



**INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO  
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**



## **INFORME**

**“INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA CON GEORADAR –GPR EN EL SECTOR  
DEL CRÁTER DEL METEORITO EN CARANCAS” – DESAGUADERO –  
PUNO.**

**Por: Ing. Walter Pari Pinto**

**Abril, 2008  
LIMA-PERU**

# **“Investigación Geofísica con Georadar en el sector del cráter del meteorito en Carancas – Desaguadero- Puno”.**

## **CONTENIDO**

- 1. Introducción**
  - 1.1 Ubicación**
- 2. Especificaciones del Levantamiento**
  - 2.1 Personal**
  - 2.2 Fundamentos de la Técnica del Georadar**
  - 2.3 Trabajo de campo**
    - 2.3.1 Equipo**
    - 2.3.2 Procedimiento en Campo**
    - 2.3.3 Control de Calidad**
- 3. Procesamiento y Edición de Radargramas**
  - 3.1 Procesamiento**
  - 3.2 Presentación de Radargramas Procesados**
- 4. Interpretación Geofísica**
  - 4.1 Determinación de Anomalías**
- 5. Discusión de Resultados e Interpretación**
  - 5.1 Línea A**
  - 5.2 Línea B**
  - 5.3 Línea C**
  - 5.4 Línea D**
  - 5.5 Línea E**
  - 5.6 Línea F**
- 6. Conclusiones y Recomendaciones**

### **Lista de Tablas**

**Tabla N° 1. Cobertura detallada del levantamiento con georadar.**

**Tabla N° 2. Parámetros para el levantamiento con antenas de 50 y 100 MHz.**

### **Lista de Figuras**

**Figura N° 1: Ubicación del área de estudio con Georadar en el sitio del Cráter de meteorito-Carancas.**

**Figura N° 2: Equipo pulse Ekko pro (biestatico).**

**Figura N° 3: Formación de un radargrama (modo reflexión).**

### **Anexos**

**A. Radargramas Interpretados - cráter meteorito**

**B. Catálogo de Fotos del Trabajo de Campo en cráter del meteorito.**

## 1.- Introducción

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico a solicitud del gobierno regional de Puno se procedió a llevar a cabo el día 27 de octubre un estudio de investigación geofísica con el método del georadar GPR pulse EKKO PRO. Cuyo objetivo fue reconstruir las características del cráter e identificar las posibilidades de que existan fragmentos o restos del meteorito caído en el área. Así como también determinar zonas anómalas relacionadas a la deformación de suelos ocasionados por el impacto del meteorito caído y delimitar las diferentes capas de material superficial (suelos, limos y arenas)

Los resultados del estudio geofísico se presentan en este informe el cual contiene a su vez una descripción de los procedimientos de levantamiento, metodología, resultados e interpretación.

### 1.1 Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada en la comunidad de Carancas, distrito Desaguadero, provincia de Chicuito de la región Puno entre las siguientes coordenadas geográficas: 16°39'52" Lat. Sur y 69°02'38" Long. Oeste a una altura de 3824 msnm. (Figura N° 1).

## 2.- Especificaciones del Levantamiento

### 2.1 Personal

Ing. Walter Pari Pinto

Geofísico - INGEMMET

Dr. Mario Ramírez  
(Universidad de Pachuca – México)

Geólogo especialista en meteoritos

Dr. Hernando Núñez del Prado

Geólogo - INGEMMET

Se tuvo la asistencia de personal de la comunidad de Carancas en coordinación con el gobierno regional de Puno quien nos brindó todas las facilidades del caso.

### 2.2 Fundamentos de la Técnica del Georadar

El Georadar, es una técnica no destructiva que permite realizar una exploración del subsuelo en superficie mediante la emisión de pulsos electromagnéticos. Cuando el pulso electromagnético de poca duración (nanosegundos) emitido por la antena transmisora atraviesa la superficie experimenta reflexiones al incidir sobre interfaces u objetos con diferentes propiedades electromagnéticas y diferente permeabilidad, esta onda de regreso es captada por la antena receptora. Bajo un mismo punto de observación se tendrá un conjunto de reflexiones que constituirán una traza, al desplazar las antenas sobre la superficie se van detectando y almacenando un conjunto de trazas en la línea de desplazamiento de las antenas, de esta forma se van formando una especie de "radiografía" del subsuelo, a la que se le denomina radargrama, la Fig. 3 muestra la formación de un radargrama. En el eje de la abscisas se tiene la longitud de la línea de exploración que corresponde a la longitud de desplazamiento de la antena en una dirección, en el eje de las ordenadas se tiene el tiempo de ida y vuelta del pulso, si se conoce la velocidad de la onda en el medio el eje de ordenadas puede ser convertido a profundidad.



