1966) entre otros autores. Sin embargo la primera división lito estratigráfica del

Pucará lo realizó Weaver, C. (1942) en el valle de Utcubamba como: Formación Utcubamba, Chillingote y Suta. En la sierra central Megard, F. (1968) divide en tres Formaciones: Chambará, Aramachay y Condorsinga. Con esta división litoestratigráfica es como se ha cartografiado en el área de estudio, así como en la Sierra Central y Nororiental Peruano.

En el presente informe se ha diferenciado dos unidades; la primera como calizas del Grupo Pucará “indiviso” que aflora en el cuadrángulo de Ambo y alrededores de Goyllarisquizga por presentar una litología uniforme y espesor bastante reducido; y la segunda como las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga del Grupo Pucará que aflora principalmente en la parte Oriental de los cuadrángulos de Cerro de Pasco y Óndores, a lo largo del contacto entre pizarras y filitas del Grupo Excelsior, muchas veces cubriendo al Grupo Mitu

en disconformidad e infrayace en concordancia a rocas cretáceas, la amplitud de afloramiento (espesor) se incrementa de Oeste a Este, es decir de unas decenas de metros (Sector Goyllarisquizga) a miles de metros (Sector Oriental de Cerro de Pasco - Óndores), relativamente disminuyendo en el domo de Malpaso. La cuenca deposicional es controlada estructuralmente y fue activa durante la deposición de la secuencia triásica liásica.

El conjunto de rocas carbonatadas presenta una morfología suave ondulada con relieves cársticos y dolinas, ocasionalmente escarpados, encañonada como ocurre entre Chicrín y Huariaca.

Inicialmente en el área de estudio el Grupo Pucará fue diferenciado en las calizas triásicas de la Formación Chambará y calizas liásicas de Formación Condorsinga. En estudios recientes (Quispesivana, L. 1996) se reconoció la Formación Aramachay en base a criterios estratigráficos y paleontológicos; sin

embargo dado la gran amplitud lateral, consideramos que se debe realizar estudios más detallados con el fin de determinar principalmente a la Formación Aramachay que es la clave estratigráfica de esta secuencia carbonatada.

Formación Chambará. Se caracteriza por constituir una secuencia relativamente monótona de calizas masivas, color gris azulino a superficie intemperizada color amarillo cremoso, se distingue nódulos de chert de formas irregulares o lentes paralelos a la estratificación.

El cerro Uliachín está constituida por calizas potentes de color oscuro a veces bituminosa en la parte superior, alterna niveles de margas y calizas arenosas. No se observa la base debido a la existencia de una falla, sin embargo se muestra cerca del talweg y flanco oriental de la quebrada Rumiallana a unos 3 km al norte de Cerro de Pasco; en este lugar se encuentran muy sub verticales y están situadas inmediatamente encima del Grupo Excélsior.

Al Este de la falla Atacocha - Milpo se midió una sección constituida en la base por caliza gris clara compacta y masiva con intercalaciones de calizas nodulares, de chert; capas medianas a gruesas, con esporádicos niveles delgados de caliza tabular con vetillas de calcita, se caracteriza por ser muy resistente a erosión.

En la margen derecha de la quebrada Sharpa son calizas gris claras a oscuras de composición micrítica, se intercalan capas delgadas de calizas dolomíticas a dolomitas, margas y lutitas. En los niveles inferiores se presenta calizas nodulares con chert en capas medianas a gruesas con rumbo aproximado Norte - Sur, con inclinaciones de 70 - 85° al Oeste a veces verticales e invertidos.

En la región de Cerro de Pasco ocurre bastante diferenciación dentro de las calizas triásicas que han sido descritas por Jenks, W. (1951). Las



observaciones más importantes hechas por Jenks, W. fueron que la continuación al Oeste de la falla comprendió 674 m de potencia; al Este de la falla es 3152 m, ello demuestra consecuentemente que la falla de Cerro de Pasco estuvo activa durante el tiempo triásico y a la vez, existió un alto estructural en el lado Occidental (Goyllarisquizga). No se ha medido secciones en los afloramientos entre el Lago de Junín y el domo de Malpaso, pero las calizas triásicas son ciertamente gruesas y es posible que la línea de Malpaso tuvo similar efecto sobre la estratigrafía como la falla de Cerro de Pasco.

El contacto con el Grupo Mitu es discordante e infrayace en contacto concordante a la Formación Aramachay.

Edad y Correlación. La fauna de las rocas calcáreas de Uliachín ha sido parcialmente descrita por Lisson, Jaworski y Steinmann.

En un horizonte de aproximadamente 600 m de potencia Boit, B. (1940) encontró ejemplares mal silicificados de *Myophoria* que lo determina como *Myophoria lissoni* Steinmann que corresponde al Noriano. Así mismo en la hacienda Huanca las capas más bajas contienen algunas *Myophorias*, como abundantes *Spiriferinas*.

De acuerdo a los reportes paleontológicos se considera como del Noriano - Retiano.

Formación Aramachay. Se caracteriza por presentar calizas tabulares del orden menor de 15 cm, de color gris oscuro a bituminoso con niveles margosos y pelíticos negros con abundante material orgánico con la presencia de fósiles que caracterizan a esta unidad. El grosor es variable de un lugar a otro, pero se estima en 50 m (quebrada Atacocha); por lo general es bastante delgado. Constituye el horizonte guía para determinar las formaciones Chambará y Condorsinga. Las

capas se presentan pobremente expuestas por la poca resistencia a la erosión, sin embargo, presenta gran amplitud lateral en la cuenca carbonatada triásica - jurásica, que se extiende al Este de Cerro de Pasco y Óndores donde se observa sus mejores afloramientos a manera de capas delgadas alineadas a veces plegadas del Grupo Pucará. Así en la quebrada Atacocha se encuentra comprimida por estratos subverticales (Chambará - Condorsinga) presenta calizas bituminosas compactas gris oscuras en bancos medios con presencia de fósiles en margas oscuras. Mientras que en la quebrada Sharpa se tienen calizas muy laminares gradando al techo a calizas tabulares muy bituminosas con lutitas negras de olor fétido con abundante cantidad de fauna sobreyace e infrayace en posición concordante.

Edad y Correlación. La Formación Aramachay no fue inicialmente reconocida en el área de estudio; por tal motivo es que existen pocos escritos al respecto, sin embargo, en trabajos realizados por Guizado, J. (1991) en el asiento minero de Milpo indica la siguiente fauna de ostreas, braquiópodos y tallos.

De acuerdo a estos indicios paleontológicos a la Formación Aramachay se le asigna al Sinemuriano.

Formación Condorsinga. Presenta sus afloramientos en la parte Oriental de los cuadrángulos de Cerro de Pasco y Óndores constituidos por calizas grises en capas delgadas, ligeramente masivos bien estratificados con ciertas intercalaciones de calizas dolomíticas.

En la quebrada Atacocha presenta calizas beige a gris, comprende en bancos de grano medio, masivo, al tope degrada a marga gris blanquecina a rojiza, ocasionalmente contiene nódulos de chert e incipiente estratificación sesgada, indicando depositación poco profunda es decir somera y sometidos a condiciones

de energía, así lo demuestra en algunos cortes en el cerro Paraíso y laguna Cutaycocha (Este de Ninacaca). En Huayhuay (ruta a Huachón) se observa formando un sinclinal asimétrico, con estructuras locales falladas y flexuradas.

El espesor de la formación varía de 500 m en el área de Cerro de Pasco a más de 1500 m al SE de Óndores disminuyendo en el domo de Malpaso.

Muchas veces el tope de la Formación Condorsinga se encuentra fallado por estructuras regionales de dirección andina, como ocurre en Ninacaca y Carhuamayo; en ocasiones ocupa el núcleo de sinclinales limitado en los flancos por la Formación Aramachay.

Esta unidad suprayace en concordancia a las calizas de la Formación Aramachay e infrayace a areniscas del Grupo Goyllarisquizga en la misma posición.

Edad y Correlación. Megard, F. (1968) publicó una lista de fósiles de la formación y consideró una edad de Sinemuriano superior a Toarciano superior, tal vez alcanzando más arriba como el Aaleniano inferior.

En Milpo (Guizado, J. 1991) reporta el braquiópodo *Astarte andium* del piso Domeriano. Mientras que en la quebrada Atacocha (Quispesivana, L. 1996) encuentra *Astarte* sp de edad jurásica; sin embargo, estos fósiles no son guías bioestratigráficos precisos; por lo que consideramos tan solamente su posición estratigráfica bien definida encima de la Formación Aramachay e infrayacente al Grupo Goyllarisquizga.

En base a este criterio consideramos al Liásico inferior.

Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo Inferior). Inicialmente denominado como “areniscas Goyllarisquizga Jatunhuasi” Mc Laughlin, D. H. (1924), posteriormente Jenks, W. (1951) dio el nombre de Formación Goyllarisquizga;

Wilson, J. (1963) la elevó a la categoría de grupo, indicando toda la serie clásica y calcárea que aflora en la cuenca cretácea occidental del Centro y Norte andino del Perú; denominados como formaciones: Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

Presenta sus mejores afloramientos en Goyllarisquizga lugar de donde proviene su nombre, constituido en la base por areniscas blanquecinas, en estratos medios con niveles delgados de conglomerados; estratificación cruzada y sesgada, grano medio a fino; de aproximadamente 90 m de espesor. A continuación, se tiene lutitas bituminosas con niveles de carbón, con estratificación laminar aproximadamente 40 m de potencia; donde se ubica las minas de carbón de Goyllarisquizga; subiendo la secuencia se observa aproximadamente 25 m de areniscas rojas de grano medio con delgada capa de micro conglomerado. Presenta estratificación cruzada, siendo característico el color rojizo; al tope se tiene alternancia de areniscas blanquecinas, blancas, amarillentas. La textura es sacaroide por lo general presenta granos medios a gruesos, subangulosos a subredondeados de origen netamente fluvial; el cemento puede ser sílice, limonita, calcita o solamente arcilla en pequeñas cantidades de manera que la roca presenta compactidad incipiente.

Descansa directamente en discordancia sobre los grupos infrayacentes Excelsior, Ambo y Mitu y concordantemente sobre el Grupo Pucará, infrayace a las calizas de la Formación Chúlec.

Formación Casapalca (Terciario Inferior). Esta unidad aflora extensamente sobre el geoanticlinal del Marañón con varios cientos de metros de potencia (Mc Laughlin, D.H., 1924). En el área es conocida como Formación Pocobamba. Está constituida por lutitas, limolitas, areniscas de colores rojo ladrillo, Hacia la base presenta niveles de conglomerados con clastos de calizas,

areniscas rojas, intrusivos y esquistos subangulares; hacia el tope se observa predominancia de calizas blanquecinas con intercalaciones de areniscas conglomerádicas rojizas.

Miembro Inferior. Constituido por lutitas rojas, areniscas semi consolidadas de color verde grisáceo a rojizo, conglomerados con varias capas y lentes de calizas. Se expone en la parte terminal Norte del sinclinal de Cacuán a 5 km al NO de Cerro de Pasco. Se estima una potencia de 300 a 330 m.

Conglomerado Shuco. El nombre proviene del Cerro Shuco (NE de Quiulacocha). Infrayace al miembro Calera en la ruta Calera a Vista Alegre constituido por conglomerados resistentes, con clastos de calizas, cuarcitas, chert, areniscas rojas y filitas; englobada en una matriz calcárea, brechada, los fragmentos presentan bordes sub angulares, de tamaños variables, de unos pocos centímetros a cerca de 1.5 m de diámetro. La potencia varía entre 150 y 200 m.

Miembro Calera. En la base presenta margas y lutitas en estratos delgados, gradando a calizas y dolomías con nódulos de chert, con espesor aproximado de 60 a 65 m. En la parte media está compuesta por calizas, y margas con intercalaciones de lutitas con estratificación delgada; en este nivel se emplaza la mineralización de Colquijirca. Se estima en 53 m su potencia. Hacia el tope presenta calizas y dolomitas con nódulos de chert en estratos medios de color gris blanquecino (Alegre, F., 1986).

Cabe indicar, que la Formación Casapalca no fue posible diferenciarla en sus tres miembros, por estar cubierta en muchos lugares con depósitos cuaternarios. Siendo de litología variable diferente a las rocas cretáceas, se considera de aguas deltaicas de poca profundidad o depósitos continentales, siendo la probabilidad de haber sido derivado de suelos crecientes del Oeste en la

zona del geosinclinal; calizas en capas y lentes están presentes en algunas áreas, las cuales son de origen de agua fresca y contienen algas.

Edad y Correlación. En el desarrollo del presente estudio, no se han reportado evidencias paleontológicas; sin embargo, Pilsbry, H. (1947) determina dos especies de *Drepanotrema* que no ayudan a la determinación de edad.

Haas, O. (1948) descubre *Charophyte örögonia* que después fue estudiado por Peck, R. (1948), quien considera que estas carofitas son del Cretáceo Superior-Terciario Inferior por ser muy similar a *Actochara mitella* Peck y Reker, descrito en la Formación Evanston de Wyoming (USA).

Sobreyace aparentemente en concordancia sobre la Formación Celendín e infrayace en discordancia a los volcánicos del Grupo Calipuy y tufos Huayllay.

Por su relación estratigráfica y evidencia paleontológica se considera haberse depositado desde el Cretáceo hasta el Paleógeno temprano.

Se denomina así a una secuencia de rocas de naturaleza volcanoclástica: aglomerados Rumillana (Cerro de Pasco) y Toba Unish (Marcapunta), por tener similitud litológica, edad y modo de emplazamiento.

Volcánico Rumillana. El aglomerado Rumillana se ubica en la mitad oriental del cuello volcánico del yacimiento de Cerro de Pasco. Es de color gris oscuro, constituido por fragmentos angulosos y subangulosos de caliza, filita y chert en 90% y roca ígnea porfirítica fuertemente alterada en 10%. La abundancia relativa de los tipos de clastos varía de lugar y la matriz generalmente contiene material volcánico inconsolidado incluyendo cristales de biotita y plagioclasa cementados por calcita. Localmente se presenta finamente estratificado con algunos canales de estratificación cruzada, algunas veces masivo.

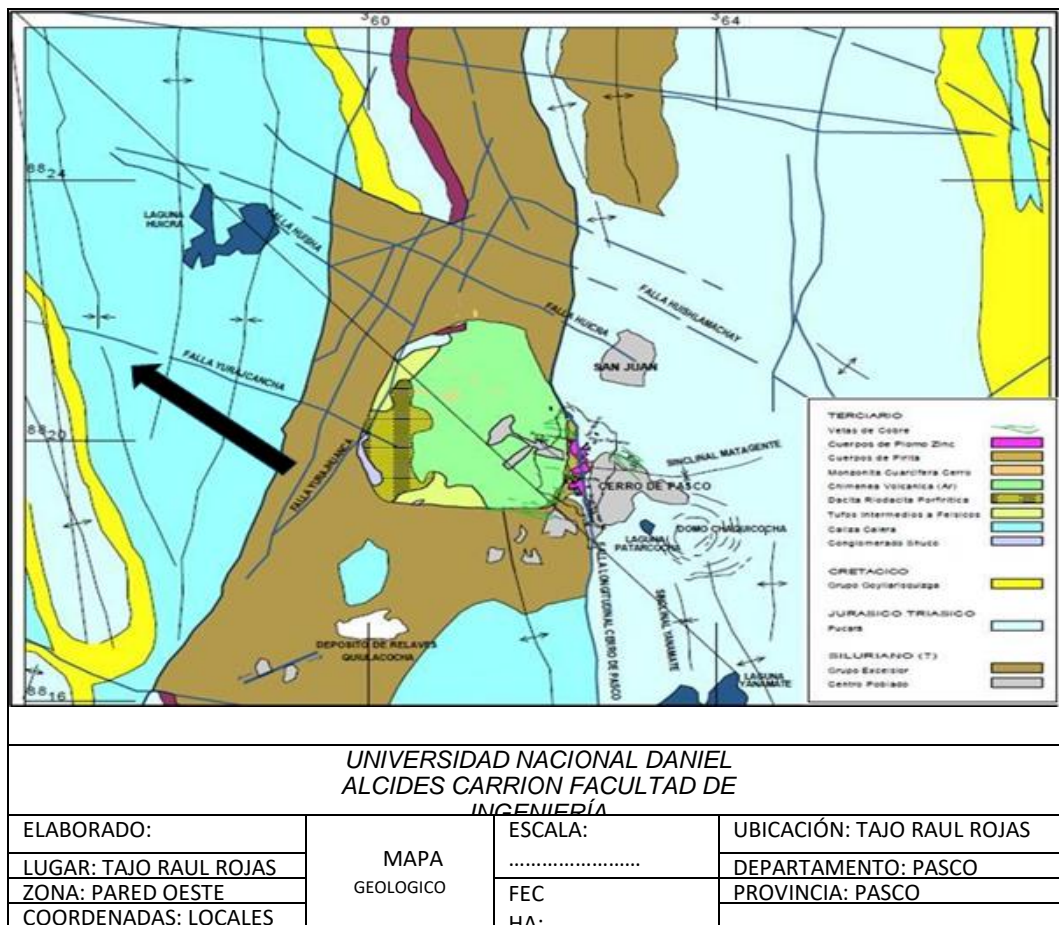
Hacia el lado occidental del cuello volcánico está compuesto por tobas blancas con fina estratificación que no muestra evidencia de deformación, constituido por cuarzo feldespato con variable cantidad de biotita, hornblenda, epidota y calcita como material cementante (Alvarez, A., 1996).

La unidad Tufos Unish está constituida por piroclastos y lavas que conforman el flanco Sur y Este del volcán Marcapunta; mientras que al Centro y Oeste afloran domos de composición dacítica a cuarzo-latítica. Hacia los extremos (Sur y Norte) ocurren brechas marginales que poseen una mezcla de clastos y bloques de basamento sedimentario y metamórfico sin evidenciar estructuras de sedimentación. La matriz es ígnea con fenocristales soldados o piroclástica de grano fino (Vidal, C. et al, 1984).

Edad y correlación. La actividad volcánica del centro volcánico de Cerro de Pasco estuvo activa casi al mismo tiempo que el volcán Marcapunta, que se encuentra separado a una distancia de 10 km. (Noble, D. y Silberman, M., 1977). En el centro volcánico Marcapunta, al parecer la actividad hidrotermal es coincidente con las brechas y posterior a los domos, habiéndose datado en  $10.8 \pm 0.3$  M.A.

Rocas intrusivas. Intrusivos de composición andesítico-dacítica variando a monzonita cuarcífera intruye a los aglomerados Rumillana, ubicado en Paragsha, lado Oeste del tajo de Cerro de Pasco, están cortados por diques de cuarzo monzonita que atraviesa la parte central del cuello volcánico, en la última etapa de pulsación estuvo acompañado de la actividad de alteración hidrotermal.

**Figura 2 Plano de Geología distrital de Cerro de Pasco**



## 2.3. Definición de términos básicos

### Anomalía

Irregularidad o anomalía con relación a lo habitual.

### Caverna

Es una abertura natural subterránea causada por algún tipo de erosión y se forman por la disolución de una roca calcárea.

### Karstificación

Es la consecuencia de la meteorización química por acción del agua sobre rocas carbonatadas, tales como la caliza de disolución y como resultado se observan diferentes formas.



**Peligro**

Es una condición potencial que puede causar lesión o enfermedad, daño a la propiedad y/o paralización de un proceso.

**Prospección geofísica**

Es un conjunto de métodos que se utilizan para deducir las características del subsuelo, mediante la observación de fenómenos físicos relacionados con la estructura geológica del subsuelo.

**Método de georadar**

Método que accede descubrir y situar capas del subsuelo con alta exactitud, producto de los cuales se puede modelar cartografías del subsuelo.

**Perfil**

Es el conjunto de las trazas obtenidas a lo largo de una línea sobre la superficie del suelo.

**Radargrama**

Es una representación gráfica de la información percibida por un radar.

**Vulnerabilidad**

Implica fragilidad, una situación de amenaza o posibilidad de sufrir daño.

**Zona Karstica**

Son cavidades subterráneas, que pueden estar comunicados con la superficie terrestre o cerradas, que se forman durante la lixiviación de rocas calcreas. Son cavidades naturales, que tienen límites claros y aparecen en las rocas kársticas insaturadas y saturadas de agua suprayacentes.

## 2.4. Formulación de Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

La aplicación del método de georadar permite detectar la presencia de cavidades o zonas de karstificaciones en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- Si se aplica adecuadamente el método de georadar se caracteriza el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco.
- Si se determina la presencia de cavidades y otras estructuras en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco se identifica áreas expuestas al peligro.

## 2.5. Identificación de variables

**Variable independiente:** Método de Georadar

**Variable dependiente:** Detección de cavidades subterráneas

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

*Tabla 1 Operacionalización de variables*

| Variables                           | Definición conceptual   | Definición operacional  | Dimensiones        | Indicadores                   | Instrumentos                  |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Método de Georadar                  | Método que fundamenta en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas en un medio, con la posterior recepción de las reflexiones que se producen en sus discontinuidades | Técnica geofísica que se aplica en la prospección utilizando el equipo Georadar | Líneas de georadar | Numero de registros Reflexión | Ficha de observación directa. |
| Detección de cavidades subterráneas | Localización de espacios abiertos como resultado de un proceso de karstificación  | Procesamiento de ondas electromagnéticas utilizando software                    | Intendencias       | Discontinuidades/profundidad  | Radargrama                    |

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Es una investigación aplicada, porque busca la aplicación de los conocimientos para identificar cavidades en el subsuelo y poder interpretarlos.

#### **3.2. Nivel de investigación**

La investigación es de nivel descriptivo porque se describió eventos o sucesos ocurridos sin intervención, detallando sus características, las que posteriormente fueron analizadas

#### **3.3. Métodos de investigación**

La investigación es un estudio analítico, pues se determinaron la presencia de cavernas y otras discontinuidades, cuales fueron interpretados utilizando softwares geofísicos y finalmente aplicar el reconocimiento de áreas vulnerables.

#### **3.4. Diseño de Investigación**

Es de diseño no experimental transversal, porque no existirá manipulación de la variable y sólo se observará el fenómeno en su ambiente natural para luego ser interpretado, considerando el siguiente diseño:

$$M1 \longrightarrow O1$$

Donde:

M1= número muestras tomadas en que se realiza el estudio

O1= información obtenida.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población está representada por toda la extensión de la ciudad de Cerro de Pasco, por donde se realizó el levantamiento geofísico que comprenden los 7 tramos ubicados en los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, con un total de 13 747 m<sup>2</sup> siendo 7394 metros con antena de 100 MHz y 6 353 metros con antena de 500 MHz.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra representa todos los datos geofísicos obtenidos por el método de Georadar, los cuales corresponden los parámetros de levantamiento de campo con antena de 500 MHz con 680 muestras de lecturas y los parámetros de levantamiento de campo con antena de 100 Mhz con 872 muestras de lecturas. En la toma de muestra se empleó el método no probabilístico.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para realizar las investigaciones geológicas se utilizará las siguientes técnicas:

- **Revisión documental.** Consiste en la búsqueda de información geológica y geotécnica del área de estudio
- **Observación de Campo.** Tendrá en cuenta los datos de campo y las observaciones directas en el campo.
- **Técnica indirecta:** Estudios con los métodos geofísicos

Los instrumentos a utilizar serán:

- Guía de análisis documental
- Guía de observación

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para proceder a la recolección de datos inicialmente se requerirá el permiso respectivo del responsable del proyecto. Luego que se haya aceptado la petición se comenzará con la recolección de datos que consiste en ordenamiento y clasificación, registro y procesamiento computarizado con Excel y luego utilizar el software geofísico Reflex2DQuick.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

El tratamiento del Radargrama se realizará con el software Reflex2DQuick, para definir de forma cualitativa y cuantitativa las impedancias y/o cambios abruptos de las señales obtenidas durante el levantamiento de campo, y contactos más resaltantes; con el resultado se procede a la interpretación de cada uno de ellos.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

Para llevar a cabo las mediciones con el Georadar y obtener información del subsuelo de la zona que se desea explorar, se seleccionó previamente una serie de parámetros que son fundamentales como muestras, antena, fuente de activación, posición de la señal, intervalo y la frecuencia. para que la exploración tenga éxito. En el trabajo de campo se definió la posición con la dirección y punto de inicio del recorrido de cada perfil.

