

## **Análisis por activación neutrónica y difracción electrónica de fragmentos del meteorito de Carancas, Puno**

Alcides López<sup>1,\*</sup>, Jacinto Valencia<sup>2</sup>, Patricia Bedregal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Aplicaciones, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### **Resumen**

En este trabajo se presentan los resultados del análisis cuantitativo elemental realizados por Activación Neutrónica (AAN), análisis cualitativos por Difracción de Electrones (DE) y Microscopia Electrónica de Transmisión (MET) de fragmentos del meteorito de Carancas-Puno, encontrándose, con excepción del Si, un alto porcentaje de Fe (26%), Mg (12,5%), Ni (1,8%), Ca (1,1%) y Al (1%), mientras que en la muestra terrena QA se observa alto contenido de Mg (9,2%), Al (5,17%), Ca (6,4%), La y Sm, así como valores bajos de Fe (2,64%) y Mn (955 ppm), resultando claramente diferente a las del meteorito. Por medio de la difracción de electrones se aprecia en las muestras del meteorito fases con alto grado de cristalización cuyos patrones de difracción monocristalinos muestran coincidencias con el Cuarzo, Piroxeno, Kamacita, Feldespato, Contrita y Troilita, de donde concluimos que el meteorito se trata de una fase silicatada pudiendo ser una Condrita. La presencia de materiales radiactivos fue totalmente descartada.

Palabras clave: Meteorito de Carancas-Puno, Activación Neutrónica, Difracción Electrónica

### **Abstract**

In this work the results of a quantitative analysis by Neutron Activation (NAA), qualitative analysis by Electron Diffraction (ED) and Transmission Electron Microscopy (TEM) of samples from Carancas's Meteorite (Puno) is presented. It was found, with exception of Si, a high percentage of Fe (26%), Mg (12,5%), Ni (1,8%), Ca (1,1%) and Al (1%), while in the terrain sample a high amount of Mg (9,2%), Al (5,17%), Ca (6,4%), La, and Sm, as well low amounts of Fe (2,64%) and Mn (955 ppm) were observed, clearly different from meteorite samples. By Electron Diffraction, in meteorites samples high crystallization was observed and monocrystalline diffraction patterns showed concordances with Quartz, Piroxene, Kamacite, Pheldesphat, Contrite and Troilite. We conclude that the meteorite is a silicated phase like Condrite. Radioactive materials were not found.

Keywords: Carancas's-Puno Meteorite, Neutron Activation, Electron Diffraction

### **1. Introducción**

El meteorito de Carancas ha sido estudiado por los científicos quienes han reportado resultados de análisis físicos, químicos y petrológicos (Difracción de rayos X, Espectroscopia Mössbauer, Fluorescencia de rayos X, etc.) hasta el 2008 [1-6] algunas fracciones del meteorito todavía pueden ser vistos en la Universidad del Altiplano de Puno.

En general, la ciencia meteorítica estudia los fenómenos cósmicos que se relacionan con nuestro planeta Tierra y abarca los meteoritos, micrometeoritos, tectitas y cráteres de impacto sobre la superficie terrestre, siendo un meteorito cualquier

cuerpo sólido natural que llega a la Tierra desde el espacio exterior, por tanto no se consideran meteoritos a las chatarras de ingenios artificiales.

Hasta 1969 era el único material extraterrestre que poseíamos y que podíamos estudiar directamente. Al ser los meteoritos objetos pertenecientes a nuestro Sistema Solar, interesa conocer la relación que tienen con los otros cuerpos planetarios. Algunos meteoritos representan al material más primitivo del sistema solar porque no han sufrido fraccionamiento químico ni cambios desde su formación. Por tanto son la clave para conocer la composición del sistema solar, la abundancia

\* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

cósmica de los elementos, como las inclusiones ricas en Al, Ca encontradas en la condrita carbonácea de Allende caída en Chihuahua-México, pueden representar incluso material previo al de la Nebulosa Solar Primitiva (NSP) que nos permitirían comprobar la validez de la secuencia de condensación de los minerales a partir de la NSP.

Los meteoritos al chocar con otros cuerpos del Sistema Solar producen cráteres de impacto que modifican o condicionan los rasgos morfológicos del planeta en cuestión. También nos pueden dar información de algunos acontecimientos geológicos, por ejemplo la extinción de los dinosaurios. El Iridio es un elemento químico que solo se encuentra en cantidades significativas en los meteoritos y en depósitos volcánicos (por ej. durante la erupción del Kilauea, en Hawaii, en enero 1983) [7].



**Figura 1.** Muestra JV color gris claro, con contenido masivo y pulverulento.

De los diversos análisis que se pueden practicar sobre los meteoritos, el Análisis por Activación Neutrónica (AAN) se caracteriza por ser una técnica nuclear cuantitativa que identifica a los elementos químicos presentes en la muestra convenientemente homogenizada, mientras que la difracción de electrones es una técnica cualitativa.