**Figura Nº 1:** Ubicación del área de estudio con Georadar en el sitio de la caída del meteorito (Sector del Cráter) en el sector de la comunidad de Carancas-desaguadero-Chucuito-PUNO.

## 2.3 Trabajo de Campo

### 2.3.1 Equipo utilizado

El equipo empleado es un GEORADAR pulseEKKO PRO de la compañía canadiense, Sensors & Software, Fig. 2, consiste de lo siguiente: Tres antenas de alta frecuencia (50, 100 y 200 MHz), Transmisor y Receptor, Pulsador eléctrico, un sistema de adquisición de datos Digital Video Logger (DVL) con software incorporado para el ingreso de los parámetros del GPR, control de adquisición, parámetros de levantamiento, selección de directorios, archivos de almacenamiento y colección de líneas de datos, Cables de fibra óptica y Baterías.

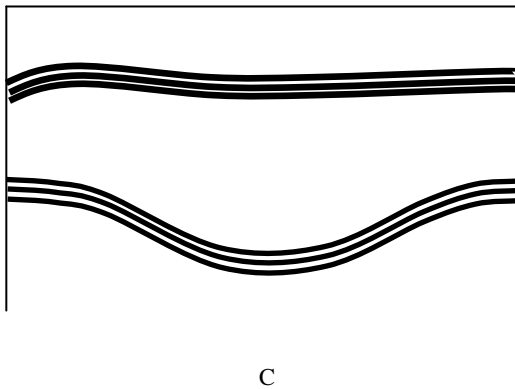
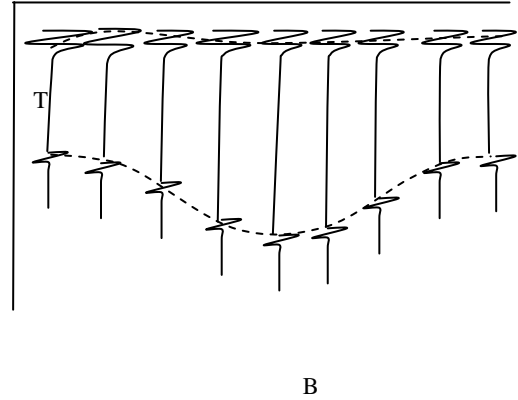
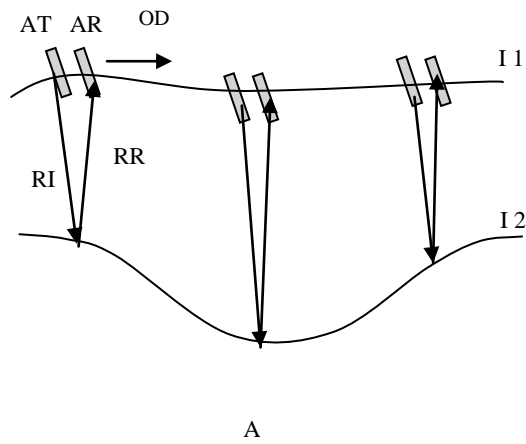


(a)



(b)

**Figura N° 2:** Equipo pulse Ekko pro (biestatico). (a) Antenas no blindadas de 200 MHz., (b) Sistema de adquisición de datos con software incorporado (DVL).



**Figura N° 3:** Formación de un radargrama (modo reflexión).

(A) Proceso de adquisición de datos, Antena Transmisora (AT), Antena Receptora (AR), Onda directa (OD), Rayo incidente (RI), Rayo Reflejado (RR), interfase aire y primer medio (I1), interfase primer y segundo medio (I2)

(B) Radargrama formado por varias trazas (T), formato wiggle, (C) Radargrama en formato scan (en banda del gris o colores asignados a diferentes amplitudes)

### 2.3.2 Procedimiento en Campo

Se realizó un previo reconocimiento de los sectores a investigar, teniendo en cuenta la topografía del lugar de impacto y geología del área de estudio..

