IMPORTANCIA DEL ESTUDIO CON GEORADAR PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL CRATER Y LA RECONSTRUCCIÓN DE LA DIRECCION DEL IMPACTO DEL METEORITO DE CARANCAS

H. Núñez del Prado, W. Pari, M. Ramírez-Cardona, J. Macharé. L. Macedo

[1] Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, San Borja, Lima 41, Perú (hnunezprado@yahoo.com), [2] Universidad Autónoma, Hidalgo, México

INTRODUCCIÓN

Un inusual evento acaeció en la localidad de Carancas, distrito de Desaguadero, región Puno en el sur del Perú, el 15 de septiembre, del año 2007 a las 16.45. h TU: un meteorito impactó en una zona despoblada, con las siguientes coordenadas geográficas: 16º39'52'' Lat. Sur y 69º02'38'' Long. Oeste a una altura de 3824 msnm. (Figura Nº 1)

El evento originó una fuerte explosión que se escuchó hasta en el poblado de Desaguadero distante a 12 Km en línea recta y un movimiento sísmico registrado en el observatorio de la ciudad de la Paz. El lugar del impacto fue el borde norte del río Callacane, curso de agua estacional, que discurre de oeste a este, donde el nivel freático se encuentra a aproximadamente 1.50 m de profundidad. Ante el choque, se produjo un agujero y el agua brotó, dando lugar a un "hongo" gaseoso, producto del contacto del objeto caliente con el agua fría. Parte de la composición mineralógica del meteorito, era altamente tóxica e irritante, lo que dio lugar a que los gases originasen problemas de nauseas y dolores de cabeza a los pobladores que se acercaron.

Poco después del evento, la policía llegó al lugar procediendo a recoger fragmentos de rocas del meteorito. Los investigadores llegaron a la zona entre 24 y 36 horas después de ocurrido el impacto, a los cuales se les entregó fragmentos del meteorito que fueron enviados a los laboratorio para llevar a cabo estudios especializados.

Posteriormente, dos geólogos de INGEMMET (HNP, LM), fueron al cráter para llevar a cabo observaciones y recolectar muestras de los materiales que habían sido impactados para hacer estudios detallados sobre las "impactitas" (Núñez del Prado, 2008a)

ASPECTOS SOCIALES

La comunidad está conformada por casas muy dispersas (la más cercana a 200 m del impacto) en un área muy amplia y, en un principio, ningún poblador fue testigo del fenómeno, y sólo simples comentarios sobre el hecho se recibió de la gente. Muchos de los que se acercaron al lugar del impacto fueron atendidos por problemas de salud.

OTROS ASPECTOS

También se tuvo la visita inopinada de "caza meteoritos" que aparte de hacerse de algunos fragmentos, soliviantaron a los pobladores de la comunidad, ofreciéndoles recoger lo que hipotéticamente quedaba del meteorito en el cráter. Ésto originó una psicosis colectiva, teniendo problemas los científicos para llevar a cabo nuestras observaciones como recolección de muestras de la "eyecta", ya que pusieron guardianes las 24 horas del día, para proteger el "tesoro".

Posteriormente 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. Se tuvo que construir una balsa para poder pasar sobre el agua del cráter con el instrumento y sus antenas para tener continuidad de las medidas.

OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo fue reconstruir las características de la estructura del cráter e identificar posibles fragmentos o restos del meteorito. La finalidad del estudio fue determinar zonas anómalas relacionadas a la deformación de los suelos, que permita reconstruir la dirección del impacto.
En este estudio se presenta los resultados del estudio con GPR respecto a la estructura del cráter y la reconstrucción de la dirección de impacto, así como también se describe los procedimientos de levantamiento, metodología, resultados e interpretación.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

A iniciativa del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y previas reuniones de coordinación con los comuneros, se procedió a llevar a cabo el levantamiento el día 27 de octubre del 2007, un estudio geofísico con métodos No destructivos. Los datos que se podían obtener eran sumamente importantes desde el punto de vista científico, por lo que se dio prioridad.