El meteorito de Carancas, ha sido analizado por estas técnicas en los laboratorios del Centro Nuclear de Huarangal.

## 2. Experimental

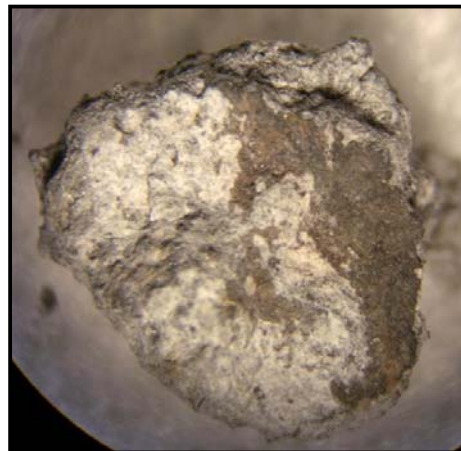
### 2.1 Descripción geográfica de su ubicación

En el sector de Huanucollo, comunidad de Carancas, distrito de Desaguadero, provincia de Chuchito, departamento de Puno, fue

avistado un meteorito por los habitantes de esta remota comunidad, tratándose de un bólido luminoso con cola de humo blanco, a las 11.45 h del 15 de setiembre de 2007, siendo las coordenadas del punto de impacto:

N 8°157,916 y E 495,508

Al momento de su impacto en tierra, se sintió una fuerte explosión escuchada hasta en un radio de 20 km (distrito de Desaguadero) evento que tuvo una duración de 15 minutos, también se detectó una onda infrasónica hasta 1617 km al sureste [8], luego del impacto se observó la ebullición del líquido formado a causa del impacto con el suelo, observándose una columna de vapor que según refieren los pobladores, despedía un olor sulfuroso, debido a que muy cerca del lugar se encuentra un riachuelo, estimándose que la napa freática en la zona debe de estar muy superficial. Adicionalmente la red sismológica Boliviana reportó efectos del impacto en un rango de 125 km y según estimados por Antier *et al.* el meteorito tendría una energía equivalente entre 1,00 y 3,08 toneladas de TNT, un diámetro aproximado del bólido entre 1 y 2 m [8], a la fecha, no se han encontrado fragmentos del meteorito que tengan algunos kilogramos de masa [4]. El cráter, también llamado paleocráter de impacto, tiene la forma de una estructura circular con bordes amplios de material autóctono, sus dimensiones son de más o menos 15 m de diámetro y una profundidad aparente de 5 a 6 m que se emplaza en una especie de pampa constituida mayormente por terrenos cuaternarios, donde se ha desarrollado un suelo en la que crecen pastos naturales "Ichu" [7].



**Figura 2.** Muestra QA color marrón, aglutinada, presenta matizes de arcillas de color blanco.

## 2.2 Visita de campo y muestreo

El trabajo de campo en la zona de Carancas se hizo el 18 de setiembre de 2007 y consistió principalmente en las mediciones de los valores de radiactividad en la zona de impacto, haciendo uso del Equipo Identifinder N.S. 3574-101 encontrándose un fondo natural y descartándose que sea cualquier otro objeto artificial. Se tomaron 04 muestras, tres del meteorito, nominados JV, FF, RR y una del material producido por el efecto del impacto y alteración del suelo original nominado QA.

**Tabla 1.** Descripción de las muestras recolectadas del meteorito.

<i>Código de Muestra</i>	<i>Descripción</i>
JV	Muestra color gris claro, con contenido masivo y pulverulento, cantidad de muestra 10 g.
FF	Muestra color gris claro, compacta y consistente, tiende a desagregarse y formar residuos pulverulentos.
RR	Muestra de color gris claro, pulverulenta, deleznable, con algunas impregnaciones de color blanco.
QA	Muestra color marrón, aglutinada, presenta matices de arcillas de color blanco, cantidad de muestra 100 g.

De acuerdo con la descripción mostrada en la Tabla 1, las Figuras 1 y 2 corresponden a las muestras JV y QA.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Composición química y cristalográfica del meteorito

Por efecto de la caída e impacto del meteorito con el suelo, este se ha

fragmentado en muchas partes y han quedado dispersas por lo menos en un radio de 100 m, estas partes han sido recolectadas y analizadas por Activación Neutrónica (AAN) con sistema espectrométrico gamma de alta resolución con detectores Canberra GC 1518 y GC 7019 (70% de eficiencia y 1,9 keV de resolución para el pico de 1332,5 keV del <sup>60</sup>Co) y Difracción de Electrones de Área Selecta (DEAS) con el MET Philips EM 400 en el Centro Nuclear de Huarangal.

Los resultados del análisis elemental por AN (excepto el Si) se pueden apreciar en las Tablas 2 y 3. En las muestras correspondiente al meteorito se observa un alto porcentaje de Fe (26%), Mg (12.5%), Ni (1,8%), Ca (1,1%) y Al (1%), Figura 1, mientras que en la muestra terrena QA se observa alto contenido de Mg (9.2%), Al (5,17%), Ca (6,4%), La y Sm, así como valores bajos de Fe (2,64%) y Mn (955 ppm), resultando claramente diferente que las del meteorito, especialmente en el contenido de los elementos mostrados en la Tabla 3 que incluye algunas tierras raras.