Luego se procedió a realizar el levantamiento respectivo previo control de la calibración del método geofísico del Georadar-GPR en modo reflexión, en la zona del cráter del meteorito con el fin de caracterizar los reflectores de las señales electromagnéticas en las secciones de georadar en zona de cráter del meteorito.

El estudio geofísico de campo se llevó a cabo el día 27 de octubre del 2007 ejecutándose una red de 6 líneas intersectadas en el cráter del meteorito, : (Líneas A, B, C, D, E y F) (Tabla N°1), para los propósitos de la investigación se utilizaron frecuencias de 200 MHz y en la línea F de 100 Mhz

**Tabla N°1: LÍNEAS DE GEORADAR EN EL  
CRÁTER DEL METEORITO**

LÍNEA	COORDENADAS UTM / ZONA 19			
	INICIO		FINAL	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
LÍNEA A	495 346	8 157 641	495 389	8 157 622
LÍNEA B	495 349	8 157 629	495 375	8 157 617
LÍNEA C	495 371	8 157 647	495 348	8 157 607
LÍNEA D	495 374	8 157 635	495 360	8 157 612
LÍNEA E	495 376	8 157 626	495 349	8 157 626
LÍNEA F	495 366	8 157 641	495 362	8 157 611

Se exploraron con dos tipos de antenas, para el área del cráter del meteorito se usaron las antenas de 100 MHz, que proporcionaron una profundidad de investigación de aproximadamente 4.5 m, se trabajó también con las antenas de 50 MHz, para obtener mayor profundidad de investigación aproximadamente 9 m. Se realizaron 6 líneas, dando una longitud total de exploración de 208 m.

### 2.3.3 Control de Calidad

Con el fin de asegurar la calidad y precisión de los datos se tomaron en cuenta los parámetros del manual del equipo de georadar y que están citados en la Tabla N° 2.

**Tabla N° 2.** Parámetros para el levantamiento con antenas de 50 y 100 MHz.

Frecuencia de la antena(MHz)	Profundidad de Investigación (m)	Ventana de Tiempo (ns)	Intervalo de Muestreo (ns)	Separación mínima de antenas (m)	Separación entre Estaciones(m)	Velocidad de la onda en el medio (m/ns)
100	4	100	0.8	1.0	0.25	0.1
50	9.0	400	1.6	2.0	0.5	0.1

Los datos fueron tomados con una velocidad de 0.1 m/ns, este valor por defecto no altera la interpretación que se haga posteriormente sobre el radargrama ya que después de la calibración de este se obtiene la velocidad de onda en el medio, se aplicó un control automático de ganancia (Automatic Gain Control, AGC), con el objetivo de que todas las reflexiones producidas sean vistas con la misma intensidad durante la toma de los datos y permita tomar la decisión de continuar explorando o no el área.

### **3.- Procesamiento y Edición de Radargramas**

Los radargramas sin procesar nos dan una interpretación cualitativa, como la evidencia de una respuesta uniforme, la presencia de anomalías representadas por cuerpos reflectores y discontinuidades del medio, sin embargo es necesario realizar una edición y procesamiento de datos que comprende varios pasos con el objetivo de resaltar las anomalías, definir los estratos y encontrar sus profundidades, el procesamiento y la edición ha sido realizada con los software Ekko view deluxe .

#### **3.1 Procesamiento**

#### **3.2 Presentación de Radargramas Procesados**

Los radargramas procesados y editados con el Ekko view Deluxe, se encuentran en el anexo A, las líneas continuas de color celeste y verde corresponden a las interfaces donde se puede observar el grado de deformación del suelo producto del impacto del meteorito.

### **4.- Interpretación Geofísica**

Una vez efectuado el procesamiento de los radargramas, se definen los tipos de anomalías en estos. Las anomalías están representadas por : **reflectores hiperbólicos (anomalías de tipo hiperbólico)**, que pueden constituir grandes bloques de roca, cavidades, etc., **reflectores lineales (horizontales, verticales, inclinados o curvos)**, que corresponden a las interfaces entre dos medios de diferentes propiedades electromagnéticas indicando la presencia de diferentes capas, nivel freático, fracturas y fallas así también si estos son de pequeña extensión pueden indicar hoyos, cavidades o removimientos del suelo y secuencia estratigráfica.