CONTEXTO GEOLOGICO

La zona del impacto corresponde al Altiplano, superficie relativamente plana a 4000 msnm, donde afloran predominantemente sedimentos continentales, areniscas, limos y lutitas rojizas a violetas del Grupo Puno (Palacios *et al.*, 1992). En la zona de estudio, ocurren suelos producto de la denudación de los afloramientos de la unidad geológica ya mencionada y depósitos aluviales sedimentados a través de la historia geológica reciente de los ríos tributarios de la hoya hidrográfica del lago Titicaca (Machare *et. al.*, 2007).

METODOLOGIA

EQUIPO UTILIZADO

El equipo empleado es un GEORADAR *pulse* EKKO PRO (Fig. 2), consiste de: 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 registro 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 Nº 2: Equipo pulse Ekko pro (biestático). (a) Antenas no blindadas de 200 MHz., (b) Sistema de adquisición de datos con software incorporado (DVL).

FUNDAMENTO DEL MÉTODO GPR

El Georadar, es una técnica no destructiva que permite realizar una exploración del subsuelo hasta profundidades de 2 a 10 metros, 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 va estructurando una "radiografía" del subsuelo, a la que se le denomina radargrama.
En la Fig. 3 se 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, y 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.

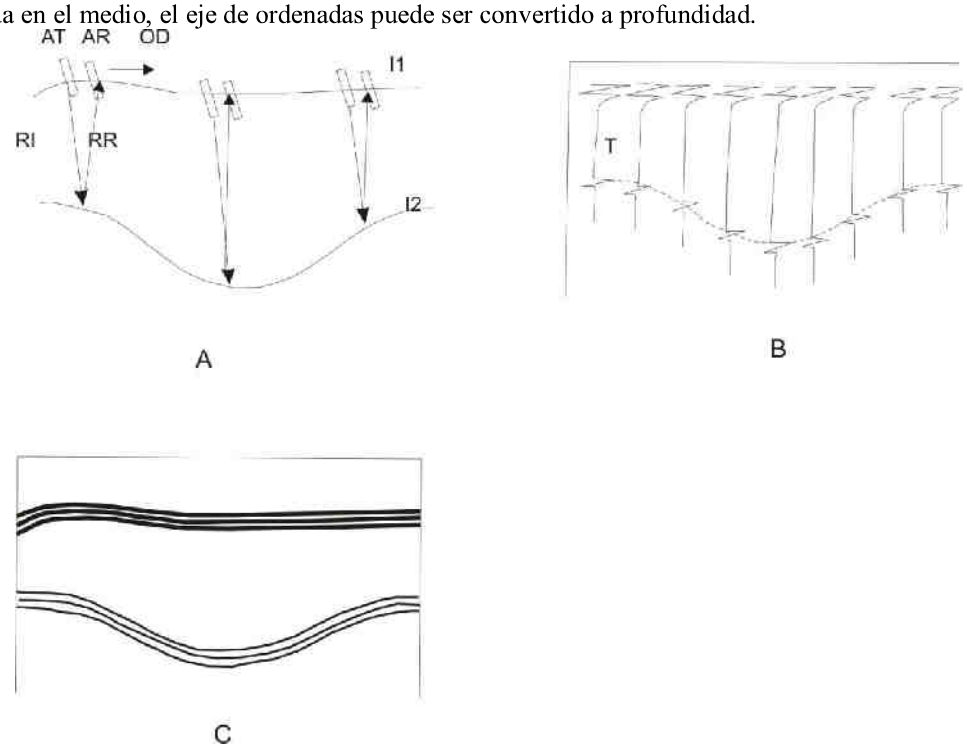


Figura Nº 3: formación de un Radargrama (modo reflexión).
(A) Proceso de adquisición de datos, Antena Trasmisora (AT), Antena Receptora (AR), Onda directa (OD), Rayo Incidente (RI), Rayo Reflejado (RR), interfase aire y primer medio (I1), Internase primer y segundo medio (I2). (b) Radargrama formado por varias trazas(T), formato wiggle, (c) Radargrama en formato scan (en banda gris o colores