Seguidamente, se procedió a instalar el equipo conectando la antena (100 MHz ó 500 MHz) con el distanciómetro y la unidad de control a la Monitor XV. Antes del inicio se realizó una calibración de muestreo y se determinó una velocidad “in situ”, para el alcance de penetración de las ondas electromagnéticas. En el presente trabajo se realizó un total de: 7394 metros con Antena de 100 MHz 6353 metros y con Antena de 500 MHz, distribuidos de la siguiente manera:

| Frecuencia (MHz) | Resolución   | Profundidad (m) | Tipo de investigación                                |
|------------------|--------------|-----------------|--|
| 100              | Media a baja | 15-20           | Campañas geológicas y geotécnicas                    |
| 250              | Intermedia   | 6-8             | Detección de elementos enterrados                    |
| 500              | Media a alta | 5-6             | Detección de elementos enterrados, arqueología, vías |
| 800              | Alta         | 1-2             | Campañas a detalle                                   |

#### **Antena con frecuencia de 100 MHz. (Megahertz)**

- Tramo GPR 01: 941 m.
- Tramo GPR 02: 1646 m.
- Tramo GPR 03: 1280 m.
- Tramo GPR 04: 581 m.
- Tramo GPR 05: 957 m.
- Tramo GPR 06: 388 m.
- Tramo GPR 07: 1772 m.

#### **Antena con frecuencia de 500 MHz. (Megahertz)**

- Tramo GPR 01n: 911 m.
- Tramo GPR 02: 1410 m.
- Tramo GPR 03: 1290 m.
- Tramo GPR 05: 856 m.
- Tramo GPR 06: 222 m.
- Tramo GPR 07: 1660 m.

Asimismo, a los perfiles de Georadar se programó una recolección de data en intervalos que están entre 0.20m y 0.030m, con la finalidad de generar una densificación aceptable de datos, para optimizar las anomalías.

El proceso metodológico correspondiente a la identificación de la vulnerabilidad se basó en el Programa de Ciudades Sostenibles, considerando las siguientes etapas:

**Primera etapa. Organización y preparación del estudio.** Consistió en la recopilación y revisión de información existente de datos realizados por anteriores contratistas sobre la ciudad en estudio, y de su contexto regional; preparación de los instrumentos operativos para el trabajo de campo y el desarrollo del estudio, reconocimiento y levantamiento de información preliminar.

**Segunda etapa: Formulación del diagnóstico situacional.** Tiene cuatro componentes principales:

- a) **Evaluación de peligros (p).** Se identificó los peligros de origen natural y tecnológico que podrían tener impacto sobre la ciudad y su entorno inmediato, comprendiendo dentro de este concepto a todos “aquellos elementos del medio ambiente o entorno físico, perjudiciales al hombre y causados por fuerzas ajenas a él”, así como los peligros tecnológicos, es decir aquellos originados por actividades humanas. Se obtiene los correspondientes Mapas síntesis del Peligros. Plano n°
- b) **Evaluación de vulnerabilidad (V).** Permitió determinar el grado de afectación y pérdida, que podría resultar de la ocurrencia de un evento adverso o de algún peligro natural en la ciudad. Se obtiene el Mapa de Vulnerabilidad de la ciudad, en el que se determinan las zonas de Muy Alta, Alta, Media y Baja Vulnerabilidad, según sea el tipo de fenómeno evaluado. Esta evaluación se realizó en el área ocupada de la ciudad, analizándose diferentes tipos de variables para determinar las áreas más vulnerables.

**Asentamientos Humanos.** Análisis de la distribución espacial de la población (densidades), tipología de ocupación, características de las viviendas, materiales, estado de la construcción, etc.



**Servicios y Líneas Vitales.** Instalaciones más importantes de los sistemas de agua potable, desagüe, energía eléctrica, sistema vial, transportes y comunicaciones; y servicios de emergencia como hospitales, estaciones de bomberos y comisarias.

**Lugares de Concentración Pública.** Evaluación de colegios, iglesias, coliseos, mercados públicos, estadios, universidades, museos, y demás instalaciones donde exista una significativa concentración de personas en un momento dado. Se analiza el grado de afectación y daños que podrían producirse ante la ocurrencia de un fenómeno natural y situación de emergencia

**Patrimonio Cultural.** Evaluación de los bienes inmuebles, sitios arqueológicos y edificación de interés arquitectónico que constituyen el legado patrimonial de la ciudad.

**Infraestructura de Soporte.** Evaluación de la infraestructura de soporte, que permite el desarrollo de actividades económicas.

- c) **Estimación del riesgo (R).** Corresponde a la evaluación conjunta de los peligros que amenazan la ciudad y la vulnerabilidad ante ellos. El Análisis de Riesgo es un estimado de las probabilidades de pérdidas esperadas para un determinado evento natural. De esta manera se tiene que:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

La identificación de Sectores Críticos como resultado de la evaluación de riesgos, sirve para estructurar la propuesta del Plan, estableciendo criterios para la priorización de los proyectos y acciones concretas orientados a mitigar los efectos de los fenómenos naturales.

**d) Síntesis de la situación actual.** Se desarrolla en base a las condiciones peligro, vulnerabilidad y riesgo, vislumbrando un escenario de probable ocurrencia si es que no se actúa oportuna y adecuadamente.

**Tercera etapa. Formulación de la propuesta.** Sobre la concepción de la imagen objetivo de la ciudad desde el punto de vista de la seguridad física y en atención a las tendencias, escenarios de riesgos y posibilidades de crecimiento y desarrollo, se formula la Propuesta conformado por tres grandes componentes:

El Plan de usos del Suelo ante Desastres por condiciones naturales de uso, pautas técnicas de construcción y habilitación y la identificación de proyectos de prevención y mitigación de desastres.

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **4.2.1. Parámetros de levantamiento del Radar de Penetración de Suelos**

**(GPR)**

***Tabla 2 Parámetros de levantamiento con antena de 500 Mhz***

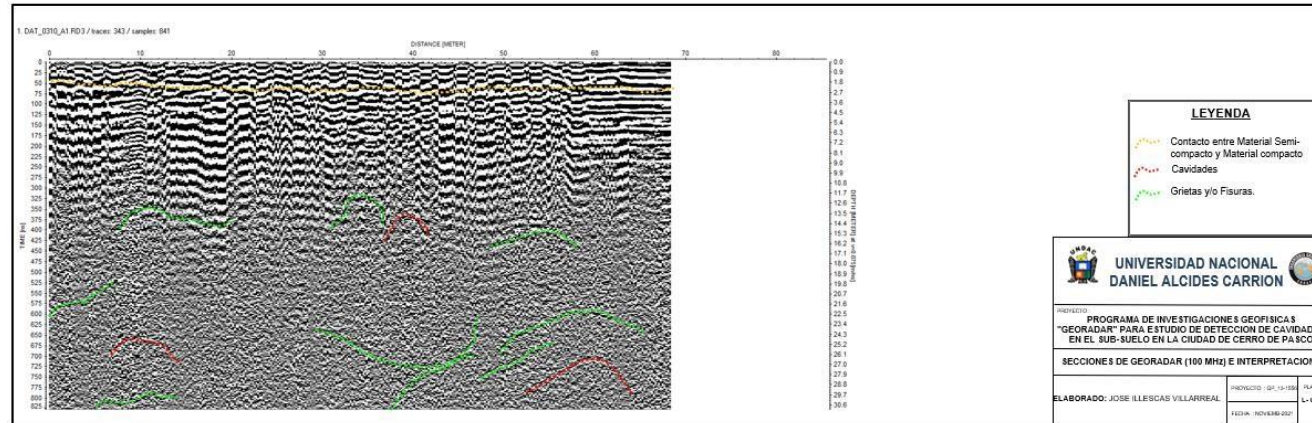
| <b>Descripción</b>      | <b>Características</b>     |
|-------------------------|----------------------------|
| Muestras                | 680                        |
| Frecuencia              | Variable por tipo de suelo |
| Posición de la señal    | -504 (ns)                  |
| Ventana de tiempo       | Variable                   |
| Fuente de la activación | Distanciómetro             |
| Intervalo               | 0.020 m                    |
| Antena                  | 500 Mhz                    |
| velocidad               | 0.75 (m/ns)                |

***Tabla 3 Parámetros de levantamiento con antena de 100 Mhz***

| <b>Descripción</b>      | <b>Características</b>               |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Muestras                | 872                                  |
| Frecuencia              | Variable por tipo de roca            |
| Posición de la señal    | -1119 (ns)                           |
| Ventana de tiempo       | Variable por perfil de investigación |
| Fuente de la activación | Distanciómetro                       |
| Intervalo               | 0.20 m                               |
| Antena                  | 100 Mhz                              |
| velocidad               | 0.70 (m/ns)                          |

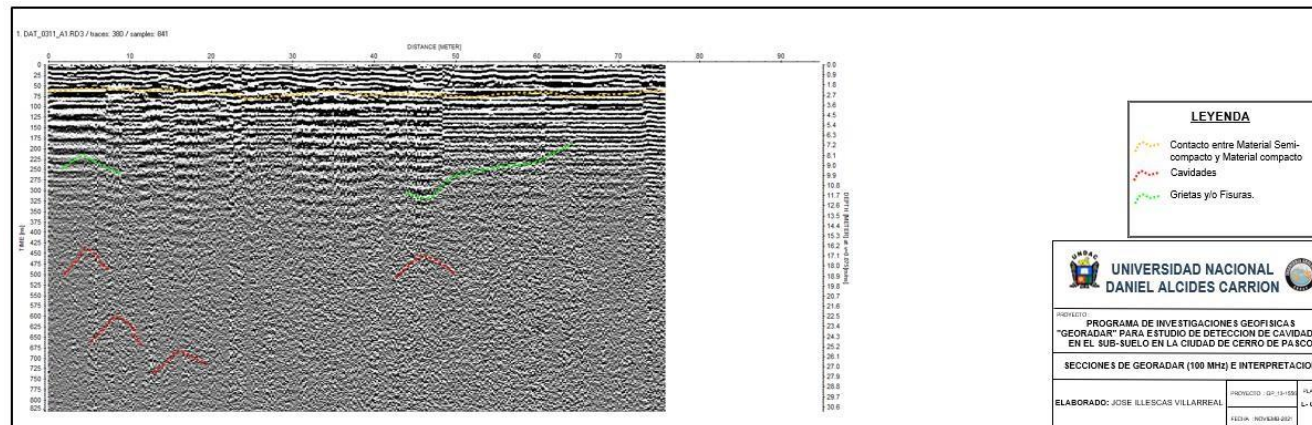


**Figura 4** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-C



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

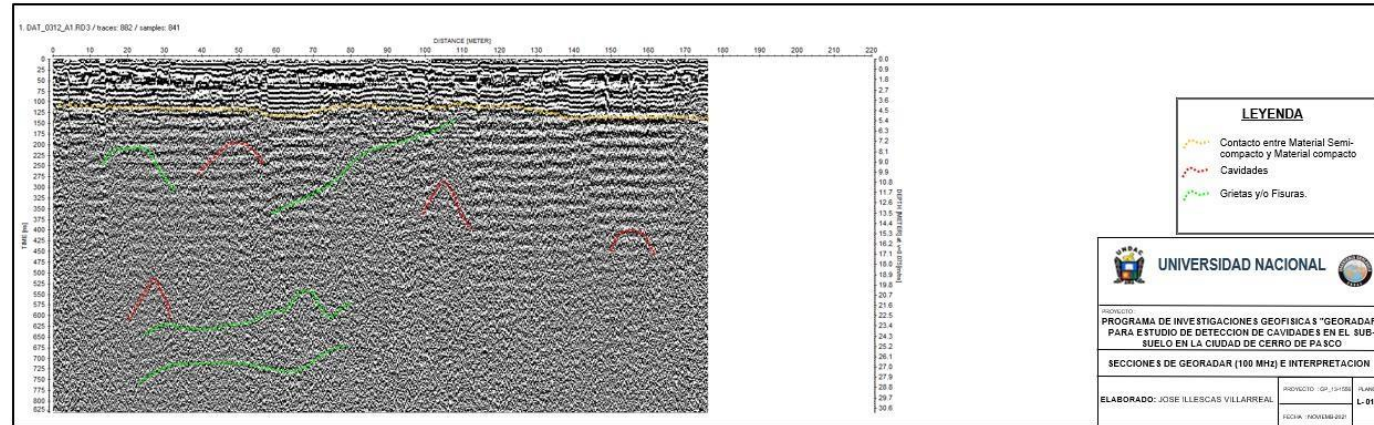
**Figura 5** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-D



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

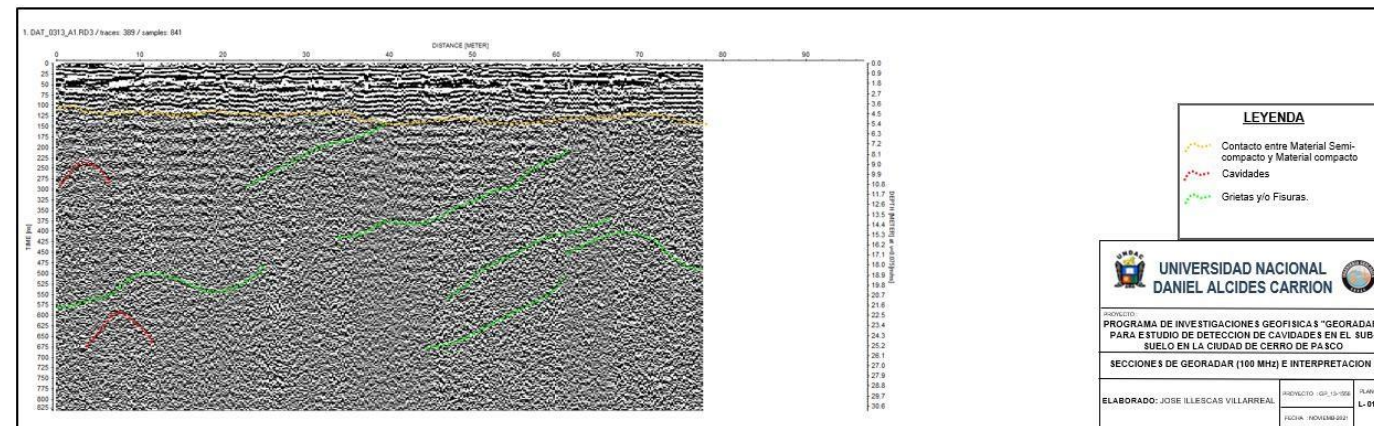


**Figura 6** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-E



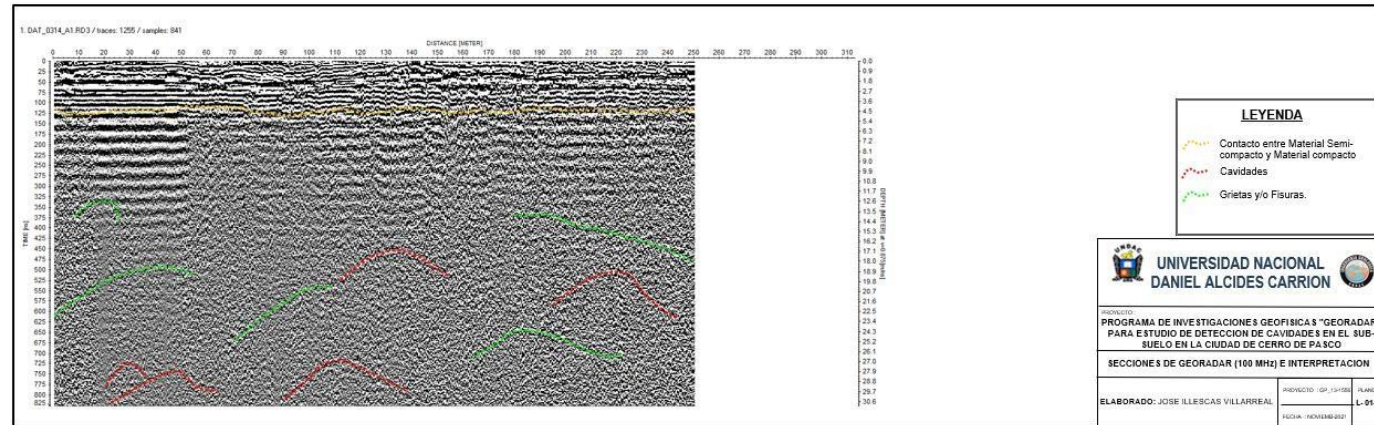
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 7** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-F



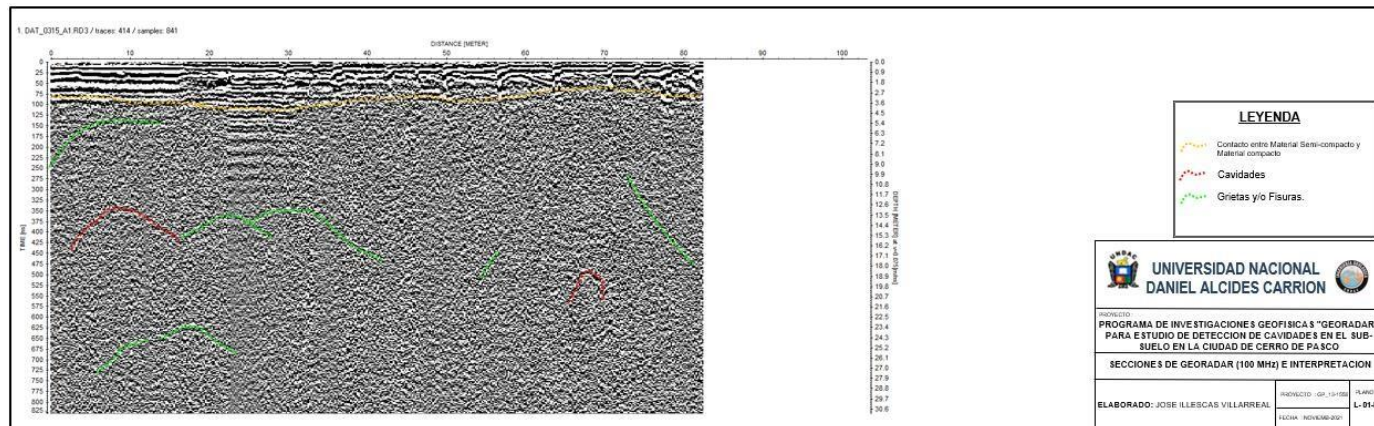
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR

**Figura 8** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-G



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 9** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-01-H



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR

Para su mejor análisis e interpretación de los perfiles longitudinales de los Radargramas se ha establecido como convención la siguiente leyenda:

- a. Crema: Contacto entre asfalto y material de relleno semi-compacto.
- b. Amarillo: contacto entre Material semi-compacto y material compacto
- c. Rojo: Cavidades.
- d. Verde: Grietas y/o fisuras.

En general, para la interpretación de cada sección se realizó a través del Software Reflex2DQuick, para definir de forma cualitativa y cuantitativa las impedancias y/o cambios abruptos de las señales obtenidas durante el levantamiento de campo, y contactos más resaltantes; con el resultado se procede a la interpretación de cada uno de ellos.

### **Procedimiento de GPR**

**Análisis de la velocidad.** Este proceso es el primer paso para definir el tipo de velocidad, dado que depende directamente la precisión de profundidad y el número de trazas que se emitirán durante el levantamiento de cada sección.

En caso no visualizar y/o conocer el terreno de trabajo se puede acudir a cuadros con valores de la velocidad medidos en condiciones de laboratorio o de campo. Este tipo de estimación es útil para un cálculo rápido y comprobación directa (específicamente para trabajos arqueológicos), aunque los valores obtenidos pueden resultar poco confusos debido al enmascaramiento de un material superficial (Concreto, Agua, Lodo).

**Procesamiento de Datos.** Para un adecuado proceso y óptima interpretación de cada sección; los filtros usados en el software son los siguientes:

**Subtract-DC-shift.** Con esta opción se activa la media cero, es decir, la sustracción de un tiempo existente es calculada en función al desplazamiento constante en profundidad de cada traza.

**Static correction.** Usa el tiempo igual a cero para el momento de la llegada de la onda de aire a la antena receptora. Posterior a esto, todas las trazas en un mismo perfil deberían coincidir en un mismo tiempo cero.

**Band pass butterworth.** Este filtro se aplica con la intención de preservar las frecuencias contenidas en la banda de 100 a 760 MHz y suprimir frecuencias que son menores o mayores que el rango de frecuencia deseado.

**Background.** Este filtro realiza una sustracción de una traza promediada, una eliminación de dicho fondo. Con esta opción se puede eliminar el ruido existente en todo el perfil, por lo que, posiblemente, hace señales visibles, antes cubiertas por este ruido.

**Interpretación.** Para este estudio; se realizó 7 secciones de variadas distancias con una profundidad de 30 m con la antena de 100 Hz y 6 secciones de 5 m con la antena de 500 Hz investigación.

- Antena 100 MHz.
  - Tramo GPR 01: 941 m.
  - Tramo GPR 02: 1646 m.
  - Tramo GPR 03: 1280 m.
  - Tramo GPR 04: 581 m.
  - Tramo GPR 05: 957 m.
  - Tramo GPR 06: 388 m.
  - Tramo GPR 07: 1772 m.
- Antena 500 MHz.



- Tramo GPR 01: 911 m.
- Tramo GPR 02: 1410 m.
- Tramo GPR 03: 1290 m.
- Tramo GPR 05: 856 m.
- Tramo GPR 06: 222 m.
- Tramo GPR 07: 1660 m.

De acuerdo a los procedimientos de interpretación de cada sección de GPR se ha identificado las reflexiones de las ondas electromagnéticas que corresponden a la ubicación del área de estudio.

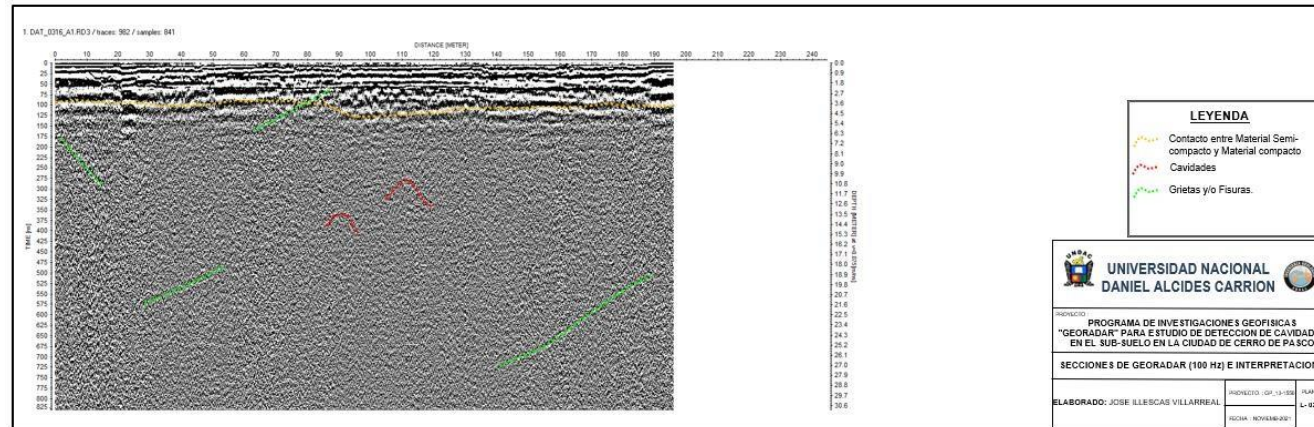
En ese sentido con el software utilizado se pudo delimitar las estructuras como en el caso de cavidades a aquellas que son mayores a 0.5 metros. Por lo que en la línea 1 se encontró 22 cavidades y 28 grietas siendo de mucho cuidado el que se encuentra en la Radargrama L-01- F y L-01-H (grietas muy divergentes).