La primera interpretación cualitativa de los radargramas, nos permite apreciar las condiciones del subsuelo que han sufrido deformaciones hasta una profundidad de 7 m en la zona de impacto con abertura horizontal de 13 m en superficie. La primera capa constituida por un suelo arcilloso limoso poco compactado (representado en el radargrama por un reflector plano), seguido de una segunda capa de material de gravas finas y gruesas en matriz arcillo limoso. Por debajo se encuentran las gravas y arenas saturada de agua.

#### **4.1 Determinación de Anomalías**

La calibración de los radargramas, ha consistido en obtener la velocidad de la onda en cada sector. La velocidad de la onda en cada sector permite determinar la profundidad de penetración de la señal, así como la profundidad de cada anomalía.

Con la velocidad de onda, obtenida en el sector del cráter se ha determinado una profundidad de investigación máxima de aproximadamente 8 metros.



## **7. Discusión de Resultados e Interpretación**

### **5.1 Línea A (Lamina N°1)**

Con rumbo noroeste a sureste, con una longitud de 47 m, la profundidad de investigación fue de aproximadamente 3m. Se há definido três capas. La primera capa constituida por un suelo arcilloso limoso poco consolidado superficial cuyo espesor varia de 0.6 a 0.9 m que corresponden al piso del lugar; le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arcillo limosa, bajo esta se tiene una capa más compacta y permeable, el limite inferior corresponde al nivel de marca (línea discontinua). La terceira capa está constituido de arenas con gravas saturadas de agua (Acuífero) y que presenta baja amplitud y poca dispersión. (La zona deformada del cráter se encuentra ubicado entre 18 a 30 metros y representado en el radargrama por múltiples reflectores). Se há determinado anomalias puntuales al NW y SE entre los puntos 16 y 18 m muy probablemente se deba al amortiguamiento del impacto del meteorito y por otro lado no se há determinado alguna anomalia que identifique a un cuerpo importante enterrado debajo de la zona de impacto. Las anomalias laterales es a causa del cerco perimétrico del alambre que rodea al cráter que sirve de protección e instalado por los comuneros del lugar.

En esta sección la separación de las antenas de 200 MHz fue de 0.5 m con 0.1 m de registro de estaciones.

### **5.2 Línea B (Lámina N°2)**

Con una longitud de 28 m y con rumbo NW-SE se ha determinado tres capas. La primera capa constituida por un suelo arcillo limoso poco consolidado superficial, con espesores que varía de 0.3 a 0.8 m, que corresponde al piso del lugar, le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arcillo limosa, bajo esta se tiene una capa más compacta permeable con contenido de agua (acuífero), constituido de arenas con gravas y que presenta baja amplitud y poca dispersión. (La zona deformada del cráter se encuentra ubicado entre 13 y 22 metros y representado en el radargrama por múltiples reflectores). Se ha determinado tres anomalías puntuales en 10, 12 y 15 m corresponden al amortiguamiento del impacto y la zona de deformación entre 15 a 22 m.

### **5.3 Línea C (Lámina N°2)**

Línea con rumbo NE-SW con una longitud de 47 m, cuya profundidad de investigación fue de aproximadamente 3 m. Se ha definido tres capas. La primera capa constituida por un suelo arcillo limoso de espesores que varia de 0.6 a 0.8 m, poco consolidado superficial, subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arcillo limosa, bajo esta se tiene una capa más compacta permeable con contenido de agua (acuífero), constituido de arenas con gravas y de baja amplitud y poca dispersión. (La zona deformada del cráter se encuentra ubicado entre 20 y 34 metros y representado en el radargrama por múltiples reflectores). No se há determinado algún cuerpo importante enterrado debajo de la zona de impacto. Las anomalías laterales es a causa del cerco perimétrico de alambre que rodea al cráter. Se há determinado anomalías puntuales en 17 y 18 m que corresponden al amortiguamiento del impacto.

#### **5.4 Línea D (Lámina N°4)**

La profundidad de investigación fue de aproximadamente 3 m, con rumbo NE-SW similarmente se encontraron 3 capas. Se determinó la presencia de una zona de deformación entre 13 a 20 m, con una longitud de 27 m y la profundidad de investigación fue de aproximadamente 3 m. Se ha definido de igual forma tres capas: La primera capa constituida por un suelo arcillo limoso poco consolidado superficial de espesor 0.7 a 0.9 m, le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arcillo limosa de aproximadamente 1.2 a 1.3 m, debajo se tiene una capa más compacta permeable con contenido de agua (acuífero), constituido de arenas con gravas y que presenta baja amplitud y poca dispersión. Se ha determinado dos anomalías de amortiguamiento en los puntos 8 a 11 m.