EL LEVANTAMIENTO

Se programó varias líneas que cruzaran transversalmente el cráter, teniendo en cuenta la topografía del lugar de impacto.
Luego se hizo el control de la calibración del método geofísico del Georadar-GPR en modo reflexión, en la zona del cráter con el fin de caracterizar los reflectores de las señales electromagnéticos en las secciones de georadar.
El estudio se desarrolló el día 27 de octubre del año 2007, ejecutándose una red de 6 líneas intersectadas: A, B, C, D, E y F.
Se exploró con dos tipos de antenas: las de frecuencia 200 MHz, que investigan hasta una profundidad de aproximadamente 4.5 m, y las de frecuencia de 100 MHz, para obtener mayor profundidad de investigación aproximadamente hasta 9 m. Se realizaron 6 líneas, dando una longitud total de exploración de 208 m.

CONTROL DE CALIDAD

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

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)
200	4	100	0.4	1.0	0.25	0.1
100	9.0	200	0.8	0.5	0.1	0.1

Tabla Nº 2. Parámetros para el levantamiento con antenas de 200 y 100 MHz.

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.

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. Es recomendable y necesario realizar una edición y procesamiento de datos que comprende varios pasos, con el objetivo de resaltar las anomalías, definir los horizontes o capas y encontrar sus profundidades. El procesamiento y la edición ha sido realizada con los software Ekko view deluxe.

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

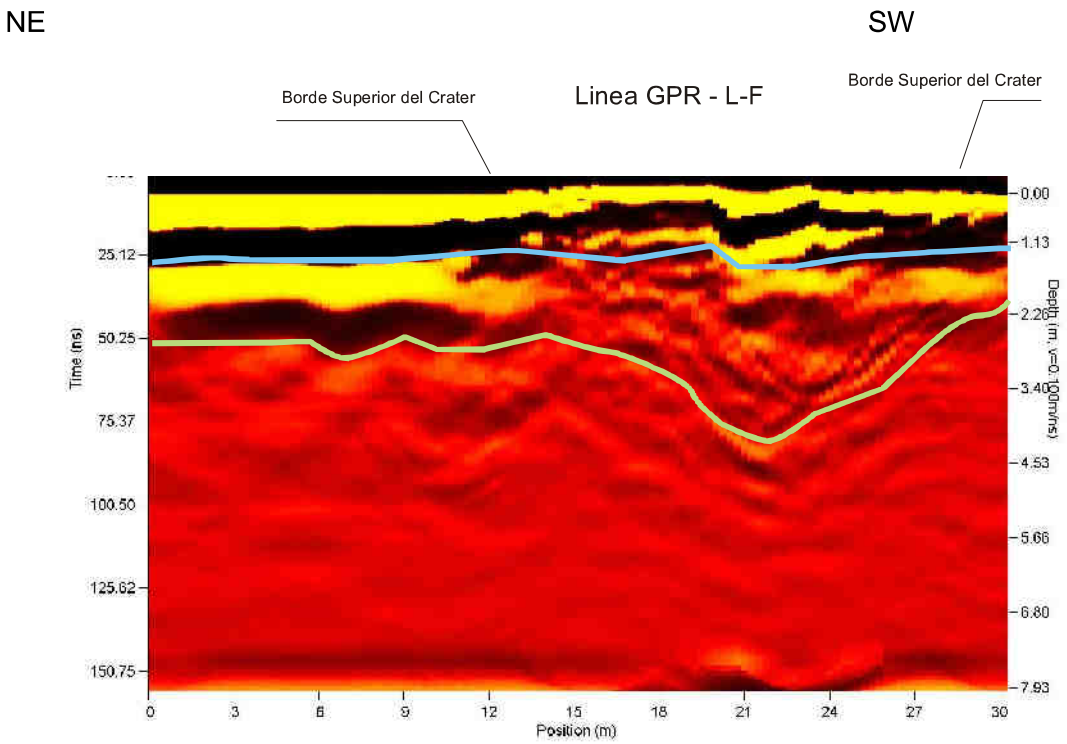
Con la velocidad de onda, obtenida en el sector del cráter se ha determinado una profundidad de investigación máxima de aproximadamente 8 metros