**Figura 10** Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-02



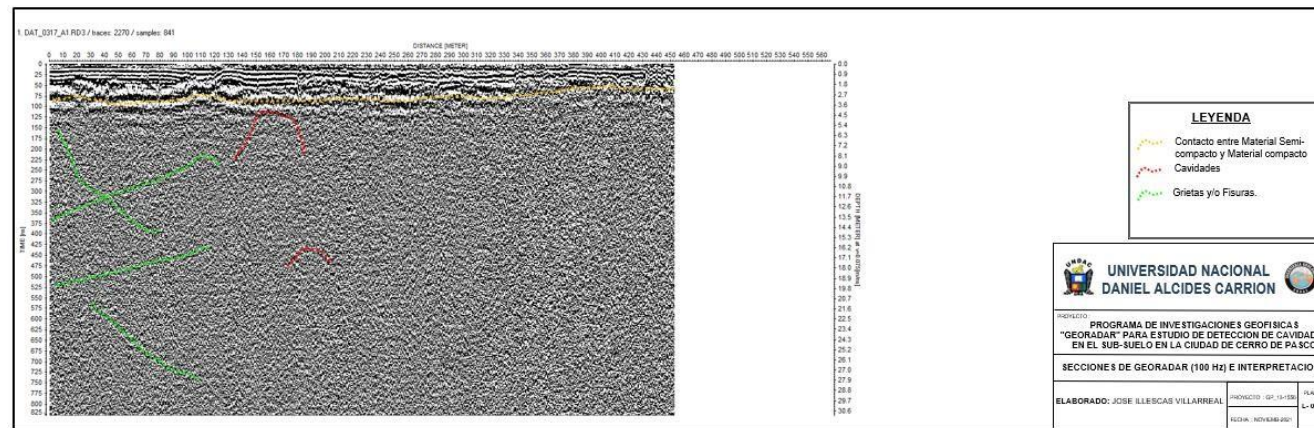


**Figura 11** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-A



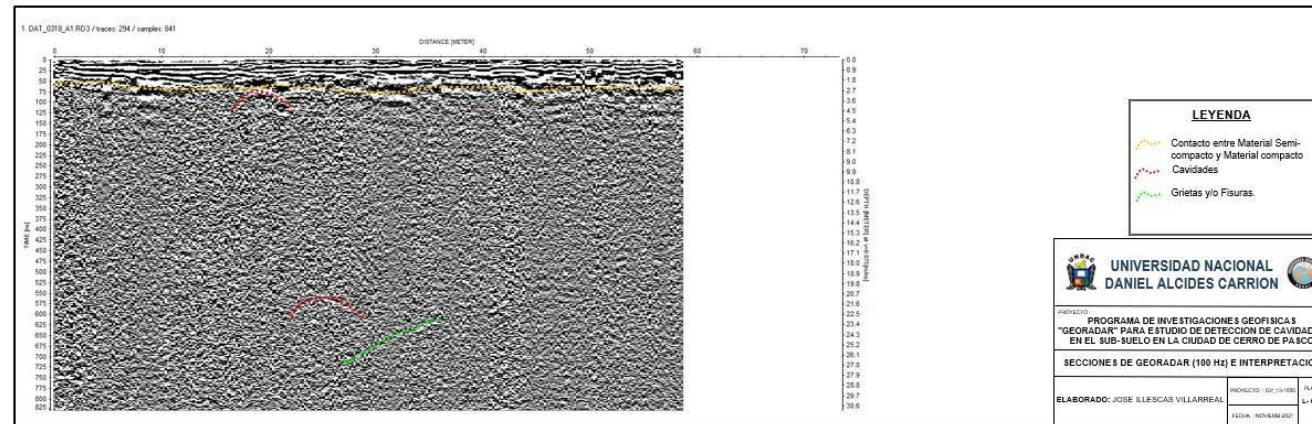
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 12** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-B



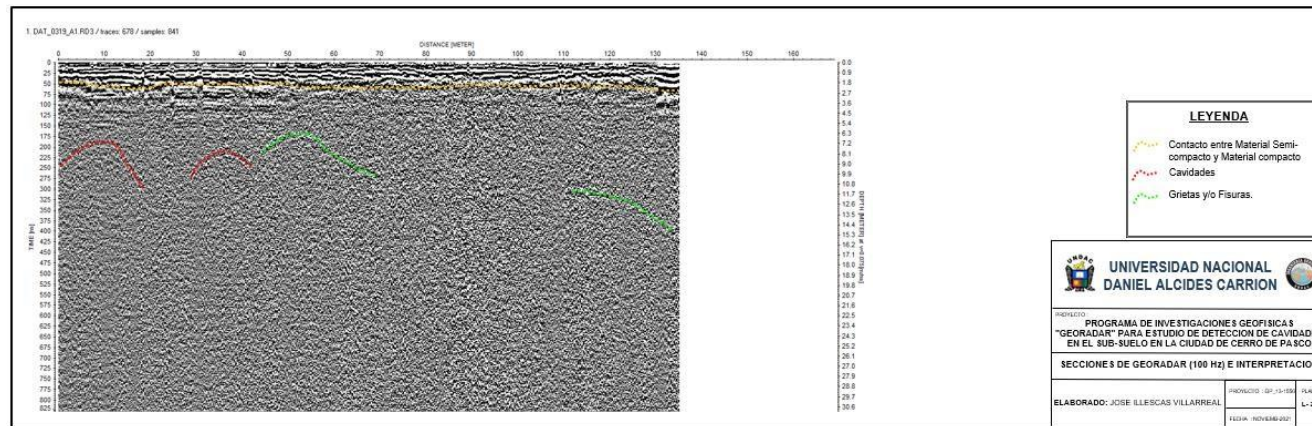
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 13** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-C



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

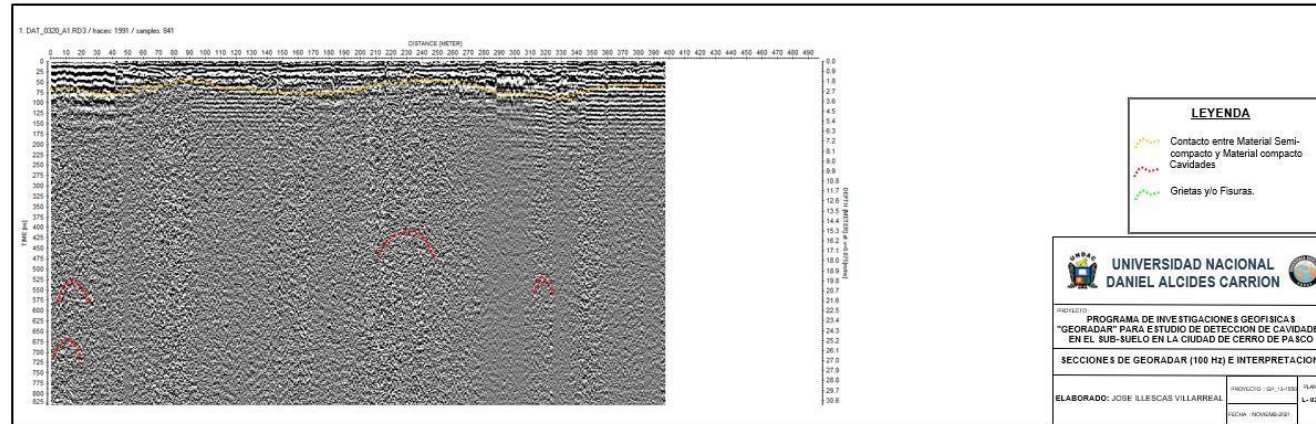
**Figura 14** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

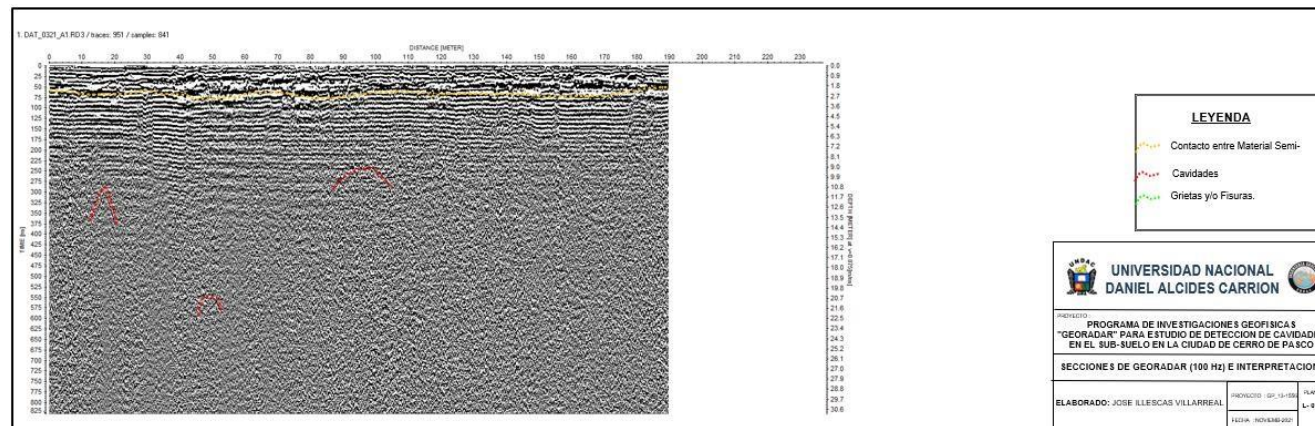


**Figura 15** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-E



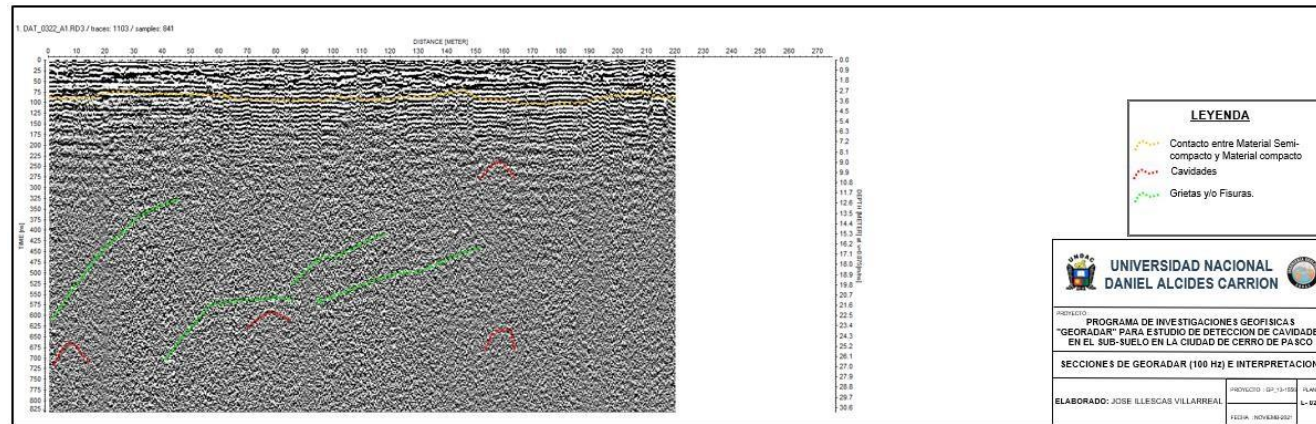
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 16** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-02-F



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 17** Imagen de la sección de Georadar (100 Hz) – L-02-



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

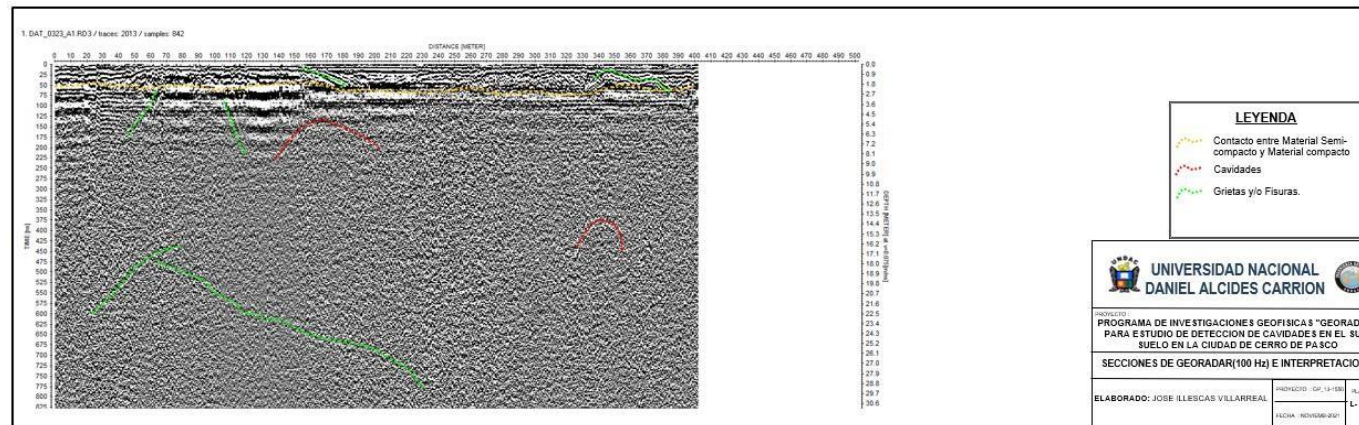
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 2 se encontró 20 cavidades y 13 grietas, considerando que una grieta atraviesa el terreno semi compacto (L-2-A), asimismo se debe indicar que existen 2 grietas que se interceptan (L-2-B) y finalmente exsiste una grieta de aprox. 50 m de extensión (L-2-G).

Figura 18 Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-03-A



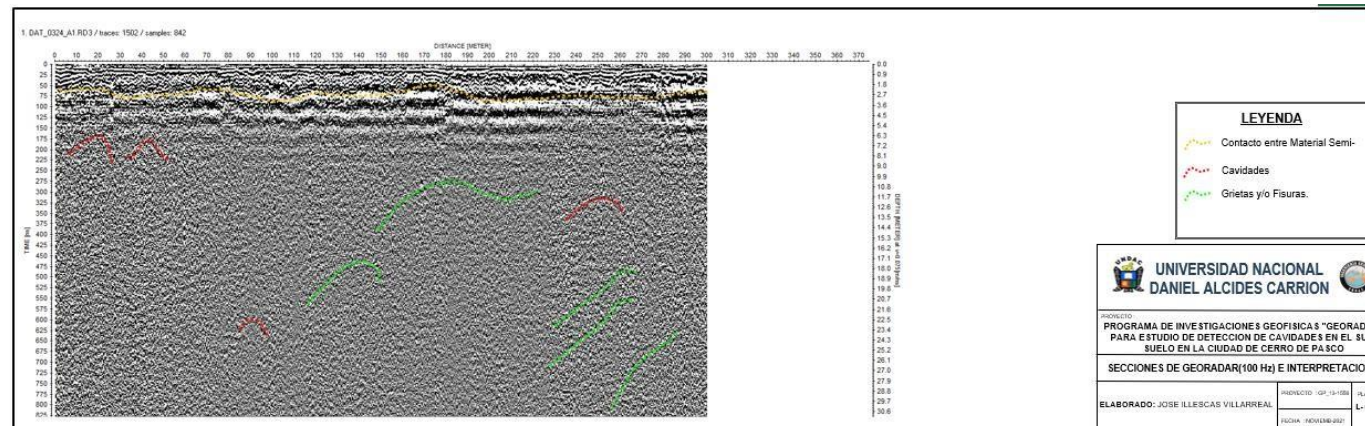


**Figura 19** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-A



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

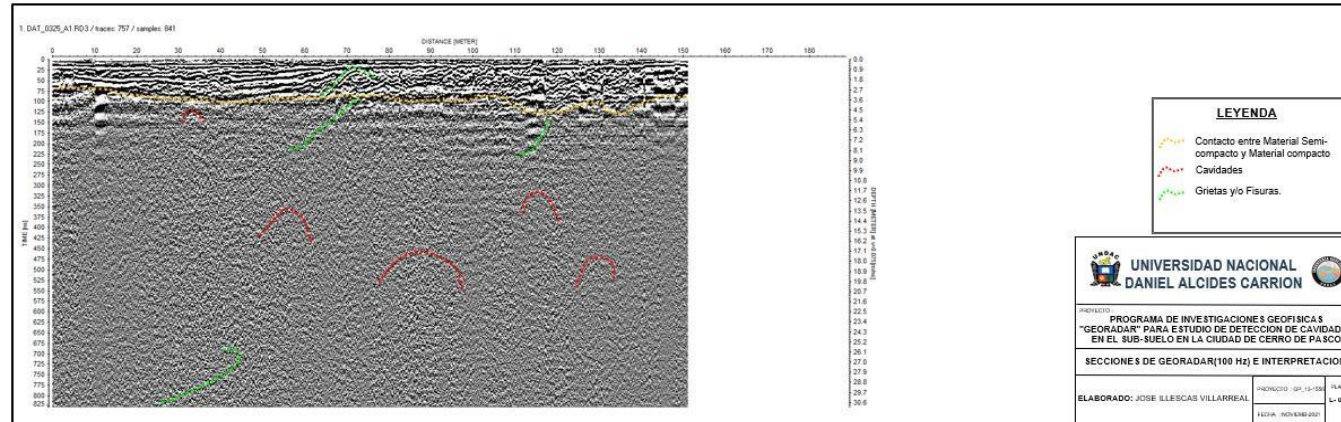
**Figura 20** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-B



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

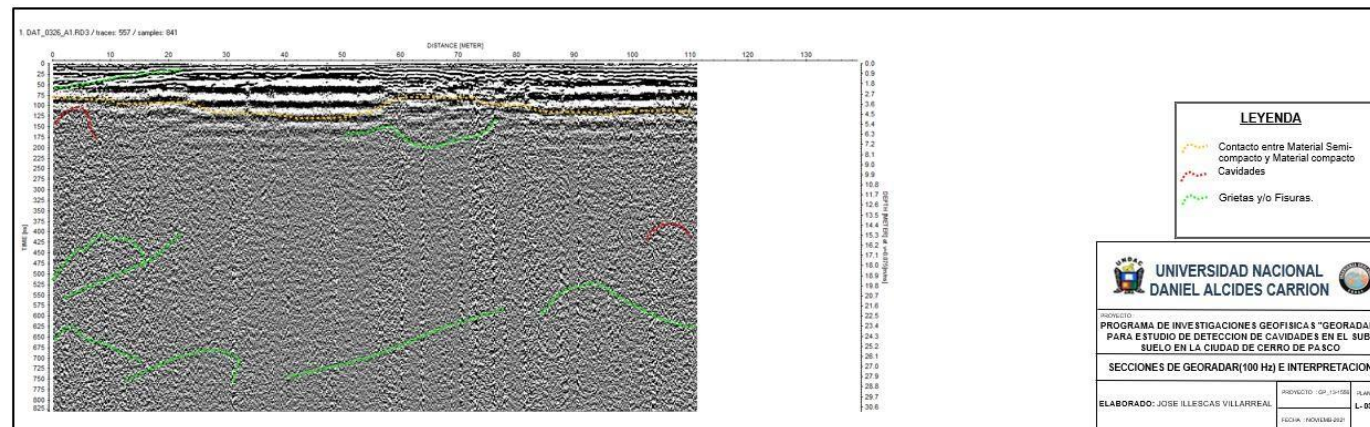


**Figura 21** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-C



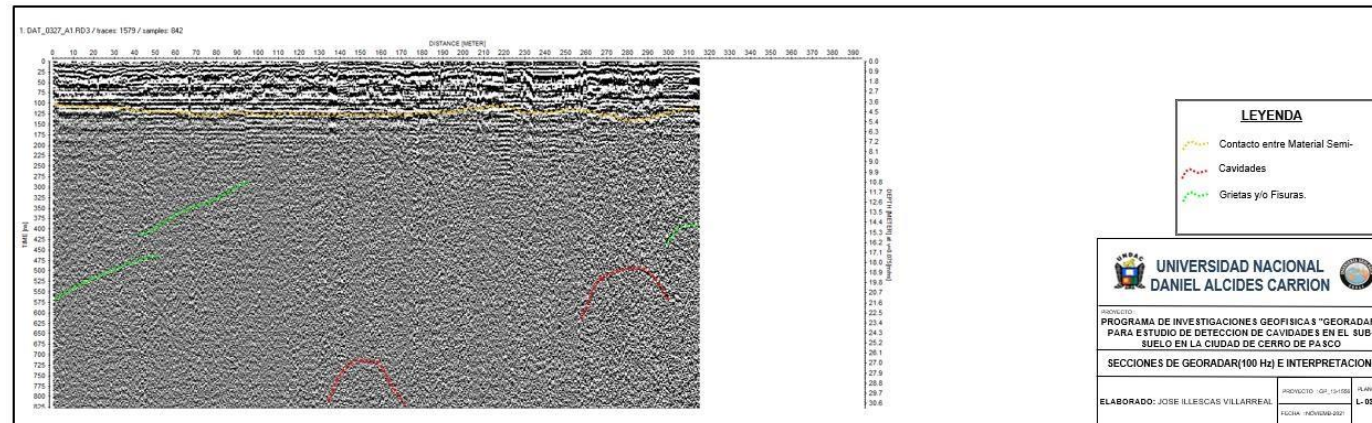
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 22** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03-D



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GP

**Figura 23** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-03



**Nota.** *Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.*

Al realizar el análisis e interpretación de la línea 3 se encontró 2 cavidades y 6 grietas, una grieta tiene 170 m de extensión y 2 grietas se encuentran en la capa semi-consolidada (L-3-A).



**Figura 24** Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-03-B



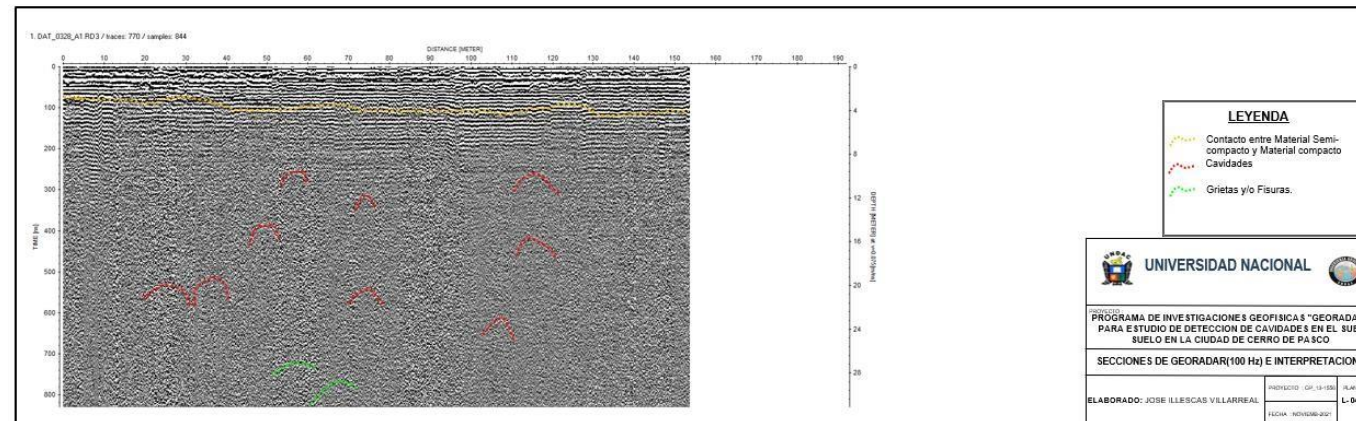
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 3 se encontró 4 cavidades y 5 grietas, se observan 3 grietas paralelas que van 18-30 m profundidad con ángulo aproximado de 45 (L-3-B)