#### **5.5 Línea E (Lámina N°5)**

La línea se ejecutó de oeste a este con una antena de 200 MHz y profundidad de investigación fue de aproximadamente 3 m, se ha determinado tres capas. La primera capa constituida por un suelo arcillo limoso poco consolidado superficial de espesores que varían de 0.5 a 0.7 m, le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arcillo limosa, bajo esta se tiene una capa más compacta permeable con contenido de agua (acuífero), constituido de arenas y gravas y que presenta baja amplitud y poca dispersión. Se ha determinado tres anomalías puntuales de 5, 7 y 10 m que corresponden a la zona de amortiguamiento delo impacto. La zona de deformación se encuentra entre 7 a 18 m.

#### **5.6 Línea F (Lámina N°6)**

La profundidad de investigación fue de aproximadamente 8 m, cuyo rumbo fue N-S con una longitud de 31 m, con una antena de 100 MHz y profundidad de investigación fue de aproximadamente 8 m, similarmente se encontraron 3 capas. La primera capa constituida por un suelo arcillo limoso poco consolidado superficial con espesores de entre 0.5 a 0.7 m (suelo del lugar), le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques en matriz arcillo limosa, bajo esta se tiene una capa más compacta permeable con contenido de agua (acuífero), constituido de arenas con gravas y que presentan baja amplitud y poca dispersión. Se determinó la presencia de la zona de deformación entre 14 a 27 m, donde se presenta múltiples reflectores.

## **6.- Conclusiones y Recomendaciones**

- Las líneas de Georadar – GPR muestran reflectores electromagnéticos que corresponden a patrones de reflexión bien definida que indican claramente cambios litológicos y de deformación del suelo, causados por la constante dieléctrica, permitividad y conductividad eléctrica del medio.

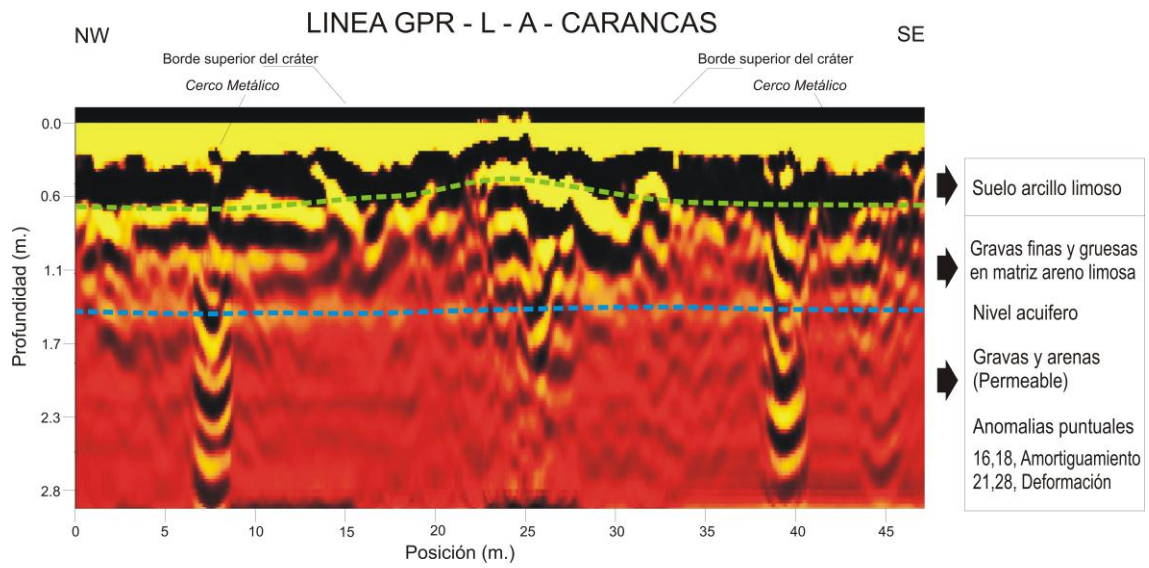
- Del análisis de los Radargramas tanto para 3 m y 9 m de profundidad de investigación en el sector del cráter se ha determinado la presencia de una zona de deformación y se encontraron 3 capas. La primera capa constituida por un suelo arcillo limoso poco consolidado superficial, le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arcillo limosa, por debajo se tiene una capa más compacta permeable con contenido de agua (acuífero), constituido de arenas con gravas y que presenta baja amplitud y poca dispersión.