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

En los radargramas procesados y editados se ha distinguido dos líneas continuas de color verde y celeste, que corresponden a interfaces litológicas del medio físico, donde se puede observar claramente el grado de deformación del suelo producto del impacto del meteorito. La celeste representa el límite superior del cuerpo que contiene agua. Así estos límites, nos han permitido delimitar las diferentes capas del material superficial (suelos, limos y arenas). Se han determinado 3 capas: La primera, constituida por un suelo arcillo limoso poco consolidado superficial, una segunda que subyace constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz argilo-limosa que corresponde al suelo del lugar, debajo la tercera capa más compacta, permeable con contenido de agua (acuífero), constituido de arenas con gravas y que presenta baja amplitud y poca dispersión

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 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. Como ejemplo presentamos a continuación el radargrama correspondiente a la Línea "F"



La profundidad de investigación fue de aproximadamente 8 m. Se determinó la presencia de la zona de deformación entre 14 a 27 m La longitud de la línea fue de 30 m y se exploró con una antena de 100 MHz,

DISCUSIÓN

El cráter está muy bien definido en superficie mostrando una forma elíptica y las investigaciones realizadas permiten ver la prolongación de la deformación en profundidad al menos hasta los 9 metros. Por comentarios de personas se tenía un dato que la dirección de impacto había sido hacia del noreste hacia el SW.

El estudio realizado muestra claramente que el meteorito impacto del NE hacia el SO. En el radargrama de orientación se ve la zona de amortiguamiento del impacto hacia el suroeste (Núñez del Prado, 2008 b).

CONCLUSIONES

Las 6 líneas de Georadar – GPR levantadas, muestran reflectores electromagnéticos que corresponden a patrones de reflexión bien definidas que indican claramente los cambios litológicos y la deformación del suelo causados por la constante dieléctrica, permitividad y conductividad eléctrica del medio.

El análisis de los Radargramas tanto para profundidades de investigación de 4m. y 9 m de investigación en el sector del Cráter, muestran notoriamente una zona de deformación que puede interpretarse como producida por el impacto de un meteorito.

El análisis de los Radargramas con una profundidad de investigación de 9 m, no muestra la ocurrencia de alguna anomalía hiperbólica, lo que se puede interpretar que no hay ningún material extraño en profundidad que pueda corresponder a restos de material del meteorito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Machare J. Macedo L 2007. La caída del Meteorito de Carancas, Informe interno INGEMMET, Lima Septiembre, 2007.

Núñez del Prado H., Macharé j., L. Macedo, l.. Chirif H., Pari W., Ramirez-Cardona M., Aranda A., Greenwood R.C, Franchi I.A, Canepa C,. Bernhardt H.J, & Plascencia L. 2008 a. The Meteorite fall in Carancas, Lake Titicaca Region, Southern Peru: First Results. Abstract, Lunar and Planetary Science XXXIX (2008) 2555.pdf, Texas, USA.

Núñez del Prado H., Pari W., Ramirez M., Macharé J., Macedo L., 2008b. Reconstruction of an impact event in Carancas, South of Perú, by GPR studies on a small crater. Abstract Meeting Meteoritical society, Julio, Matsue, Japón

Ramírez-Cardona M., Núñez del Prado H., Macharé J., Macedo, L., Chirif H., Pari W., Ramirez-Mendoza D., 2008a. Characterization of a recent impact structure (Carancas crater, Peru) by integrating geomorphologic and GPR data. Abstract. 33 rd Intern. Geolog. Cong. Agosto, Oslo- Noruega.