**Figura 25** Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-04



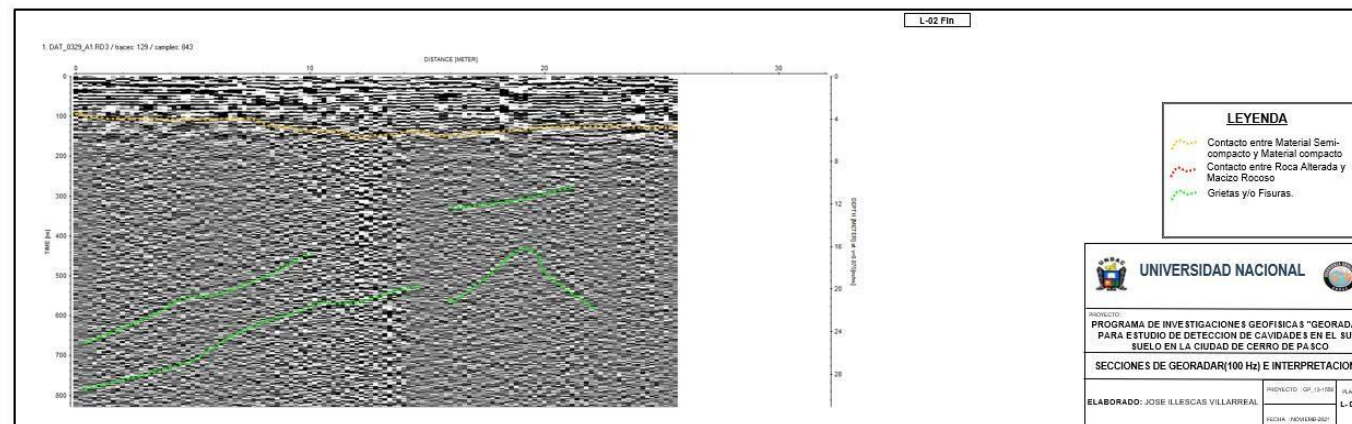


**Figura 26** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-04-



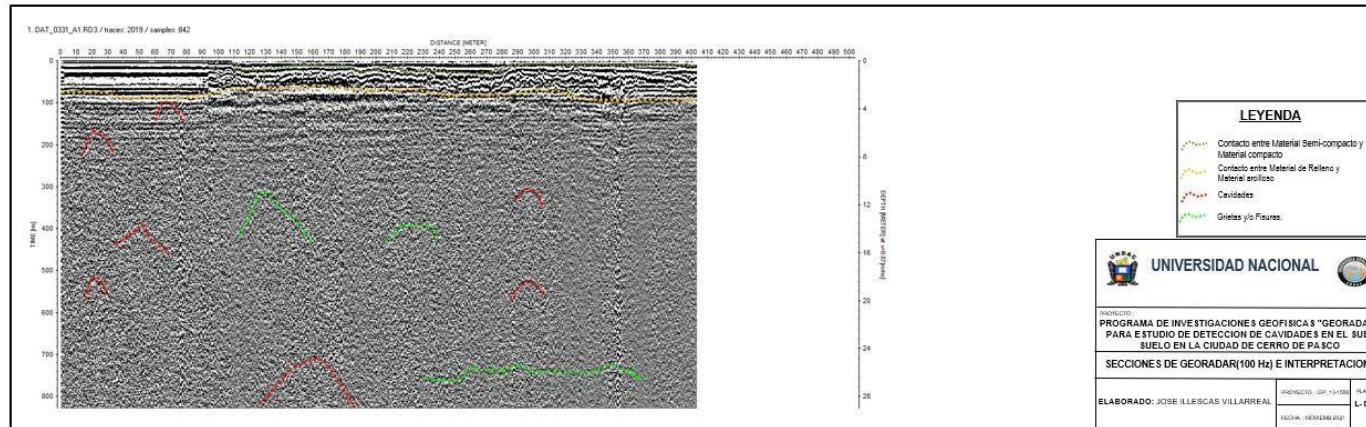
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 27** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-04-B



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 28** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-04-C



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

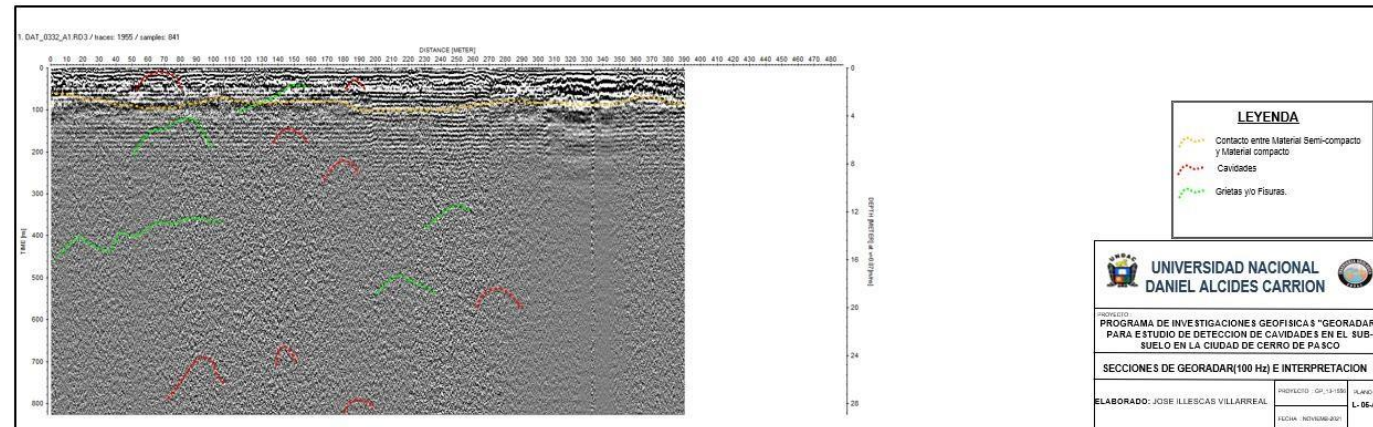
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 4 se encontró 16 cavidades y 9 grietas, es necesario indicar que existe la mayor cantidad de cavernas que se encuentran entre 9 y 26 m de profundidad (L-4-A).



Figura 29 Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-05

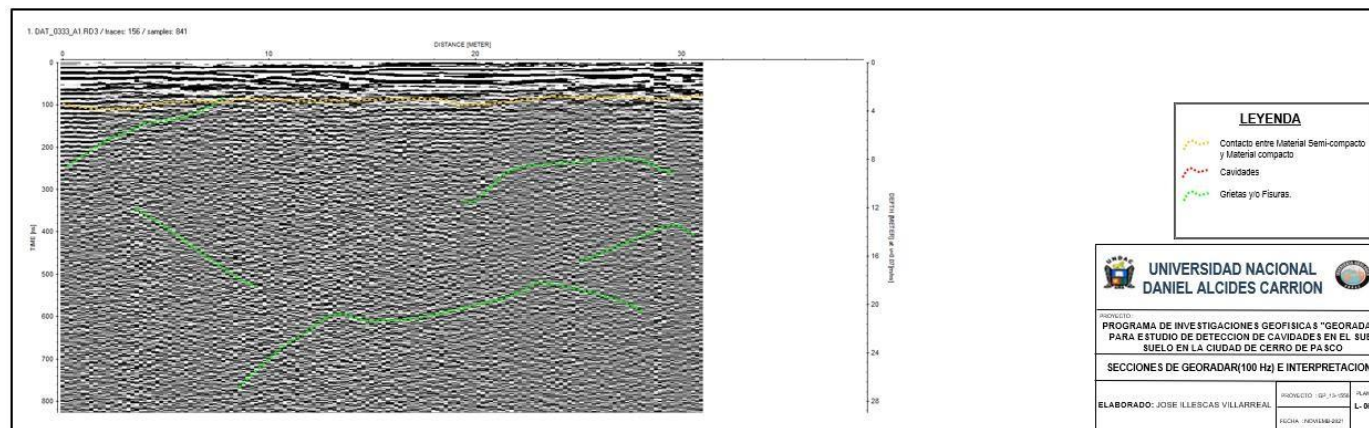


**Figura 30** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-A



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

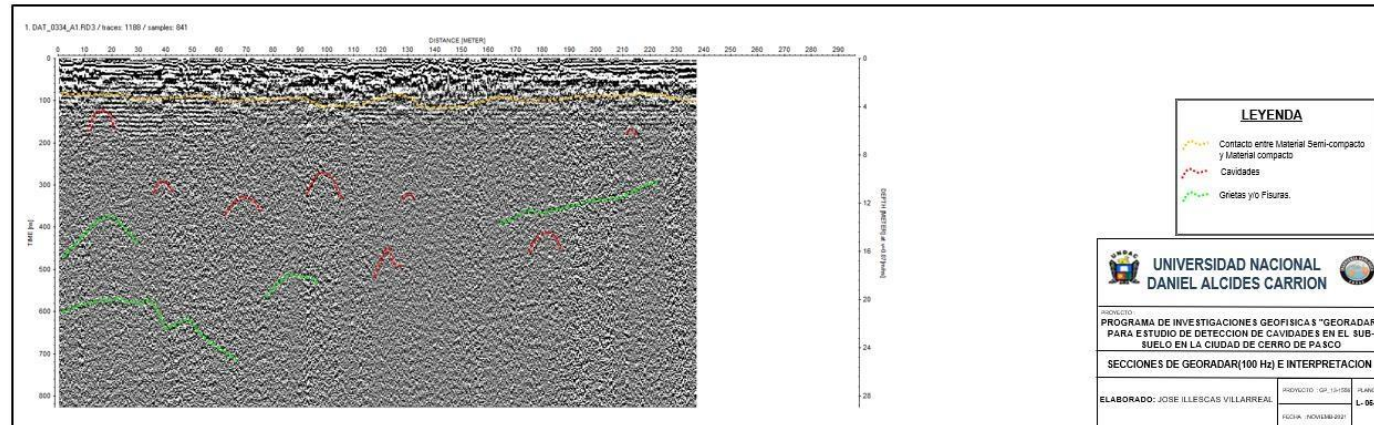
**Figura 31** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-B



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

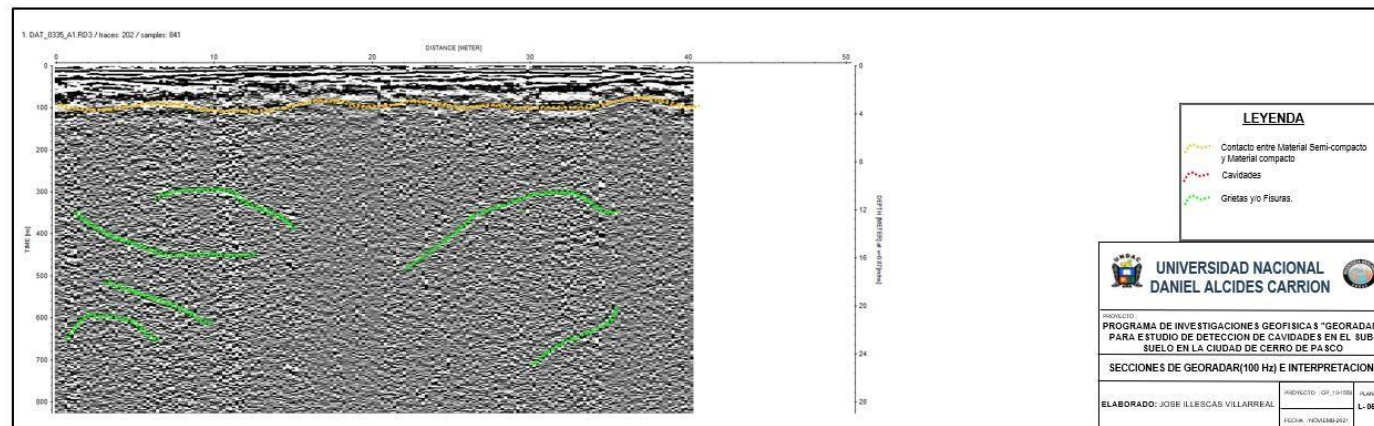


**Figura 32** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-C



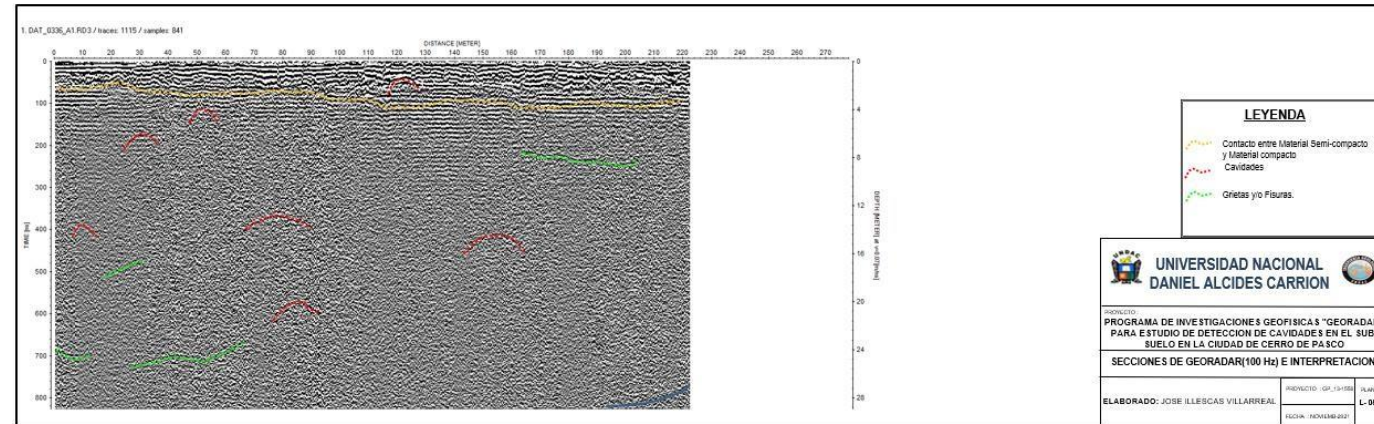
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 33** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-D



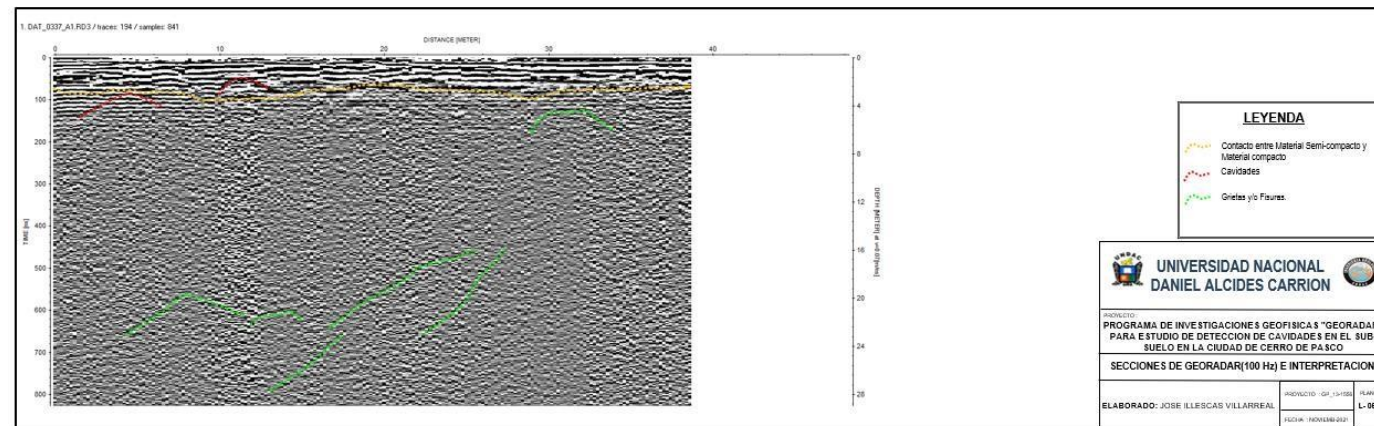
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR

**Figura 34** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-E



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 35** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-05-F



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

Al realizar el análisis e interpretación de la línea 5 se encontró 35 cavidades y 20 grietas, considerando 2 cuevas se encuentran en la zona semi-consolidada y una grieta atraviesa diagonalmente la zona semi- consolidada (L-5-A).

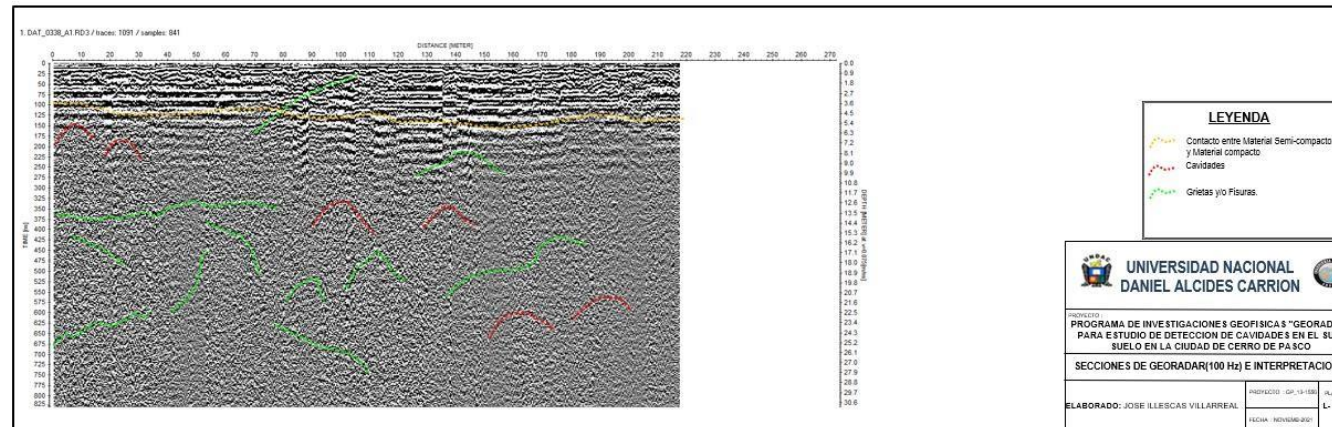
Asimismo, existe una grieta cuya longitud es apreciable de 20 metros (L-5-B) y también se observa una caverna en la zona semi-consolidada (L-5-F).



Figura 36 Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-06



**Figura 37** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-06-A



**Nota.** *Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.*

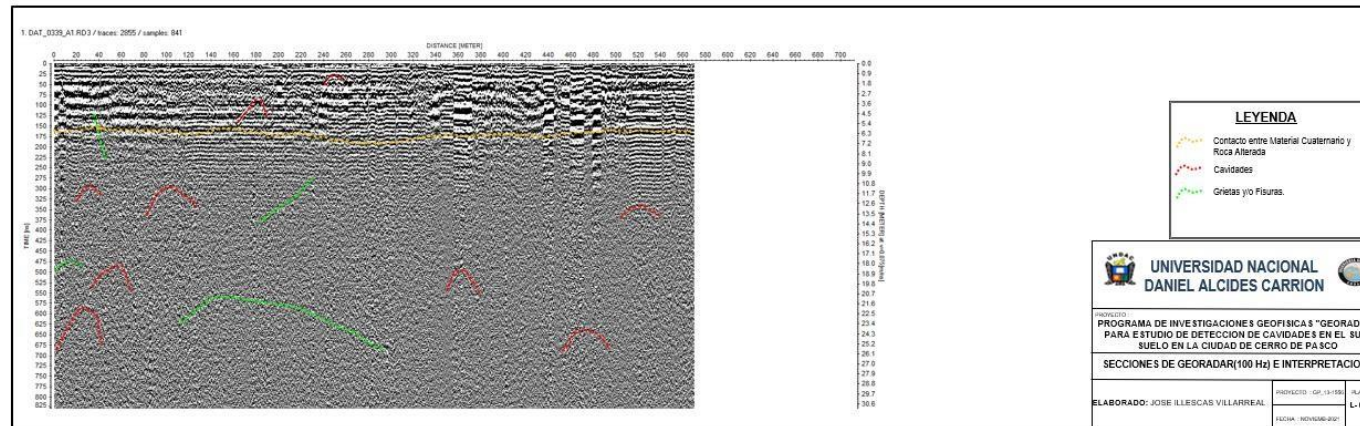
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 6 se encontró 6 cavidades y 11 grietas, considerando que una grieta atraviesa la zona semi- consolidada a la consolidada (L-6-A)



Figura 38 Imagen de la ubicación de la línea de Georadar - Tramo GPR-07

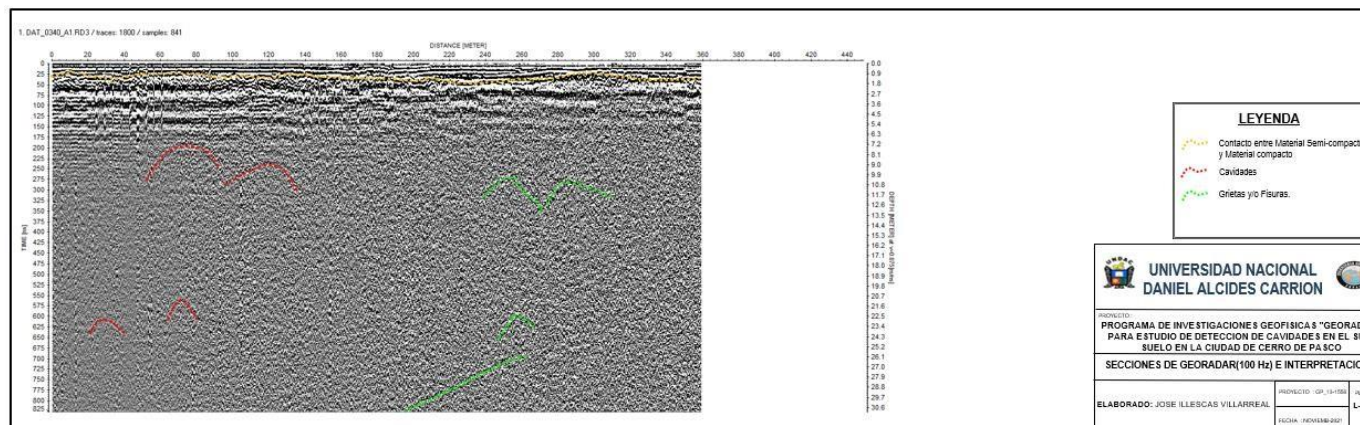


**Figura 39** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-A



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

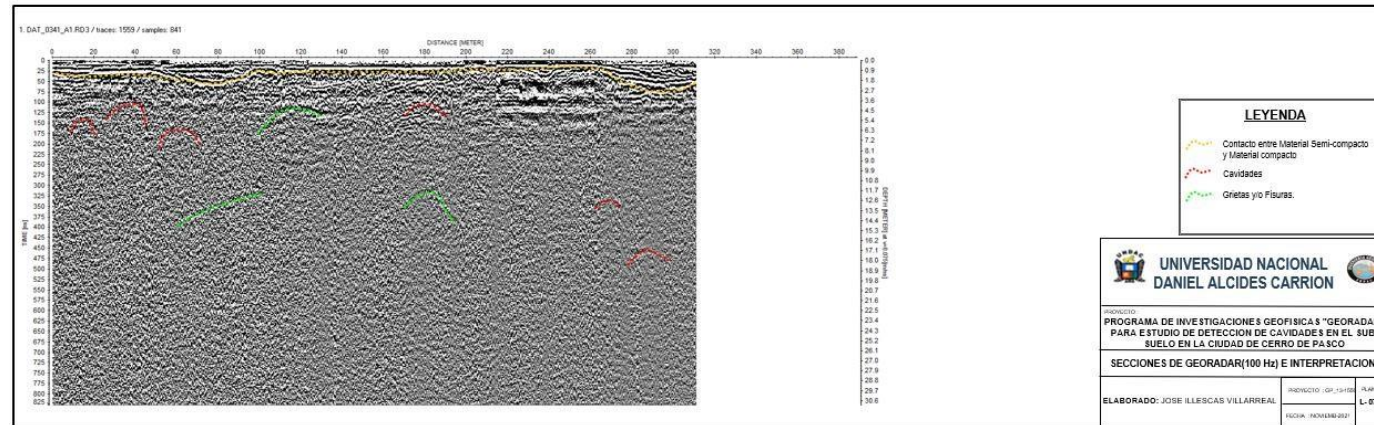
**Figura 40** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-B



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR

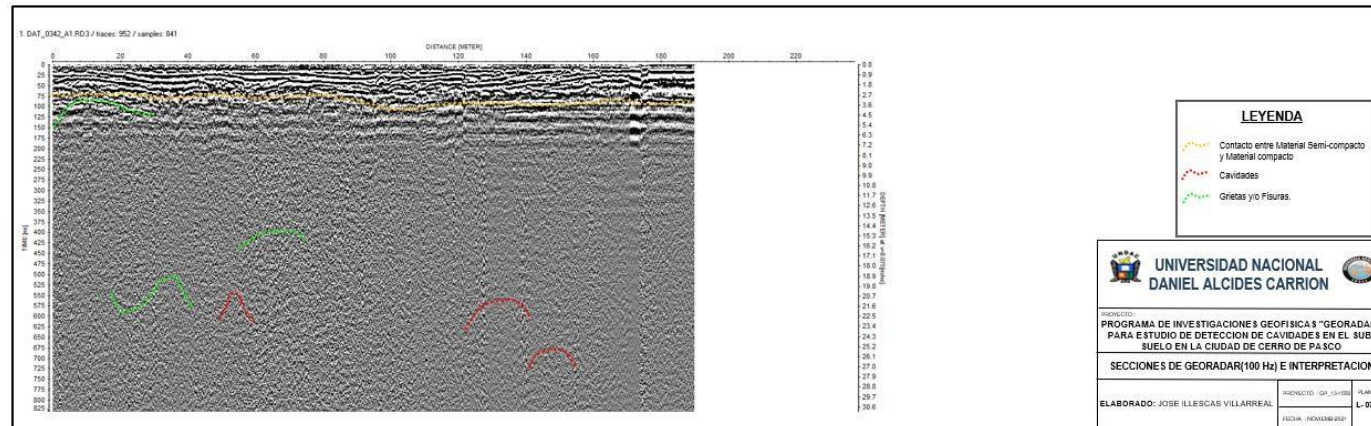


**Figura 41** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-C



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

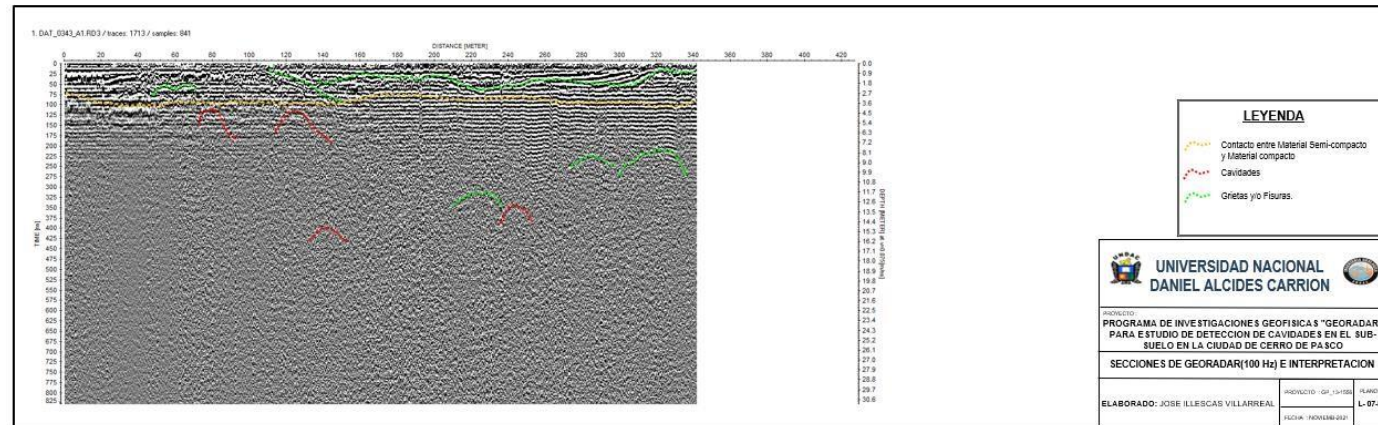
**Figura 42** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-D