- Se han determinado anomalías puntuales que corresponden a la zona de amortiguamiento y se encuentran en dirección opuesta a la dirección de la trayectoria del impacto.

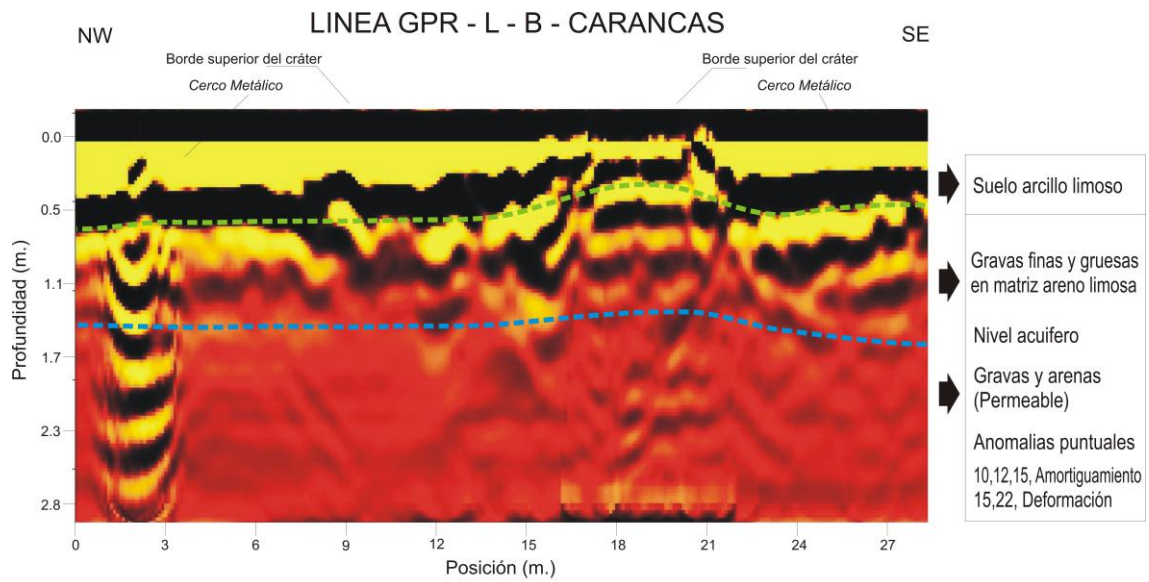
Del análisis de los Radargramas hasta la profundidad de 9 m, no se ha encontrado alguna anomalía hiperbólica importante que nos indique la presencia de algún material extraño y/o restos de material de meteorito, en profundidad.

# **ANEXOS**

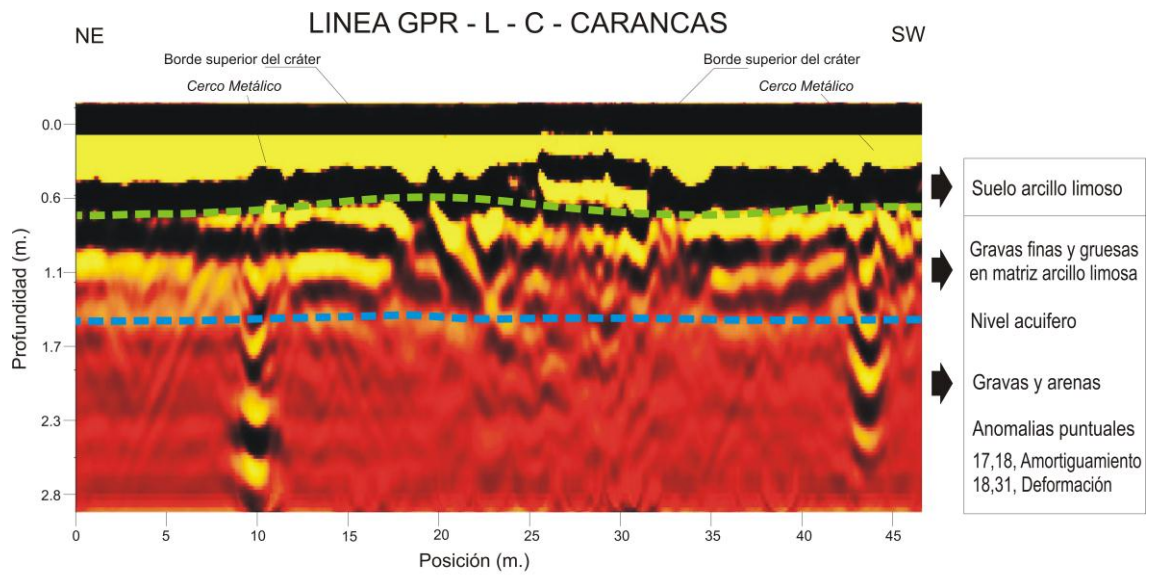
**ANEXO A: RADARGRAMAS  
INTERPRETADOS - CRATER DEL  
METEORITO**



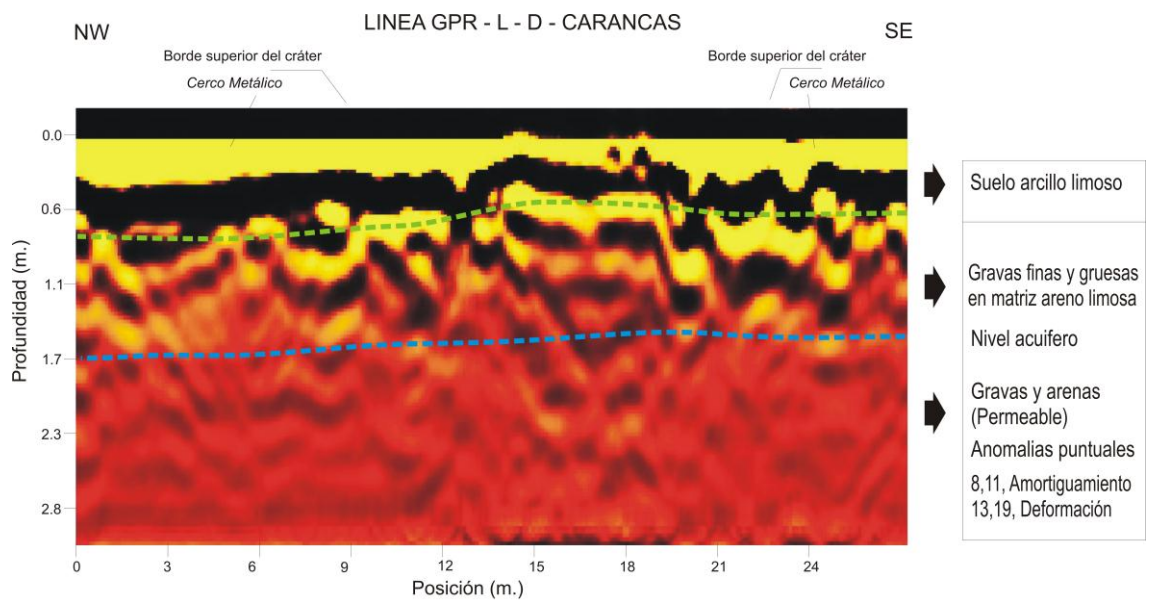
(Lamina N°1)



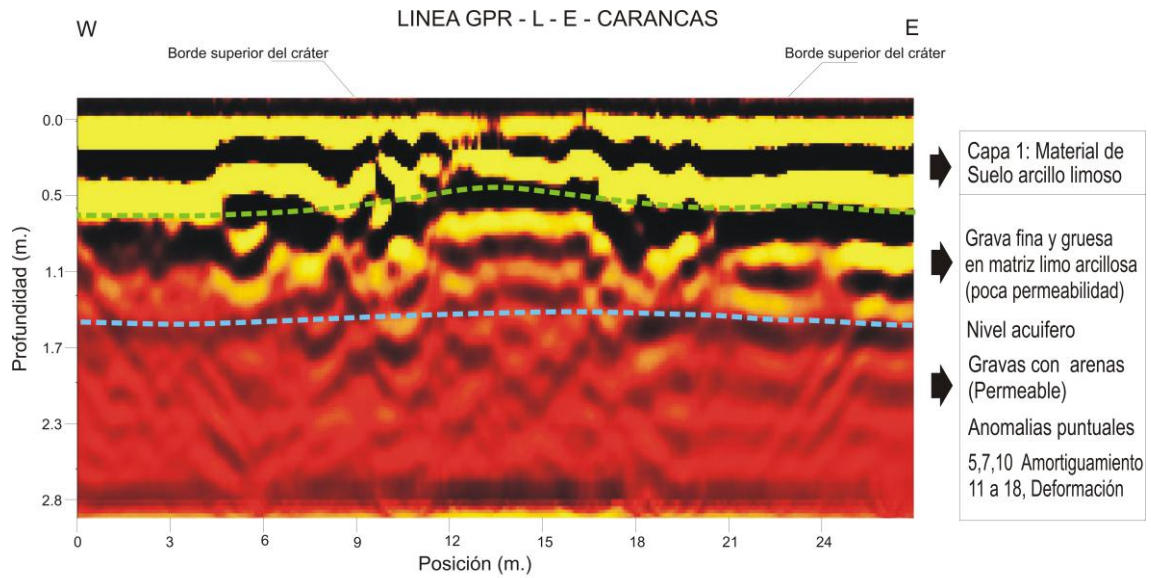
(Lamina N°2)