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR



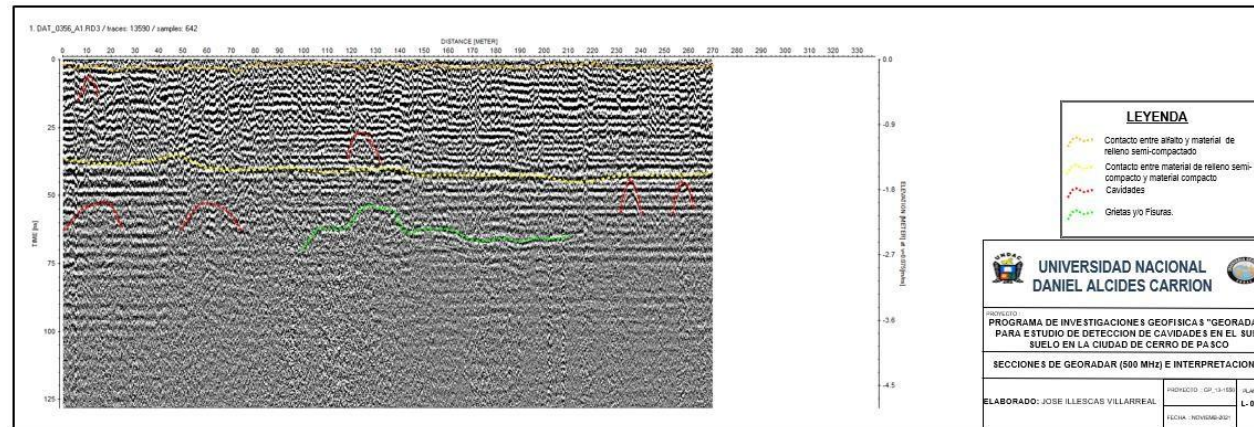
**Figura 43** Imagen de la sección de Georadar (100 MHz) – L-07-E



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

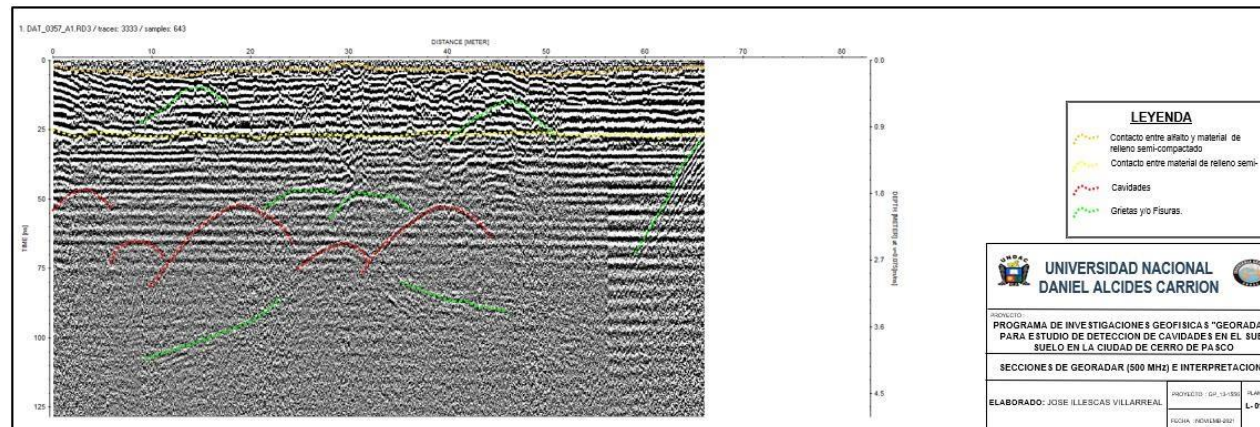
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 7 se encontró 22 cavidades y 19 grietas, se observa que hay 2 cavernas en la zona semi - consolidada (L7A), asimismo es notorio la presencia de una grieta de aproximadamente de 200m en la zona semi consolidada. (L-7-E) .

**Figura 44** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-A



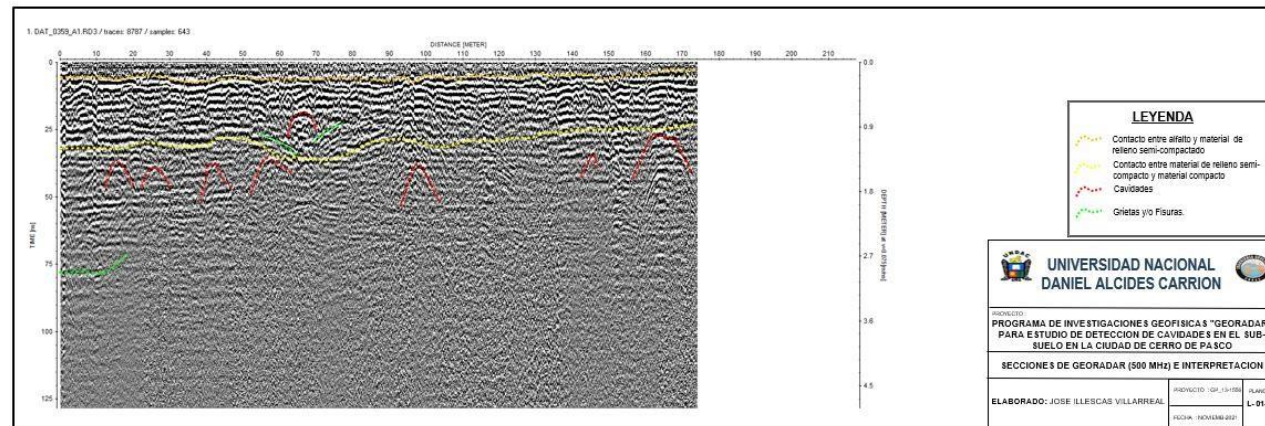
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 45** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-B



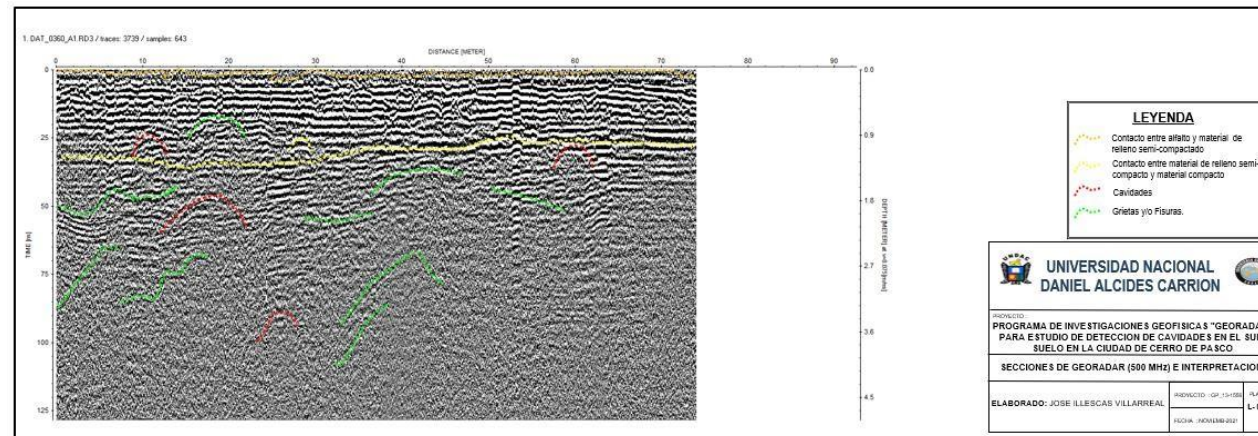
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 46** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-C



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

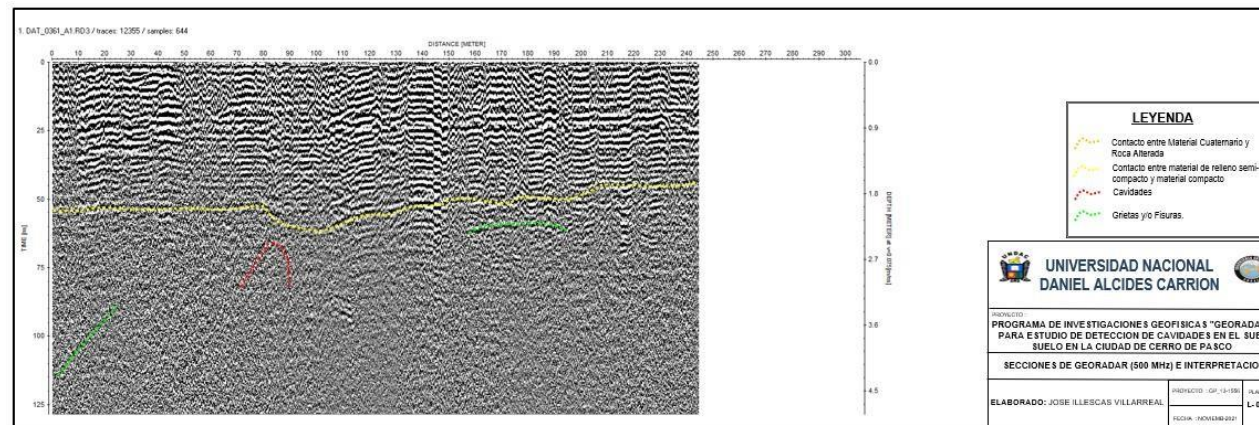
**Figura 47** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-D



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

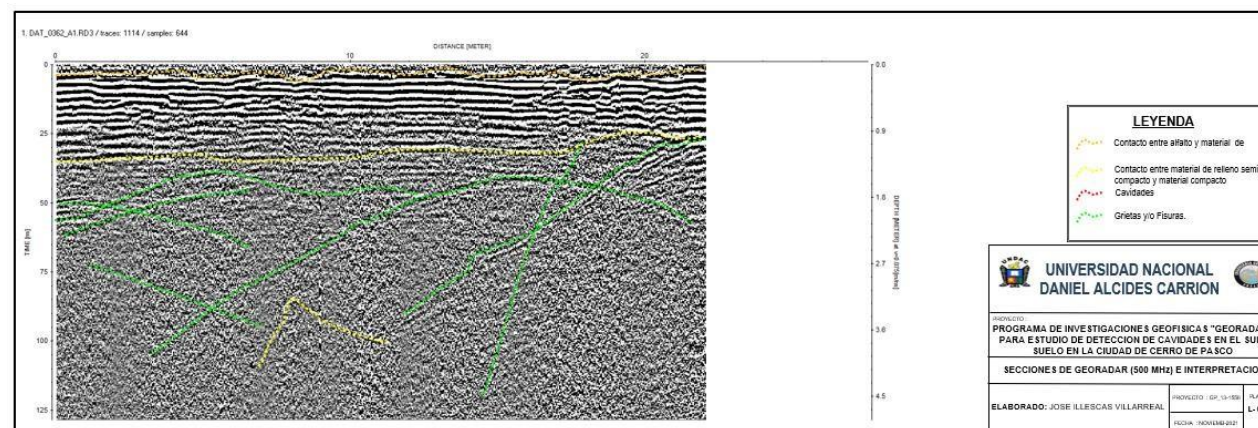


**Figura 48** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-E



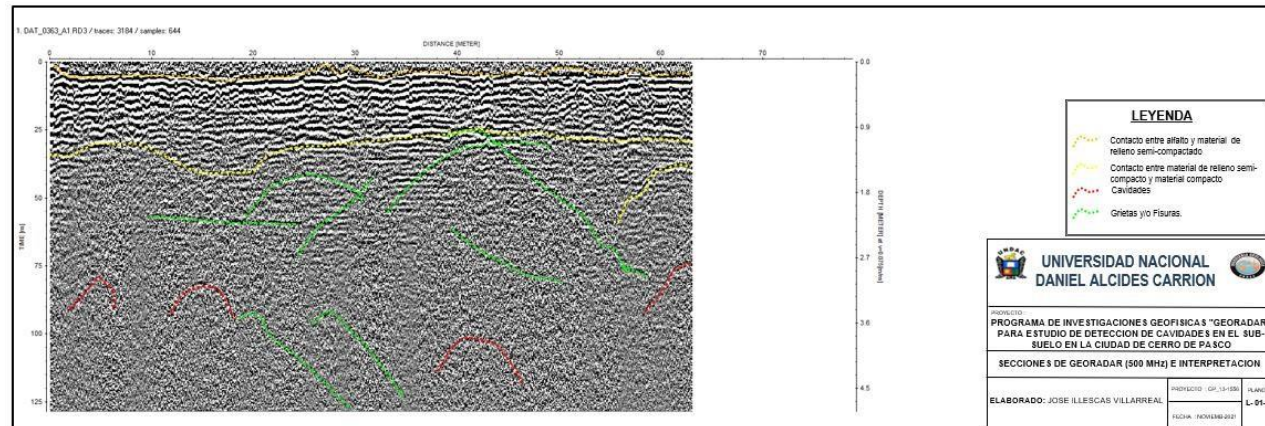
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 49** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-F



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 50** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-01-G



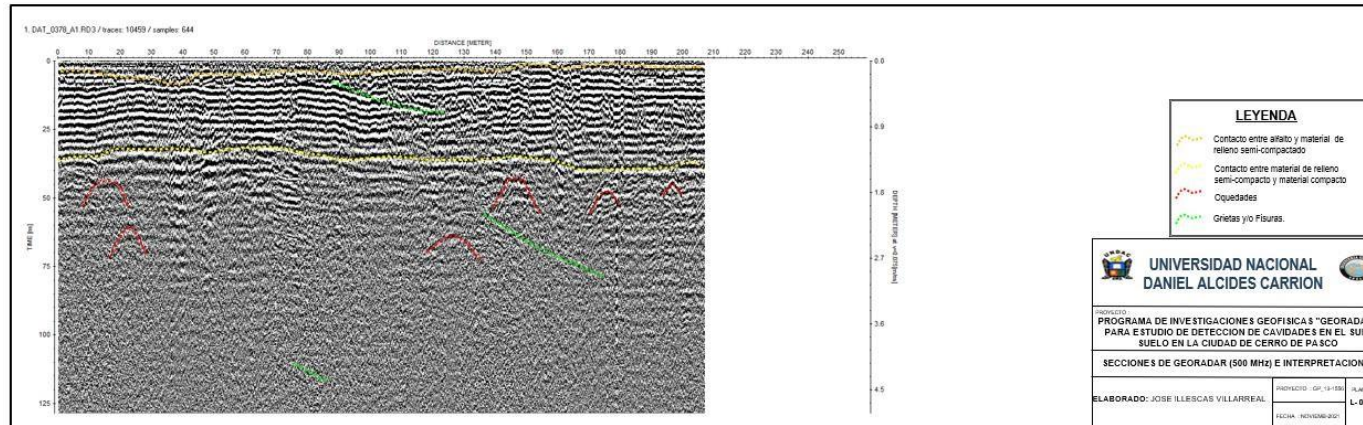
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

Para realizar el análisis e interpretación de los radargramas obtenida con la antena de 500 MHz se ha considerado los siguiente:

- Contacto entre asfalto y material de relleno semi-compactado (color marrón).
- Contacto entre material de relleno semi-compactado y material compacto (color amarillo).
- Cavidades (color rojo)
- Grietas (verde)

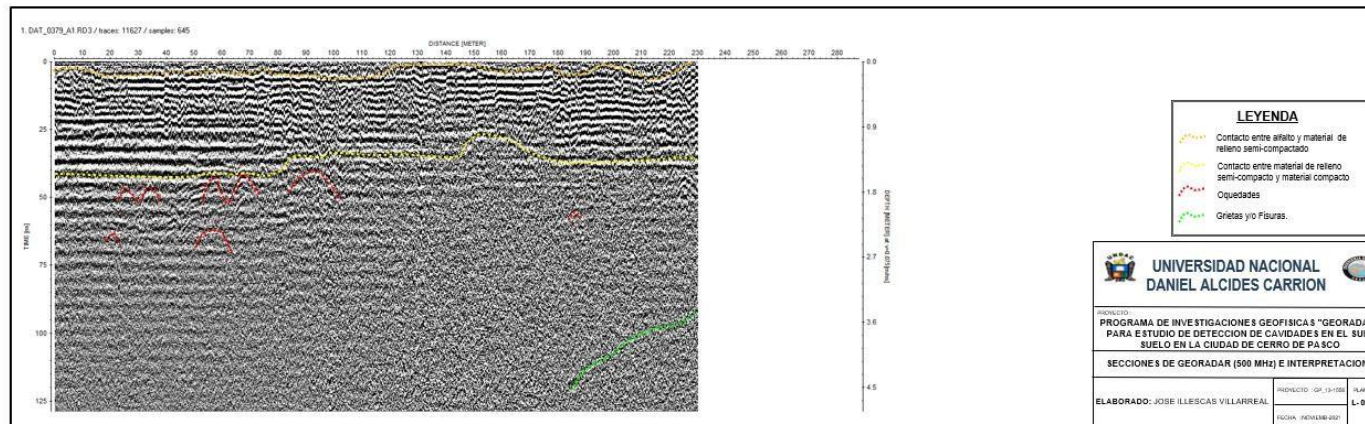
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 1se encontró 24 cavidades y 30 grietas, considerando que en la mayoría de un radargarma existe presencia de asfalto a excepción de (L-1-E). Asimismo, se observó que existe 2 cuevas en la zona de material semi-consolidada (L-1-A). También existe la presencia 2 contactos en la semi-consolidada.

**Figura 51** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-A



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

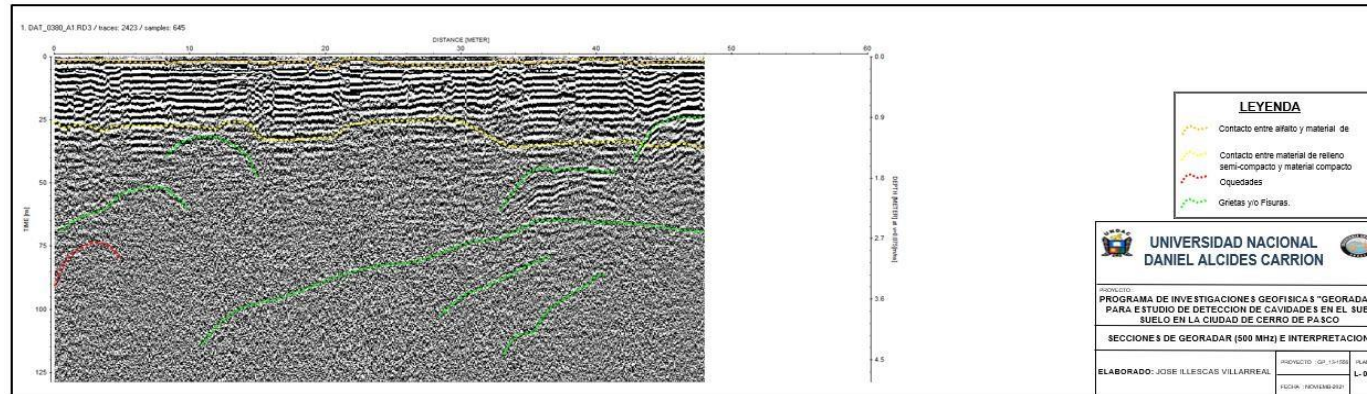
**Figura 52** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-B



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

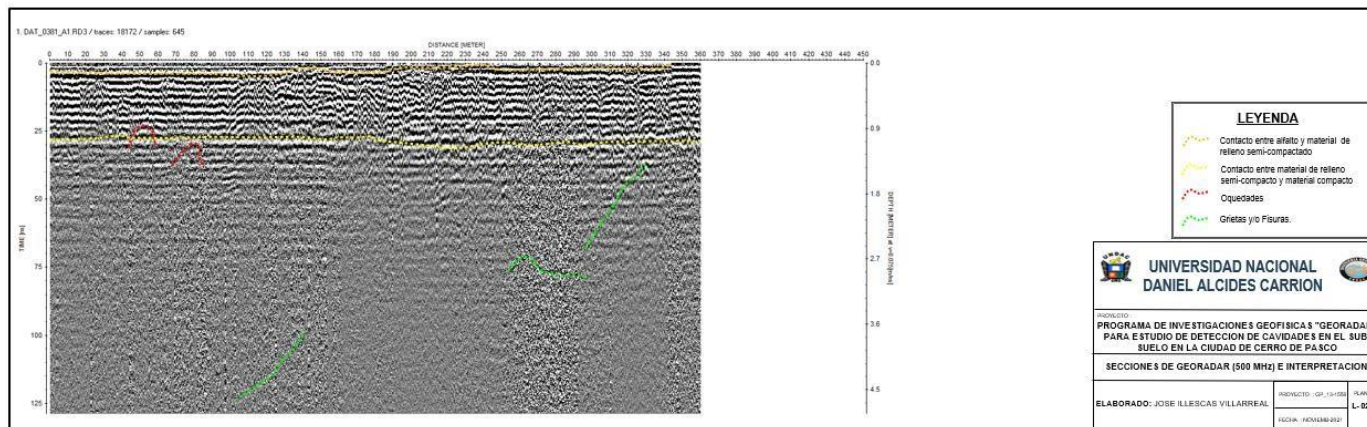


**Figura 53** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-C



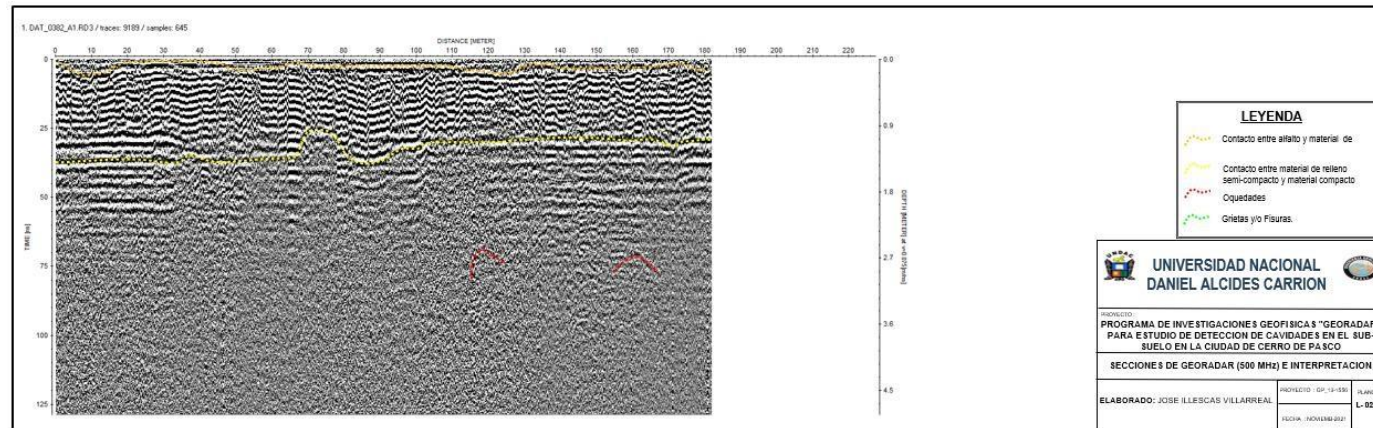
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR

**Figura 54** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-D



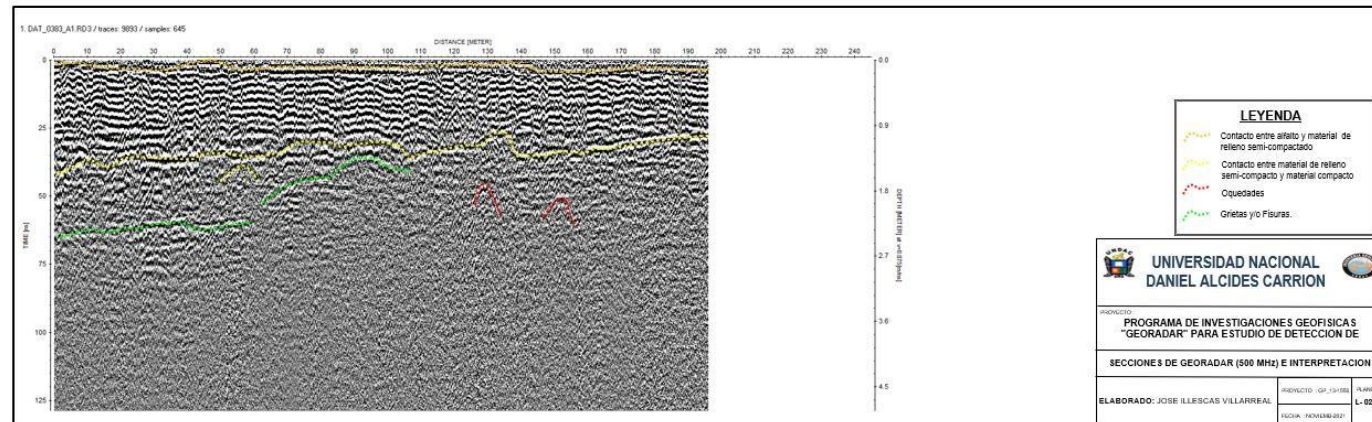
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 55** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-E



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

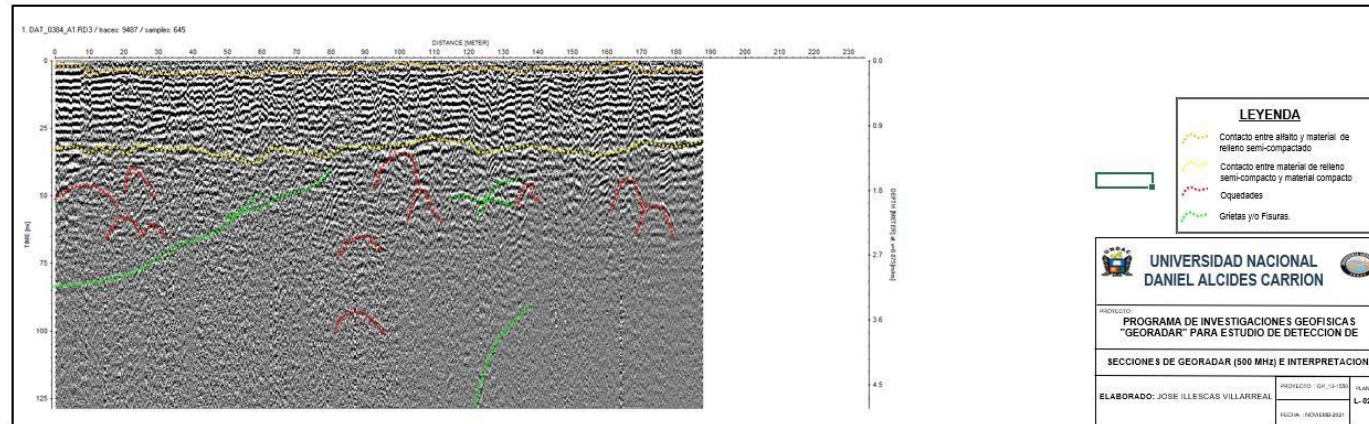
**Figura 56** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-F



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.



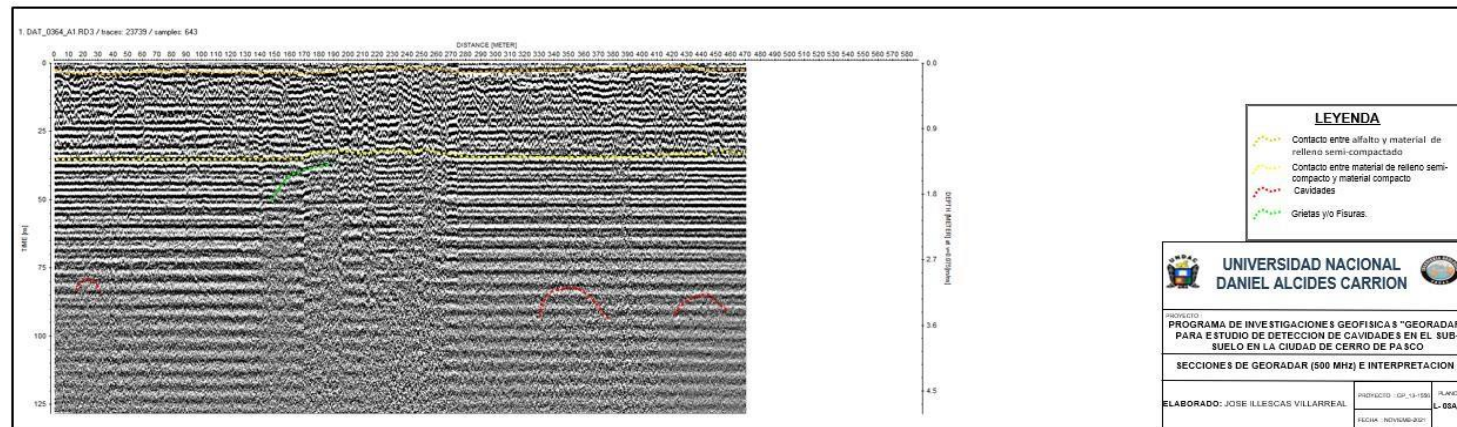
**Figura 57** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-02-G



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

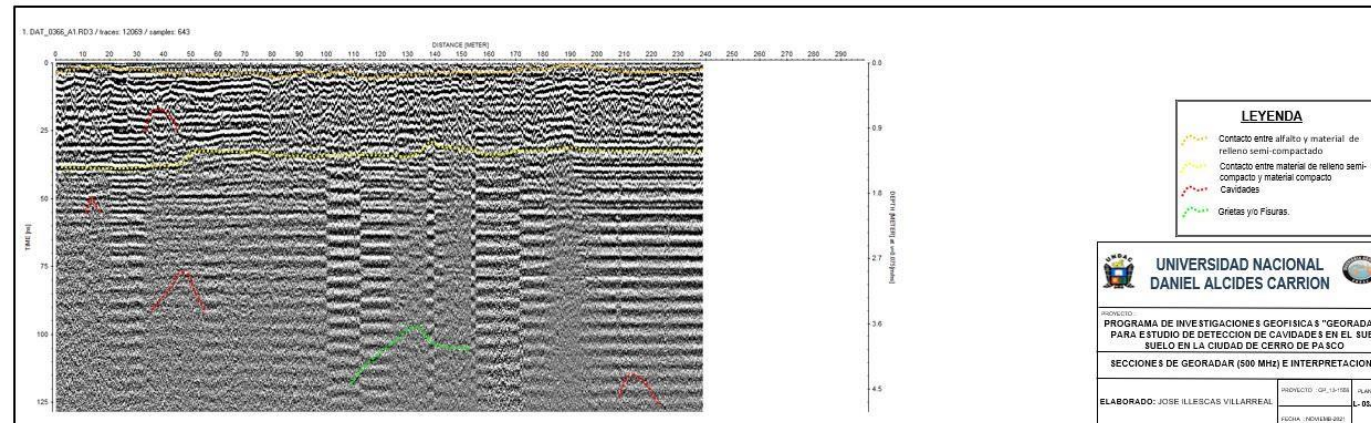
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 2 se encontró 31 cavidades y 20 grietas, considerando que en todos radargramas existe presencia de asfalto. Se observa que caverna sobrepasa la zona semi-consolidada (L-2-D).

**Figura 58** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03A-A



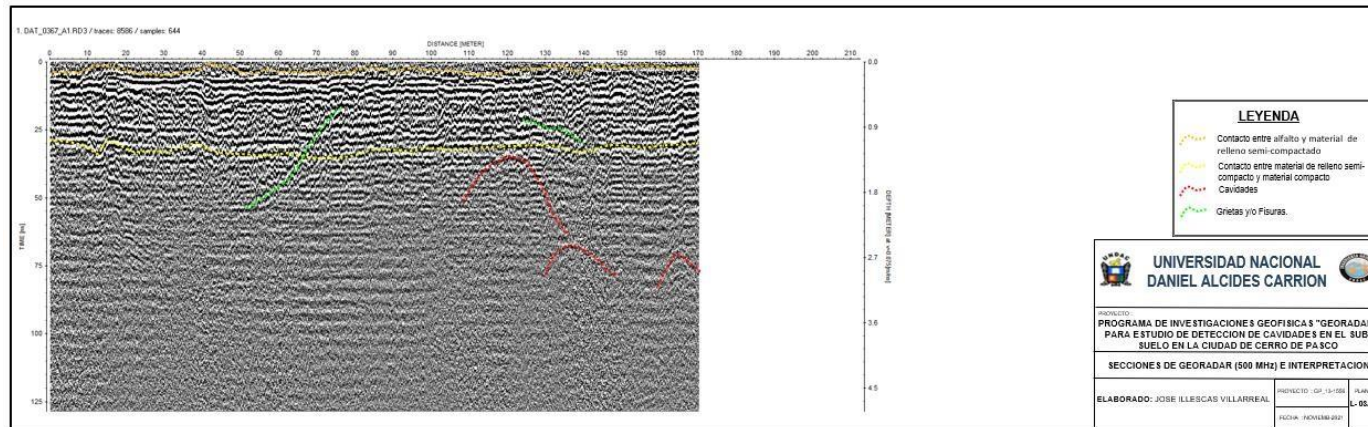
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 59** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03A-B



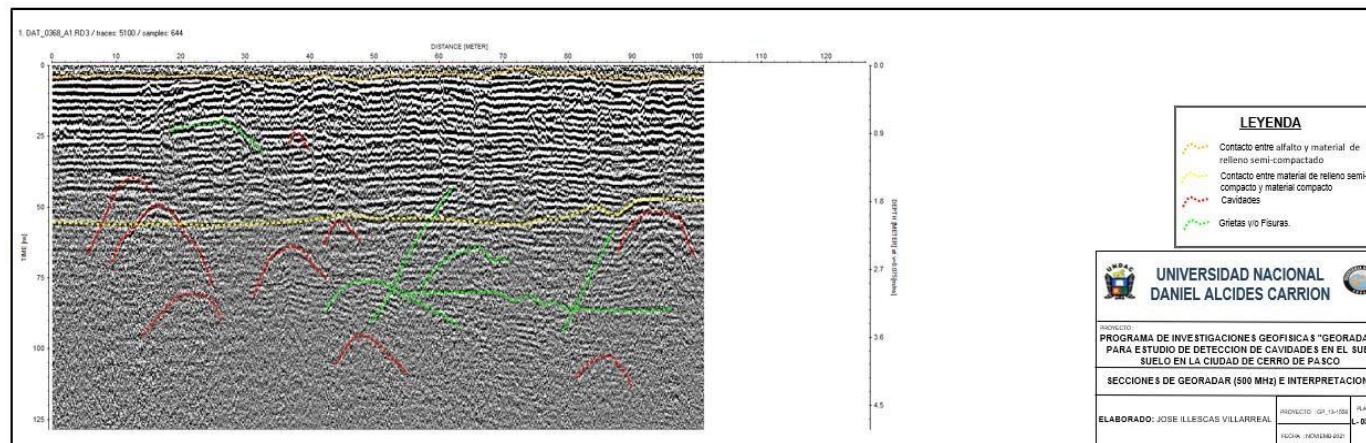
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 60** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03A-C



*Nota. Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.*

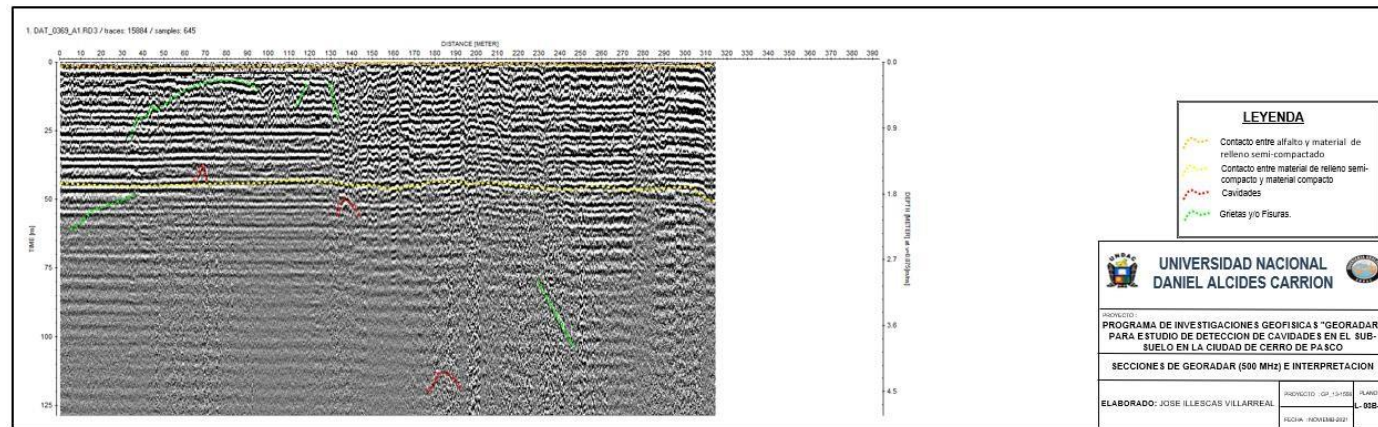
**Figura 61** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03B-A



*Nota. Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.*



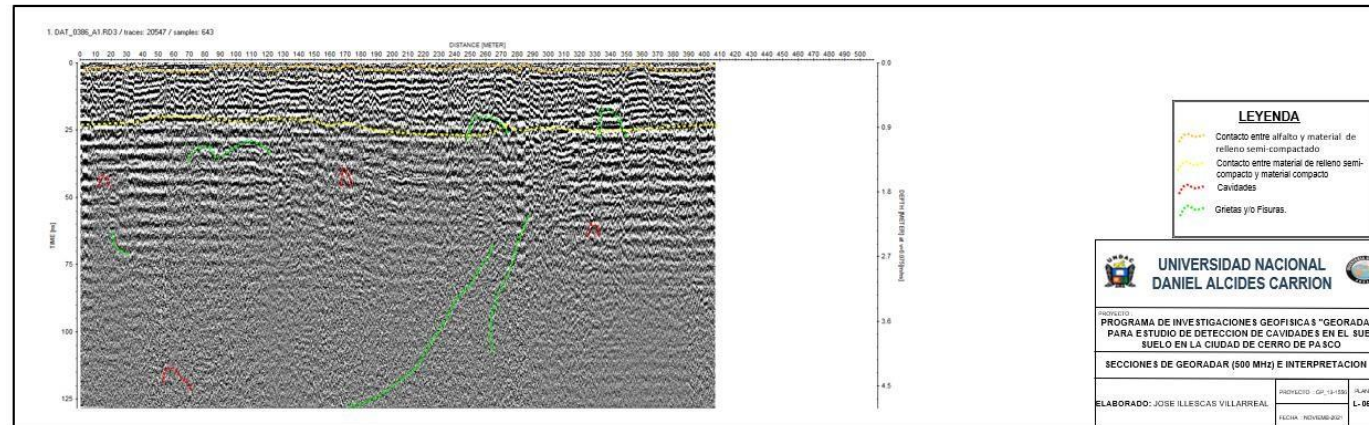
**Figura 62** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-03B-B



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

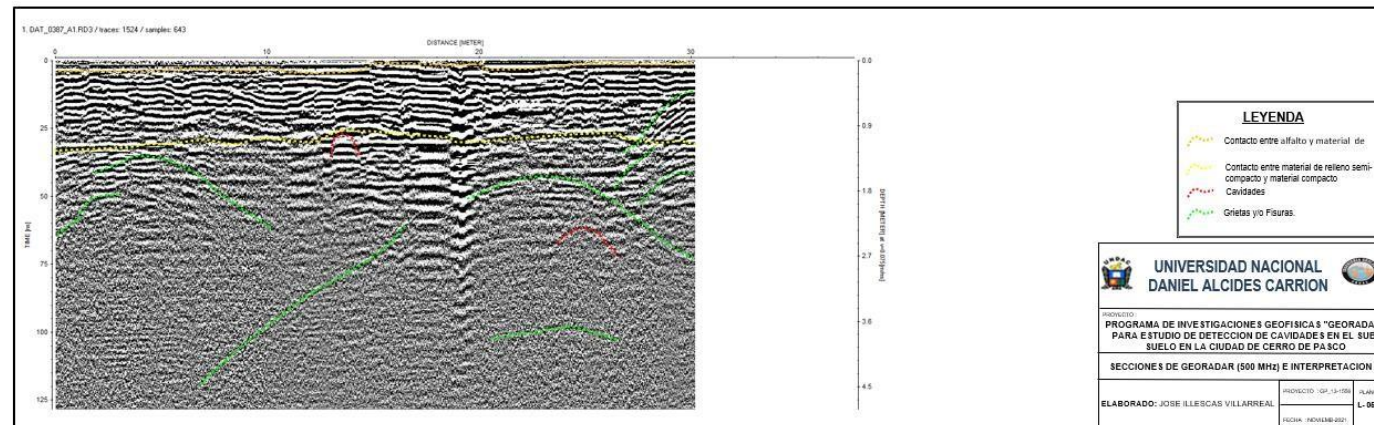
Al realizar el análisis e interpretación de la línea 3 se encontró 18 cavidades y 12 grietas, radargrama existe presencia de asfalto. Se observa que una caverna se encuentra en la zona semi-consolidada (L-3A-B). De la misma manera se observa que una grieta se prolonga desde el material compactado hasta el el semi compactado (L-3B-A). Aún más se observa pequeñas cavernas distribuidas en ambas zonas (L-3B-B)

**Figura 63** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-A



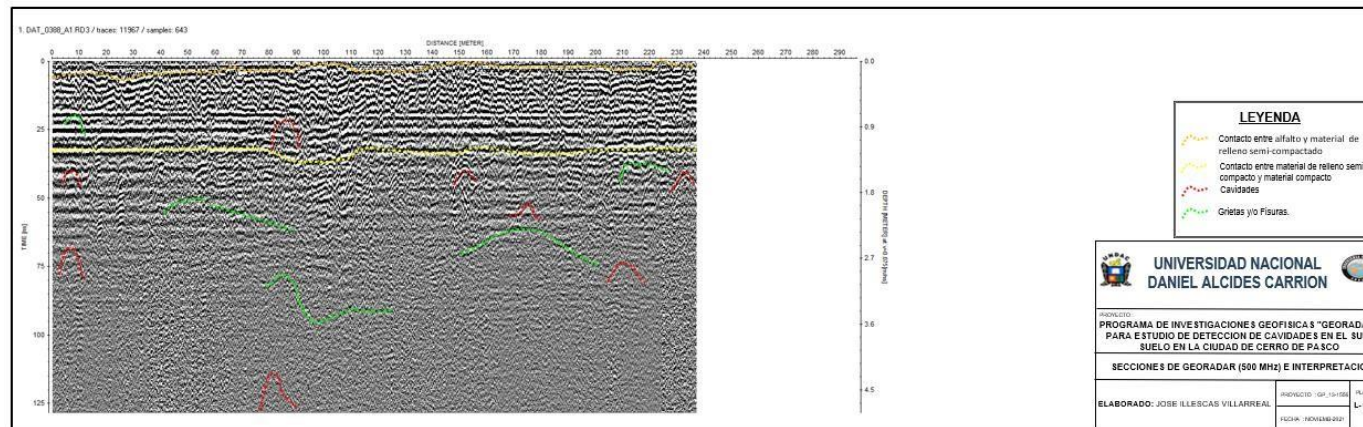
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 64** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-B



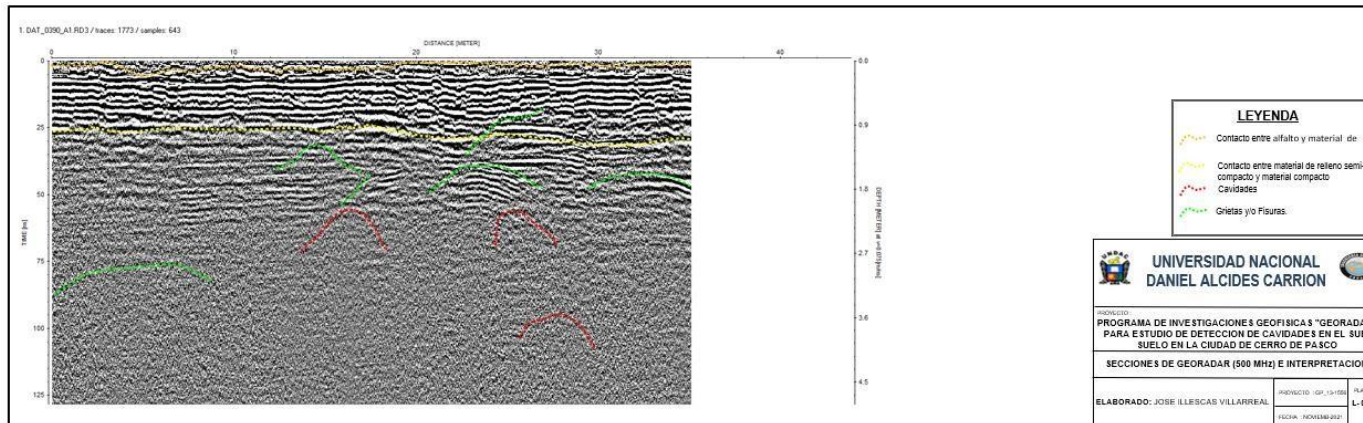
**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

**Figura 65** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-C



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

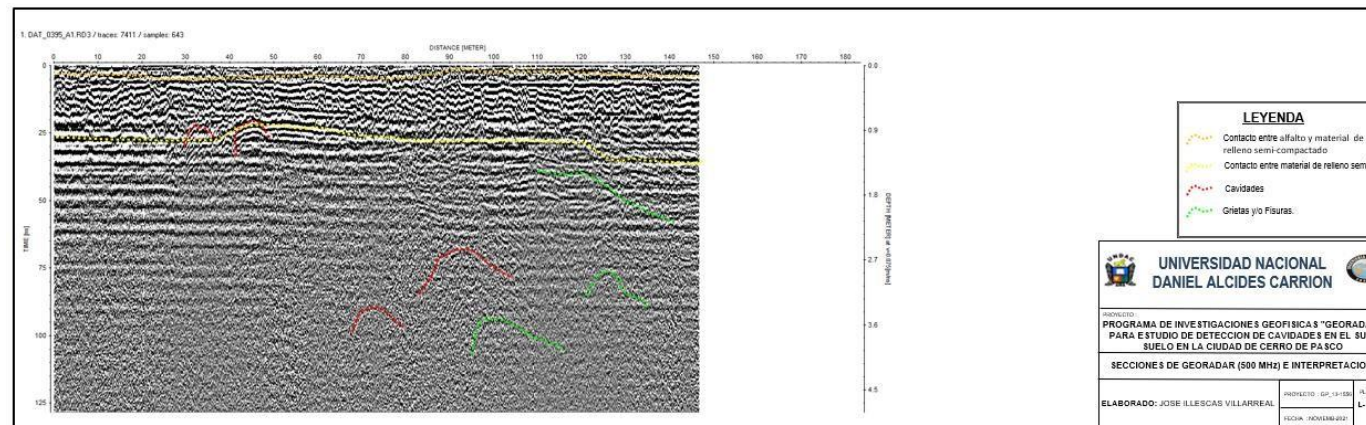
**Figura 66** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-D



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.