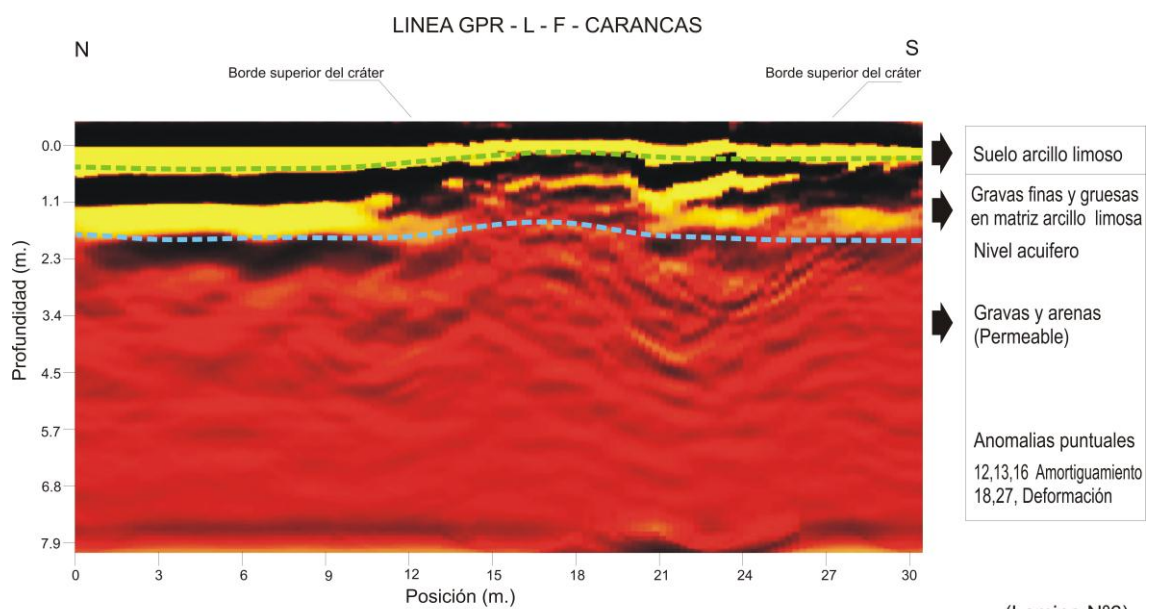
(Lamina N°3)



(Lamina N°4)



(Lamina N°5)



(Lamina N°6)



**ANEXO B: CATALOGO DE FOTOS DEL  
TRABAJO DE CAMPO EN EL CRATER  
DEL METEORITO**



Foto N° 1: Vista panorámica hacia noreste del área de investigación geofísica donde se muestra los sectores y líneas ejecutadas con Georadar GPR-Pulse Ekko Pro.



Foto N° 2: Vista del armado del Equipo de Georadar nótese las dos antenas Receptor y trasmisor el pulsador y DVL del Georadar GPR-Pulse Ekko Pro.



Foto N° 3: Suelo de la Explanada, se puede ver una primera capa poco consolidada, seguida de una capa de gravas finas, gruesas y bloques, con una matriz arcillosa.



Foto N° 4: Zona de excavaciones en la explanada, donde se puede ver parte de la estratificación constituida de grava fina, gruesa y bloques.