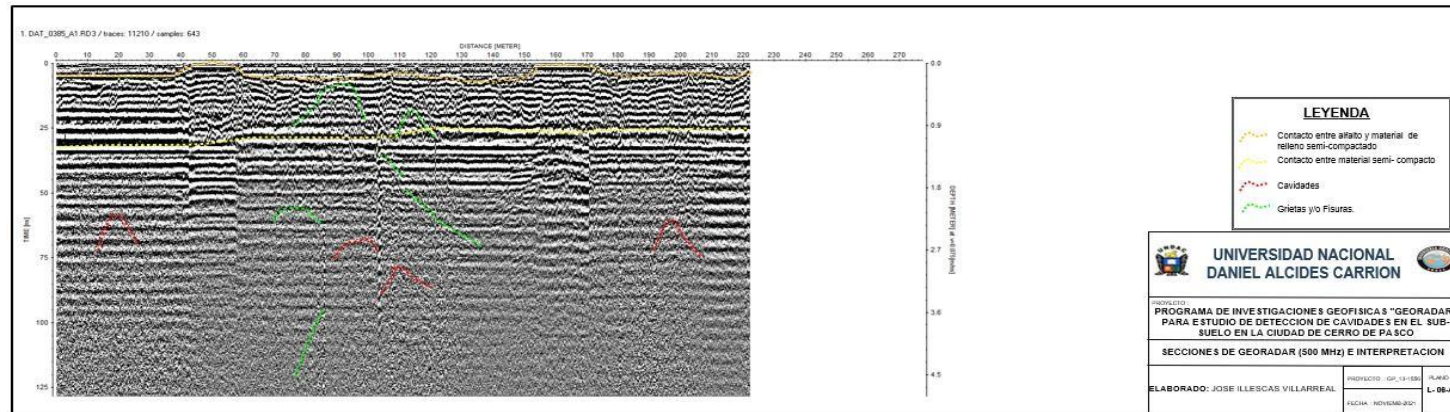
**Figura 67** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-05-E



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

Al realizar el análisis e interpretación de la línea 5 se encontró 20 cavidades y 24 grietas, radargrama existe presencia de asfalto. Se observa que una grieta se encuentra distribuida en ambas zonas (L-5-A). De la misma manera se observa que una grieta es muy extensa de aproximadamente 30 metros (L-5-B).

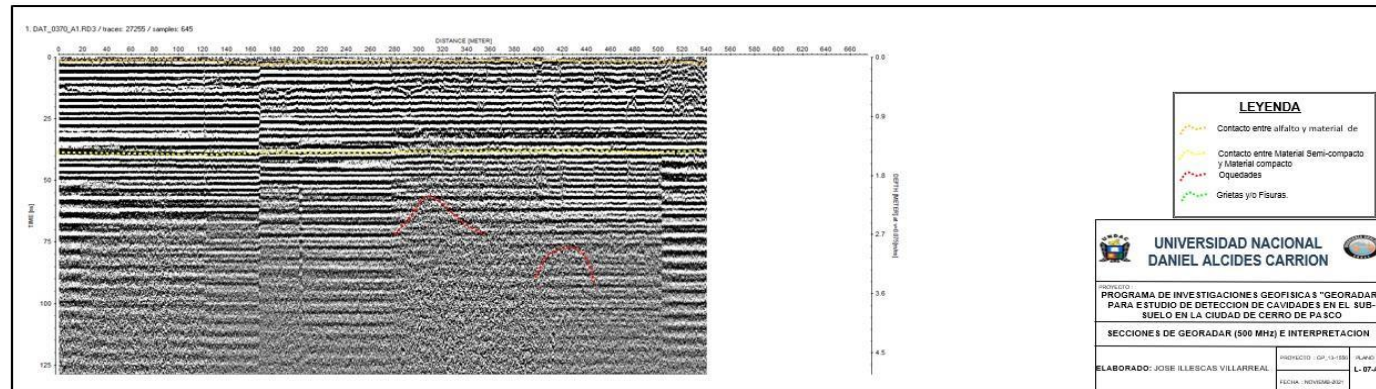
**Figura 68** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-06-A



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

Al realizar el análisis e interpretación de la línea 6 se encontró 4 cavidades y 5 grietas, radargrama existe presencia de asfalto. Se observa que 2 grietas se encuentran en la zona semi compactada.

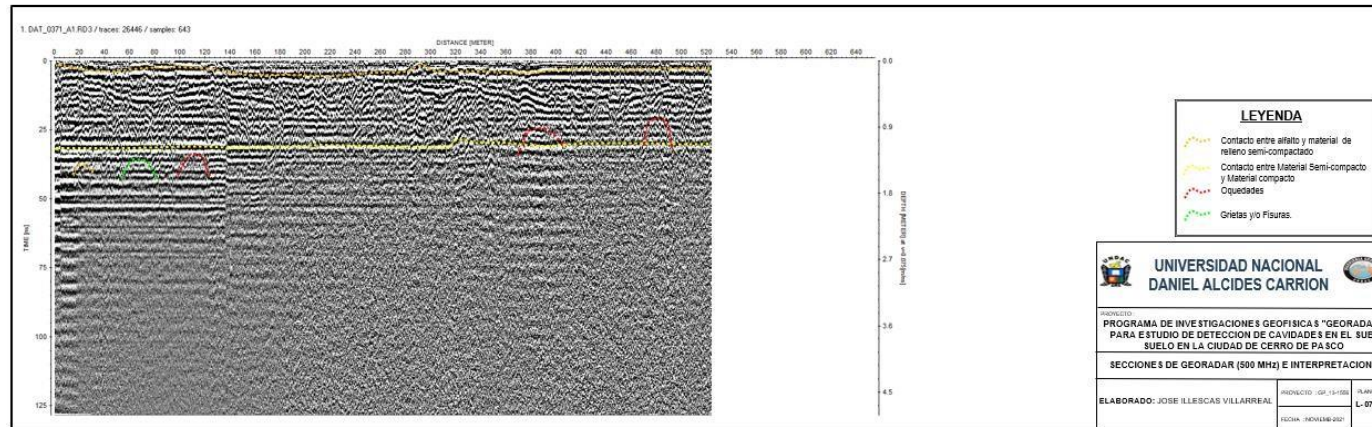
**Figura 69** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-07-A



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

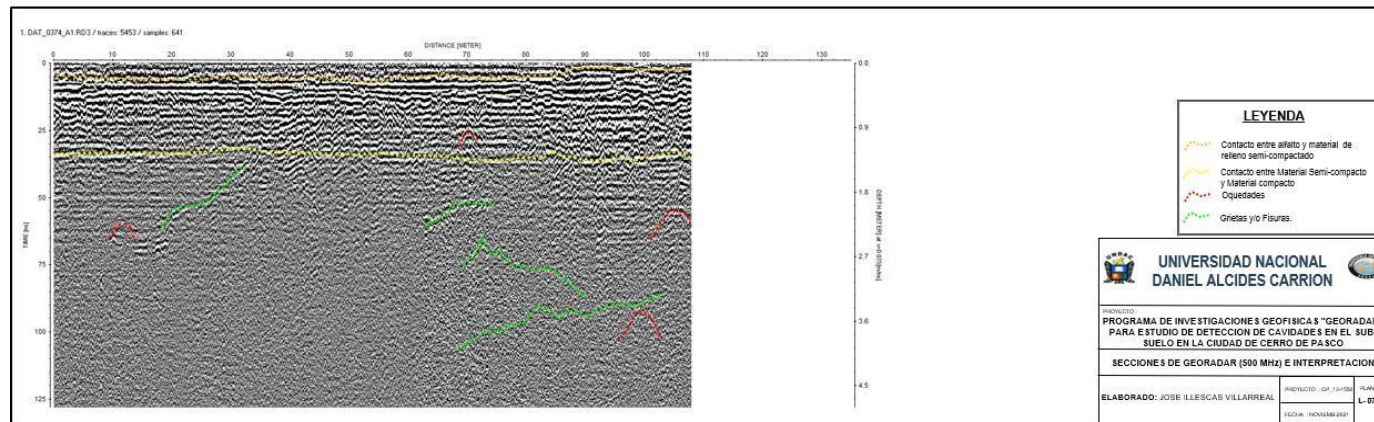


**Figura 70** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-07-B



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR

**Figura 71** Imagen de la sección de Georadar (500 MHz) – L-07-C



**Nota.** Elaboración propia a partir del georadar generado por el estudio GPR.

Al realizar el análisis e interpretación de la línea 7 se encontró 9 cavidades y 5 grietas, radargrama existe presencia de asfalto. Se observa que 2 caverna se encuentra en la zona semi-consolidada (L-7-B). De la misma manera se observa que una grieta tiene una longitud aproximada de 30 m. (L-7-C)

### **Evaluación de peligros**

Peligro es un fenómeno potencialmente dañino para un periodo específico que puede afectar a una zona poblada y/o infraestructura física y medio ambiente, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida.

Los diversos fenómenos que observamos en la ciudad de Cerro de Pasco, Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, pueden constituir amenazas para su seguridad física, se tiene que analizarlo y clasificarlo ordenadamente, registrándolos en mapas para acumular su información, e identificar el nivel de peligro existente en cada sector de la ciudad.

La caracterización física geográfica del entorno de la ciudad de Pasco ha permitido establecer los escenarios donde se pueden generar los peligros naturales. El área comprendida en el estudio, no está exenta de peligros naturales de carácter geotécnico y antrópico que podrían ser amplificados con una eventual actividad sísmica.

### **Geotecnia local/mecánica de suelos y rocas**

En el presente estudio de los sectores del distrito de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar se realizó trabajos preliminares, de acuerdo a la observación de campo como la delimitación de rocas y suelos.

Como se delimitó zonas de rocas y suelos de los sectores del distrito de Chaupimarca Yanacancha y Simón Bolívar. Hay viviendas que están construidas sobre material rocoso (calizas, filitas y volcánico).

Para la caracterización del suelo y roca, y de los peligros asociados, es necesario hacer perforaciones (calicatas) en las zonas críticas, considerando los ensayos estándares de suelo (clasificación del suelo y de los límites de consistencia) y ensayos especiales (ensayos de corte), para determinar la capacidad portante del suelo, y determinar la estratigrafía del suelo, también se realizó un análisis de roca para determinar la calidad de la roca (caliza, filita, volcánicos) la localización de estos sondajes (calicatas).

Para complementar el presente estudio se efectuaron 18 sondajes en los tres distritos en el perfil del suelo, también se realizó evaluaciones del macizo rocoso para determinar la calidad de la roca.

### **Peligros geológicos – geotécnicos**

Se considera peligro geotécnico a toda acción natural que involucre a las propiedades físicas mecánicas de suelos y rocas, y el contenido de sales, como problemas de licuación, falla por corte, asentamiento del suelo, también los problemas estructurales como presencia de falla geológica, formación de cavernas u oquedades karstificación en suelos y rocas, agresión química del suelo.

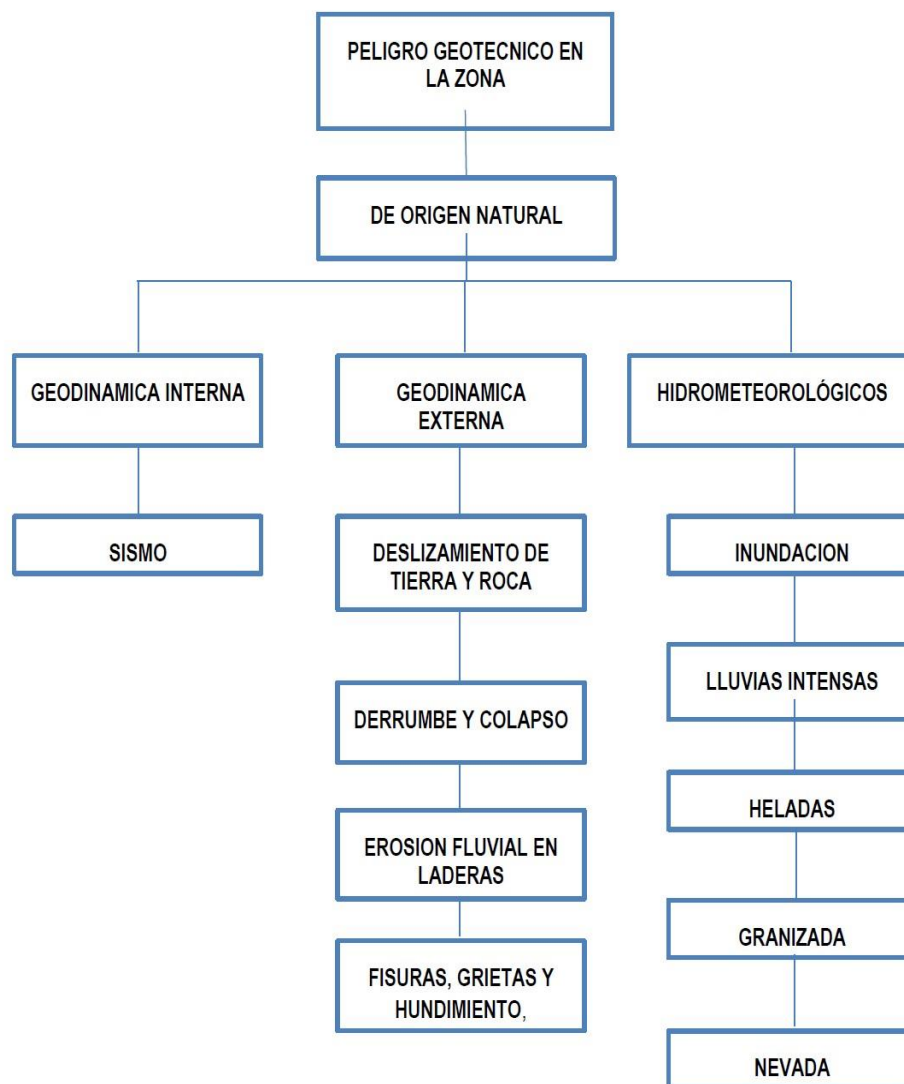
### **Amplificación sísmica**

En el área de estudio se realizó la prospección geofísica, para determinar cavidades, en el subsuelo, para poder determinar la amplificación sísmica que es una situación especial que ocurre en el área de influencia de la falla longitudinal de Pasco y las zonas de contacto entre rocas calizas y conglomerados y otros tipos de roca, también se debe poner énfasis en el área de la laguna de Patarcocha y Chaquicocha.

Se va a determinar la amplificación sísmica en el macizo rocoso y los sectores cercanos al tajo abierto.

## Identificación de peligros geológicos

Peligros geotécnicos del área de estudio se identificaron teniendo en cuenta la siguiente secuencia:



Los factores condicionantes, también denominados “pasivos” son los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos y son intrínsecos a los materiales naturales.

Los factores desencadenantes, también denominados “activos” provocan la rotura una vez que se cumplen una serie de condiciones. Son factores externos que actúan sobre los suelos o macizos rocosos. De la investigación realizada se

identificó los escenarios de peligros naturales para la ciudad de Cerro de Pasco y su entorno los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar relacionados a las rocas calcáreas.

### **Peligros en el distrito de Chaupimarca**

#### **Hundimientos.**

En el distrito de Chaupimarca, en su parte central del distrito y los sectores Tahuantinsuyo, Túpac Amaru zona alta, que tiene de base roca los hundimientos el peligro es bajo.

En la periferia de la laguna de Patarcocha Este tipo de problema lo genera el tipo de suelo arcilla expansiva y lluvias intensas, según estadística (8%). En el sector de Chaquicocha se presenta el mismo tipo de problema por las características similares del suelo, porque en esta zona hay presencia de agua se observa suelo saturado y presencia de arcilla. Para esta área la calificación es considerada peligro alto.

En el asentamiento humano Uliachín que es el área de influencia de la falla regional, se observa hundimientos por el tipo de suelo y se observa grietas de tracción.

En la parte central del distrito de Chaupimarca en varios lugares se produjo hundimientos, (por información verbal de oficina de defensa civil Pasco), puede ser cavidades en rocas o suelos o labores mineras antiguas, para determinar las cavidades que pueden existir en el subsuelo se realizó con estudios geofísicos (georadar). Es considerado peligro medio.

## **Peligros en distrito de Yanacancha**

### **Hundimientos**

En todo el distrito de Yanacancha, no se observa este tipo de fenómeno, parte del área que circunda el tajo abierto se realizó una evaluación geofísica (georadar) para ubicar cavidades en el subsuelo, y evitar hundimientos.

## **Peligros en distrito de Simón Bolívar**

### **Hundimientos**

En Las áreas Centro Poblado de Paragsha, AA.HH. José Carlos Mariátegui parte baja y toda la zona que circunda el tajo abierto es necesaria e importante realizar una evaluación geofísica (georadar), para determinar cavidades en el subsuelo, por la cercanía de las operaciones mineras y evitar posibles hundimientos.

## **Mapa de peligros Geológicos y Geotécnicos**

En la ciudad de Cerro de Pasco, también existen numerosos peligros naturales que de convertirse en eventos generarían afectaciones de diferentes magnitudes en la ciudad capital y los distritos Yanacancha y Simón Bolívar. La identificación, evaluación y calificación de los peligros naturales siempre tienen que darse dentro de un contexto regional, en la medida que casi siempre, cuando estos peligros se convierten en eventos, tienen un impacto directo en el espacio territorial, incluyendo centros poblados, obras de infraestructura de servicios, etc.



**Tabla 4** *Parámetros para determinar la estratificación de peligros naturales en el distrito de Chaupimarca, Yanacancha, Simón Bolívar*

| ESTRATO/NIVEL             | DESCRIPCION O CARACTERISTICAS   | VALOR         | COLOR    |
|---------------------------|---|---------------|----------|
| PB<br>(Peligro Bajo)      | En la zona evaluada, <b>poca probabilidad</b> de ocurrencia en un tiempo determinado de los peligros de Origen Natural o Tecnológico o Inducido por el Hombre                 | < de 25%      | VERDE    |
| PM<br>(Peligro Medio)     | En la zona evaluada, existe una <b>probabilidad media</b> de ocurrencia en un tiempo determinado de los peligros de Origen Natural o Tecnológico o Inducido                   | De 26% a 50%  |          |
| ESTRATO/NIVEL             | DESCRIPCION O CARACTERISTICAS   | VALOR         | COLOR    |
|                           | por el Hombre   |               | AMARILLO |
| PA<br>(Peligro Alto)      | En la zona evaluada, existe una <b>probabilidad alta</b> de ocurrencia en un tiempo determinado de los peligros de Origen Natural o Tecnológico o Inducido por el Hombre      | De 51% a 75%° | NARANJA  |
| PMA<br>(Peligro Muy Alto) | En la zona evaluada, Existe una <b>Muy Alta Probabilidad de ocurrencia</b> en un tiempo determinado de los peligros de Origen Natural o Tecnológico o Inducido por el Hombre. | De 76% a 100% | ROJO     |

**Fuente:** Manual de estimación de riesgos INDECI 2006

### Hundimientos

Los factores condicionantes o pasivos para que se produzcan hundimientos, es el tipo de suelo; y los factores desencadenantes o activos, son los eventos sísmicos que puede ocurrir en la zona, y las lluvias intensas en la zona.

**Tabla 5** *Resumen de la estratificación de peligros naturales por geodinamica externa en el distrito de Chaupimarca*

| ORIGEN | TIPO         | LUGAR  | NIVEL | VALOR     |
|--------|--------------|--|-------|-----------|
|        |              | de influencia de falla geológica)  |       |           |
|        | Hundimientos | La zona Central del Distrito, AA HH. Tahuantinsuyo, AA. HH. Túpac Amaru parte alta, AAHH Uliachin. | medio | 26 a 50 % |
|        |              | Área contorno de laguna de Patarcocha , AAHH Uliachin (área de influencia de falla geológica)      | Alto  | 51 a 75 % |

En todo el distrito de Yanacancha, no se observa este tipo de fenómeno, Para esta área la calificación es considerado peligro bajo. Parte del área que circunda el tajo abierto se realizó una evaluación geofísica (georadar) para ubicar cavidades en el subsuelo, y evitar hundimientos.

### **Mapa de peligros generados por geodinámica externa**

#### **Escenario: distrito Simón Bolívar**

#### **Hundimientos.**

En Las áreas Centro Poblado de Paragsha, AA.HH. José Carlos Mariátegui parte baja y toda la zona que circunda el tajo abierto es necesaria e importante realizar una evaluación geofísica (georadar) para determinar cavidades en el subsuelo, por la cercanía de las operaciones mineras, y evitar posibles hundimientos, para esta área la calificación es de peligro medio.

***Tabla 6 Resumen de la estratificación de peligros naturales por geodinámica externa en el distrito de Simón Bolívar***

| ORIGEN | TIPO                         | LUGAR   | NIVEL | VALOR     |
|--------|------------------------------|---|-------|-----------|
|        | Hundimientos                 | En Las áreas Centro Poblado de Paragsha, AAHH José Carlos Mariátegui parte baja y toda la zona que circunda el tajo abierto | Medio | 26 a 50 % |
|        | Desestabilización de Taludes | Centro Poblado de Paragsha y AAHH José Carlos Mariátegui parte alta   | Medio | 26 a 50 % |

**Nota.** *Elaboración propia por el investigador.*

### **Evaluación de vulnerabilidad**

La vulnerabilidad está definida como el grado de fortaleza o debilidad que la población, sus bienes, infraestructura y funciones vitales puedan tener ante la ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico adverso. La naturaleza de la vulnerabilidad y los resultados de su evaluación varían: i) según el elemento

expuesto (integridad física de las personas, estructuras físicas, bienes, actividades económicas, recursos naturales, otros); y, ii) según las amenazas o peligros existentes (sismos, erosión, inundaciones, deslizamiento, otros). El nivel de traumatismo social que puede experimentarse en caso de desastres es inversamente proporcional al nivel de organización existente en la comunidad afectada. Las sociedades que poseen una mejor trama de organizaciones sociales, pueden asimilar mucho más fácilmente las consecuencias de un desastre y reaccionar con mayor rapidez que las que no la tienen. Una buena estructura social, con organizaciones adecuadamente diversificadas, constituye una importante medida de mitigación. Por otro lado, no debe olvidarse que hay dos tipos de vulnerabilidad: la vulnerabilidad por constitución o vulnerabilidad estructural, y, la vulnerabilidad por exposición. Además, que el incremento de la vulnerabilidad es directamente proporcional al aumento de la población. Las decisiones o la permisibilidad para ubicar a las familias en áreas propensas al peligro también incrementan la vulnerabilidad de la sociedad. Para efectos del presente estudio se hará abstracción de las precisiones teóricas sobre el aspecto impactable o de los atributos del elemento expuesto para concentrar la atención en la posibilidad de llegar con mayor claridad a conclusiones que puedan contribuir a reducir daños. Para la evaluación de la vulnerabilidad de la ciudad de Cerro de Pasco y su entorno urbano, se toma en consideración la capacidad de respuesta de las siguientes variables urbanas

### **Estimación de los escenarios de riesgos**

Estimar el nivel del riesgo en el que se encuentra la población cuyas viviendas se encuentra ubicado en la ciudad de Cerro de Pasco, provincia y departamento de Pasco. Así mismo, el presente estudio constituye una

herramienta importante que permitirá identificar en forma clara las amenazas y factores de vulnerabilidad de esta zona, determinando los riesgos existentes, visualizando potenciales daños y pérdidas ante la posible ocurrencia de eventualidades de origen natural o tecnológico. El estudio comprende los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar en un área de 768.27 Hás.

La metodología del estudio se realizará de acuerdo a los Lineamientos Técnicos del Proceso de estimación del Riesgo de desastres aprobado mediante Resolución Ministerial N°334-2012-PCM para Ciudades Sostenibles.

### **Determinación de los peligros *Identificación de los peligros***

#### **Identificación de los Peligros de Origen Natural**

- a) Sismo
- b) Deslizamiento
- c) Derrumbe
- d) Hundimientos

#### **Nivel de peligrosidad**

- a) Hundimientos

La ciudad de Cerro de Pasco se encuentra asentada sobre terrenos cuyas profundidades han sido excavados para la extracción de minerales, por lo que es importante analizar este tipo de peligro que se detalla en el siguiente cuadro:

**Tabla 7 Nivel de peligrosidad de los hundimientos**

| SECTORES  | ESTRATO/NIVEL                                 | DESCRIPCION O CARACTERISTICAS                          | VALOR |
|---|---|--|-------|
| 1,2, 14, 18, 19, 25,26,27                       | ACTIVIDAD MINERA EN ZONAS URBANAS             | zonas ubicadas en la periferia del tajo abierto        | 30%   |
| 10, 11, 13                                      | ZONAS EN AREA DE FALLA GEOLOGICA              | Zonas en área de influencia de la falla geológica      | 60%   |
| 4, 5,   | ZONAS SOBRE SUELO ARCILLOSO                   | zona de Chaquicocha, periferia laguna Patacocha, otros | 55%   |
| 3, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 20, 21, 22,23,24 | ZONAS URBANAS ALEJADAS DE LA ACTIVIDAD MINERA | áreas alejadas de la actividad minera                  | 10%   |
| PROMEDIO =                                      |   |  | 39%   |

### Cálculo de riesgos

#### Determinación de los niveles de riesgos

Habiendo identificado el peligro (P) a la que está expuesto el escenario ubicado en los sectores en estudio y realizado el análisis de vulnerabilidad (V) se procede a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo (R), es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos, etc.) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico.

El riesgo está determinado por la fórmula:  $R = P * V$

Dónde:

P = Peligro y

V = Vulnerabilidad

**Tabla 8 Matriz de peligro y vulnerabilidad**

|                  |                     |                      |                     |                         |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Peligro Muy Alto | Riesgo Alto         | Riesgo Alto          | Riesgo Muy Alto     | Riesgo Muy Alto         |
| Peligro Alto     | Riesgo Medio        | Riesgo Medio         | Riesgo Alto         | Riesgo Muy Alto         |
| Peligro Medio    | Riesgo Bajo         | Riesgo Medio         | Riesgo Medio        | Riesgo Alto             |
| Peligro Bajo     | Riesgo Bajo         | Riesgo Bajo          | Riesgo Medio        | Riesgo Alto             |
|                  | Vulnerabilidad Baja | Vulnerabilidad Media | Vulnerabilidad Alta | Vulnerabilidad Muy Alta |

Elaboración: Estimador de Riesgo.



**Leyenda:**

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Riesgo Bajo (menor a 25%)     |  |
| Riesgo Medio (26% al 50%)     |  |
| Riesgo Alto (51 al 75%)       |  |
| Riesgo Muy Alto (76% al 100%) |  |

**Tabla 9** Matriz de riesgos por sectores

CUADRO N° 6.20: MATRIZ DE RIESGOS POR SECTORES

| AMBITO DE ESTUDIO    |              | N°            | SECTOR  | NIVEL DE VULNERABILIDAD   | NIVEL DE PELIGRO | NIVEL DE RIESGO |          |
|----------------------|--------------|---------------|---|---|------------------|-----------------|----------|
| AMBITO MICROREGIONAL | AMBITO LOCAL | AMBITO URBANO | 1   | Centro Chaupimarca, Barrio Matadería, AA.HH. Cesar Cordova Quispe,Huaricapcha, Santa Rosa | Muy Alta         | Muy Alto        | Muy Alto |
|                      |              |               | 2   | Cercado Chaupimarca   | Muy Alta         | Muy Alto        | Muy Alto |
|                      |              |               | 3   | AA. HH. Tawantinsuyo  | Media            | Muy Alto        | Alto     |
|                      |              |               | 4   | Linderos del Cercado Chaupimarca  | Alta             | Muy Alto        | Muy Alto |
|                      |              |               | 5   | AA. HH. Tupac Amaru   | Media            | Muy Alto        | Alto     |
|                      |              |               | 6   | Linderos del Cercado Chaupimarca  | Alta             | Muy Alto        | Muy Alto |
|                      |              |               | 7   | Lotes Nuevos  | Media            | Alto            | Medio    |
|                      |              |               | 8   | AA. HH. Tawantinsuyo  | Media            | Alto            | Medio    |
|                      |              |               | 9   | Sector Relleno Patarcocha   | Alta             | Muy Alto        | Muy Alto |
|                      |              |               | 10  | AA. HH. Uliachín - AA.HH. Noruega   | Muy Alta         | Muy Alto        | Muy Alto |
|                      |              | 11            | AA. HH. Uliachín  | Alta  | Muy Alto         | Muy Alto        |          |
|                      |              | 12            | Bellavista  | Media   | Alto             | Medio           |          |
|                      |              | 13            | AA. HH. La Esperanza,Nueva Esperanza, Noruega Alta y Baja, El Misti | Alta  | Muy Alto         | Muy Alto        |          |
|                      |              | 14            | AA.HH. Virgen Inmaculada Concepción, Ayapoto                        | Alta  | Muy Alto         | Muy Alto        |          |
|                      |              | 15            | AA. HH. Columna Pasco   | Alta  | Alto             | Alto            |          |
|                      |              | 16            | AA.HH. Los Próceres, AA.HH. Techo Propio                            | Alta  | Alto             | Alto            |          |
|                      |              | 17            | AA. HH. Sector Salud, Asoc. de Vivienda de la XV Región Agraria     | Alta  | Alto             | Alto            |          |

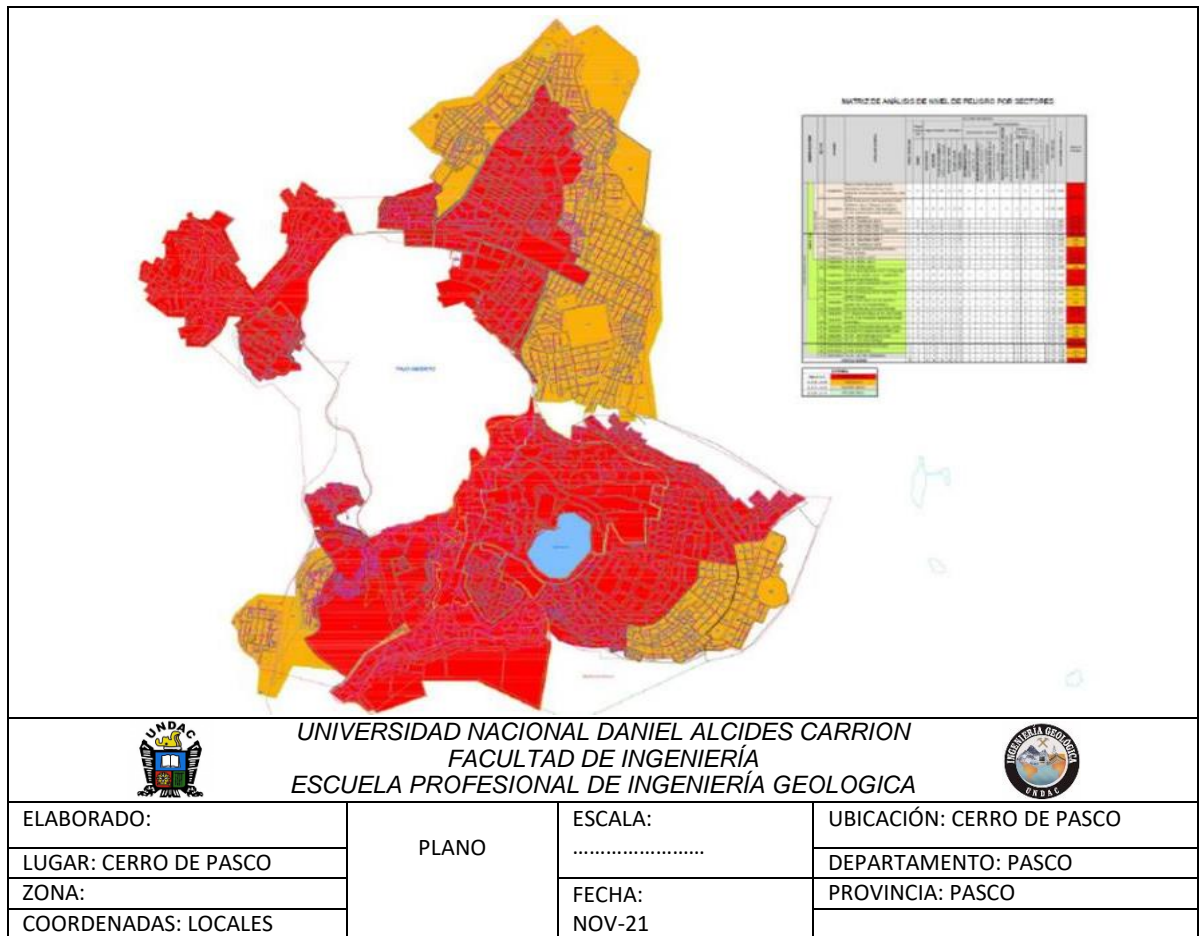
| AMBITO DE ESTUDIO |  |  | N° | SECTOR  | NIVEL DE VULNERABILIDAD | NIVEL DE PELIGRO | NIVEL DE RIESGO |
|-------------------|--|--|----|---|-------------------------|------------------|-----------------|
|                   |  |  | 18 | Urb. San Juan Pampa   | Muy Alta                | Muy Alto         | Muy Alto        |
|                   |  |  | 19 | Pueblo Trd. Yanacancha, AA. HH. Arturo Robles, Campamento 1ro de Mayo | Alta                    | Muy Alto         | Muy Alto        |
|                   |  |  | 20 | AA. HH. 27 de Noviembre, AA. HH. Vista Alegre                         | Alta                    | Muy Alto         | Muy Alto        |
|                   |  |  | 21 | Residencial Empleados   | Media                   | Alto             | Medio           |
|                   |  |  | 22 | AA. HH. Gerardo Patiño López  | Alta                    | Alto             | Alto            |
|                   |  |  | 23 | AA. HH. Victor Raul Haya de la Torre                                  | Alta                    | Alto             | Alto            |
|                   |  |  | 24 | AA.HH. José Carlos Mariátegui   | Alta                    | Muy Alto         | Muy Alto        |
|                   |  |  | 25 | C. P. Menor de Paragsha   | Alta                    | Muy Alto         | Muy Alto        |
|                   |  |  | 26 | AA. HH. Buenos Aires  | Alta                    | Alto             | Alto            |
|                   |  |  | 27 | Agrupación Familiar Champamarca                                       | Alta                    | Alto             | Alto            |

**LEYENDA**

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| RIESGO MUY ALTO | 76% al 100% |
| RIESGO ALTO     | 51% al 75%  |
| RIESGO MEDIO    | 26% al 50%  |
| RIESGO BAJO     | Menor a 25% |

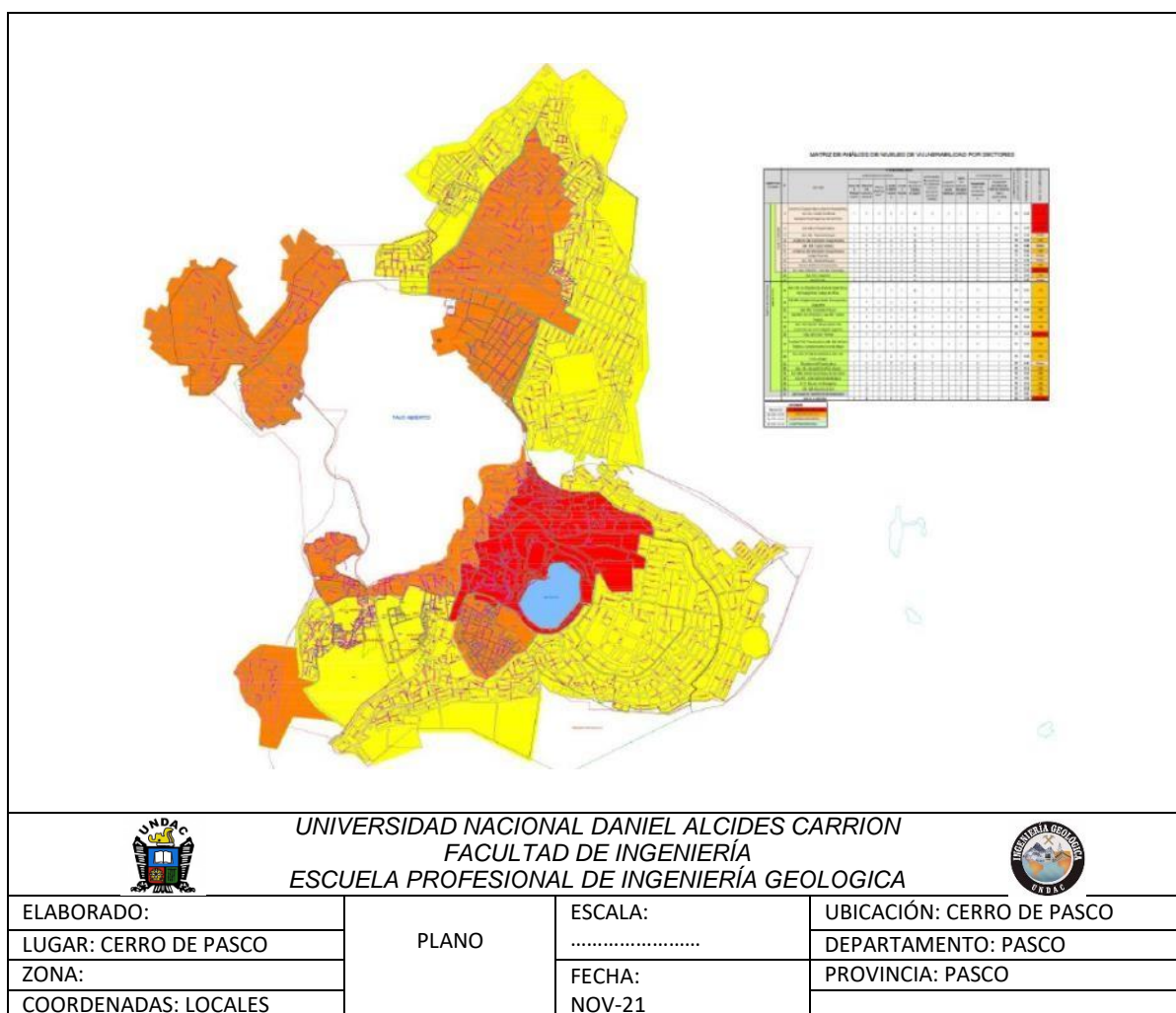
Fuente: INDEC. Elaboración: Equipo Técnico.

**Figura 72** Mapa de peligros



**Nota.** Elaboración propia basada en los datos del estudio realizado en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2021.

**Figura 73** Mapa de vulnerabilidad



**Nota.** Elaboración propia basada en los datos del estudio realizado en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2021.

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

##### **4.3.1. Hipótesis general**

Considerando la hipótesis general “La aplicación del método de georadar permite detectar la presencia de cavidades en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco”.

La investigación ha demostrado que utilizando la técnica de Georadar GPR se identificó las diferentes estructuras del subsuelo principalmente las cavernas y grietas de diferentes extensiones.

##### **4.3.2. Primera Hipótesis específica**

Si se aplica adecuadamente el método de georadar se caracteriza el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco.

Ha quedado demostrado que aplicando detalladamente el método de Georadar se caracterizó el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco, para los cuales se realizaron 7 tramos con antenas de 100 MHz y 500Mhz considerando la profundidad donde se encuentran las cavernas y las grietas y su extensión.

##### **4.3.3. Segunda Hipótesis específica**

Si se determina la presencia de cavidades y otras estructuras en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco se identifica áreas expuestas al peligro:

Interpretando los diferentes radargramas, se delimitó todas las cavernas y grietas en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco y en base a estos resultados se definió los niveles de peligros para finalmente realizar el mapa de riesgos los cuales serán de mucha importancia para determinar la vulnerabilidad de la ciudad.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Considerando que la metodología es cualitativa no destructiva, y que la calidad de la interpretación depende del medio (tipo de material) donde la onda

se propagó (velocidad), y que ésta depende de la composición mineralógica el cual es influenciada a través de las permitividades eléctricas y magnéticas.

Se da entender que si existe menor precisión de 90 a 95% cuando el material es errático, antrópico y de variaciones abruptas topográficas de difícil acceso. Para optimizar este aspecto, se interpreta como segmentos rectos, con la finalidad de visualizar con mayor precisión las anomalías.

Por otro lado, para la mejora de estos aspectos se densifica la traza de GPR pero se profundidad, por lo que en este caso del estudio se presentó una combinación media de acuerdo a las disposiciones de campo y para la mejora de cada sección se utilizaron líneas de colores resaltantes y siglas para marcar e identificar los reflectores de Georadar.

En los planos de ubicación, se ubicó puntos rojos el cual nos indica donde están ubicados las cavidades de mayor interés (3 a 5 metros de ancho) y profundidades que superan los 15 metros, datos que fueron tomados con la antena de 100 MHz.

Asimismo, para optimizar la precisión todas las anomalías identificadas se apoyaron con las observaciones de campo y al patrón del contraste dieléctrico de la zona de subsuelo. Donde la variación de la frecuencia en ciertos intervalos de las secciones define la presencia de contraste buzones de desagüe o alcantarillado los materiales que presentan diferentes propiedades electromagnéticas. menos (Razón por la que se usó dos antenas de diversas frecuencias 500 y 100 MHz.).



## **CONCLUSIONES**

1. La aplicabilidad de la técnica de GPR, en conjunto con datos geotécnicos y geológicos demuestra ser una metodología eficaz para la caracterización de materiales, ubicación de cavidades y túneles.
2. El equipo utilizado contribuyó en la definición de anomalías presentes en la zona de estudio.
3. Los resultados obtenidos de cada sección de GPR, destacan principalmente la identificación de anomalías de cavidades, contacto entre materiales y grietas, estas se deben al contraste dieléctrico del material y la composición de la misma que se encuentran sujetas esencialmente al volumen y a la permitividad iónica del entorno de la zona.
4. Para el desarrollo de un modelo reflector claro, se utilizaron filtros como el subtract- shift, static correction, band pass butterworth y el back ground; además de un muestreo horizontal de 0.02 m y 0.20 según la antena utilizada. Factores predeterminantes para obtener la mejor respuesta del Georadar y mantener un control de profundidad y realizar interpretaciones certeras en cuanto a las reflexiones de las secciones de GPR.
5. De acuerdo a las secciones e ubicación del reflector se identificó cavidades y fisuras propias del subsuelo que pudieron haber sido ocasionado por filtraciones o encadenamiento de canales de H<sub>2</sub>O, el cual desde el punto de vista cualitativo apoyara a un estudio de vulnerabilidad en función al riesgo de la profundidad y ancho de cada anomalía.

## **RECOMENDACIONES**

1. La técnica de la observación debería ser global y para todo el entorno que facilitan las interpretaciones de las secciones de GPR resultantes. Por un lado, precisando las posiciones relativas de los distintos factores causantes de ruido (cables eléctricos, tuberías, material suelto, etc.) y por otro lado, en cuanto a las variaciones geológicas y topográficas.
2. Realizar otros estudios geofísicos, como los métodos eléctricos para que se tengan mayor robustez en los resultados.
3. Los equipos deben estar configurados adecuadamente para evitar errores en los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila Vargas Oscar, 2012, Criterio de interpretación estratigráfica en trazas de muestreo con el método geofísico del GPR (Ground Penetrating Radar) por medio de análisis de imágenes, tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Blancas Vázquez Jorge Estanislao, 2000, PRINCIPIOS Y APLICACIONES DEL METODO DE RADAR DE PENETRACION TERRESTRE (GPR), tesis de licenciatura, UNAM, México.
- 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.
- 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>
- 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>


- 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>
- Sánchez Mederos Kerly L. 2004, APLICACIÓN DE RADAR DE PENETRACIÓN DE SUELOS (GPR) PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE SUELOS, tesis de licenciatura, Universidad Central de Venezuela.
- Tavera, M. (2011). Aplicación del georadar para la mejora del rendimiento de una red hídrica. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12248>

## **ANEXOS**



# Instrumentos de recolección de datos

## Ficha de Proyecto N° 01

| MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PASCO  |   |   |                             |
|--|---|---|-----------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>PLAN DIRECTOR URBANO DE LOS DISTRITOS DE CHAUPIMARCA, YANACANCHA Y SIMÓN BOLÍVAR |   | Programa<br>IMPLEMENTACIÓN DE DOCUMENTOS DE GESTIÓN<br>Código P - 01                                      |                             |
| 1.   | ASPECTOS GENERALES  |   |                             |
|  | 1.1 Ubicación   | 1.2 Antecedentes  | 1.3 Naturaleza del Proyecto |
|  | Distrito de Chaupimarca, provincia de Pasco-Pasco.  | Existe Plan Urbano antiguo, por lo que debe actualizarse.   | ESTUDIO                     |
|  |   |   | 1.4 Prioridad               |
|  |   |   | 01 1.1                      |
| 2  | IDENTIFICACION  |   |                             |
|  | 2.1 Identificación del Problema   | 2.2 Entidades Involucradas  |                             |
|  | Proliferación de Asentamientos Humanos en el entorno de la ciudad, destruyendo coberturas vegetales y fauna. Incremento de enfermedades contagiosas y diarreicas por falta de salubridad en la población. | Municipios Distritales, DIRESA Pasco, Gobierno Regional, Ministerio de Agricultura, ALA Pasco, Cerro SAC. |                             |
|  |   | 2.3 Beneficiarios   |                             |
|  |   | Población de Cerro de Pasco y sus entornos.   |                             |
| 3  | FORMULACION DEL PROYECTO  |   |                             |
|  | 3.1 Descripción del Proyecto  | 3.3 Tiempo de Ejecución   |                             |
|  | Estudio topográfico del casco urbano, actualización del mismo, identificar servicios básicos existentes, colocar hitos en los límites en coordinación con las autoridades existentes.                     | 04 meses  |                             |
|  | 3.2 Objetivo General  | Fotos del Área de Intervención:   |                             |
|  | Mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones beneficiarias, con el cuidado de los recursos agua, suelo y planta.   |                       |                             |
| 4  | ASPECTOS ECONÓMICO – FINANCIEROS  |   |                             |
|  | 4.1 Presupuesto Estimado  | 4.2 Alternativas de Financiamiento  |                             |
|  | S/. 20,000.00   | MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PASCO, CANON MINERO.  |                             |

## PANEL FOTOGRÁFICO

### ANEXO A. Panel fotográfico del levantamiento con georadar en Cerro de Pasco

#### *Levantamiento con el georadar en el área de estudio*



**Nota.** Fotografía tomada durante el trabajo de campo en Cerro de Pasco, 2021.

#### **Figura A2**

#### *Instalación del equipo Georadar durante el inicio del levantamiento*



**Nota.** Fotografía tomada en campo en Cerro de Pasco, 2021.

### **Figura A3**

*Vista de la adquisición de una sección de georadar en forma longitudinal*



**Nota.** Fotografía tomada durante la ejecución del perfil GPR longitudinal, Cerro de Pasco, 2021.

### **Figura A4**

*Vista panorámica de la adquisición de datos con la antena de 500 MHz*



**Nota.** Fotografía tomada en el sector de campo con antena de alta frecuencia, Cerro de Pasco, 2021.

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TÍTULO DE TESIS: “Aplicación del método de georadar y detección de cavidades en el subsuelo de Cerro de Pasco, 2021”.**

| PROBLEMA  | OBJETIVO  | HIPÓTESIS  | VARIABLE                      |
|---|---|--|-------------------------------|
| <b>PROBLEMA GENERAL:</b><br>¿Será factible aplicar el método de georadar para detectar la presencia de cavidades o zonas de karstificaciones en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco, 2021?   | <b>OBJETIVO GENERAL:</b><br>Generar el modelo litológico y realizar en la interpretación del lado Oeste del Tajo Abierto “Raúl Rojas” de la Empresa Administradora Cerro SAC.   | <b>HIPÓTESIS GENÉRICO:</b><br>La aplicación del método de georadar permite detectar la presencia de cavidades o zonas de karstificaciones en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco  | <b>Método de Georadar</b>     |
| <b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b><br>¿Será factible definir la aplicabilidad del método de georadar para la caracterización del subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco?<br>¿Será factible determinar la presencia de cavidades y otras estructuras en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco para identificar áreas vulnerables? | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b><br>Aplicar el método de georadar para detectar la presencia de cavidades en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco.<br>Detectar en el subsuelo la presencia de cavidades o zonas de karstificaciones y delimitar áreas, con la finalidad de tener una herramienta más para evaluar la vulnerabilidad de la zona de estudio. | <b>HIPOTESIS ESPECÍFICOS:</b><br>Si se define adecuadamente el método de georadar se caracteriza subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco.<br>Si se determina la presencia de cavidades y otras estructuras en el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco se puede identificar áreas vulnerables. | <b>Detección de cavidades</b> |