Por medio de la difracción de electrones (Figuras del 3 al 6) se aprecia en las muestras del meteorito fases con alto grado de cristalización cuyos patrones de difracción monocristalinos muestran coincidencias con el Cuarzo, Piroxeno, Kamacita, Feldespato, Condrita, Troilita, mientras que en la muestra terrena QA (Figura 2) se encuentran materiales con menor grado de cristalización y materiales cristalizados como el Cuarzo, Piroxeno, Troilita y Olivino, entre otros.

**Tabla 2.** Porcentajes (en celeste) y ppm medidos por AAN para las diferentes muestras del meteorito.

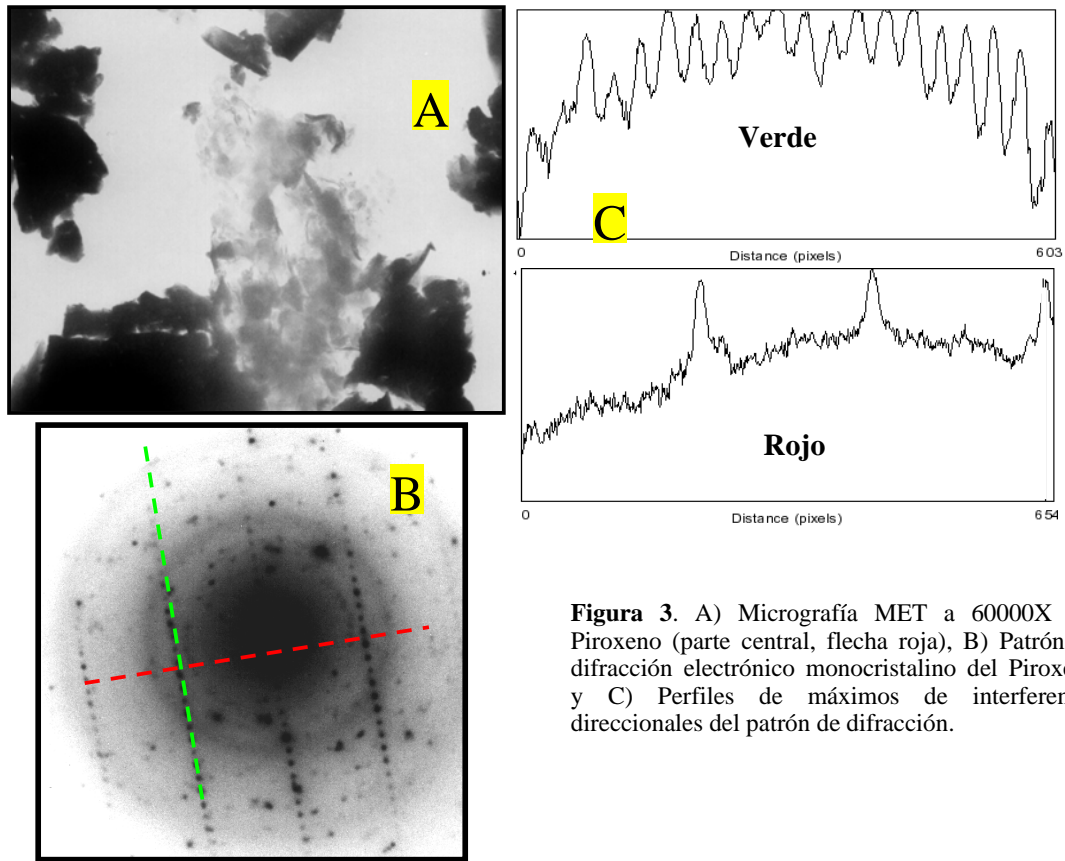
<i>Mtra/ Elem</i>	<i>Al %</i>	<i>As ppm</i>	<i>Ca %</i>	<i>Co ppm</i>	<i>Cr ppm</i>	<i>Fe %</i>	<i>Ir ppm</i>	<i>La ppm</i>	<i>Mg %</i>	<i>Mn ppm</i>	<i>Na ppm</i>	<i>Ni %</i>	<i>Sc ppm</i>	<i>Se ppm</i>	<i>V ppm</i>	<i>Sm ppm</i>
JV	1.05	2.4	1.13	790	3813	25.71	1.49	0.69	12.41	2080	6700	1.85	8.43	9.2	69.4	0.26
RR	0.973	2	1.04	764	3610	25.31	1.22	--	12.32	2131	6530	1.84	1.86	9.75	63.4	0.21
FF	1.063	2.58	1.06	920	3610	27.73	1.16	0.4	12.77	2160	6286	1.68	7.7	11.2	67	--

**Tabla 3.** Porcentajes y ppm medidos por AAN para la muestra QA próximo al meteorito.

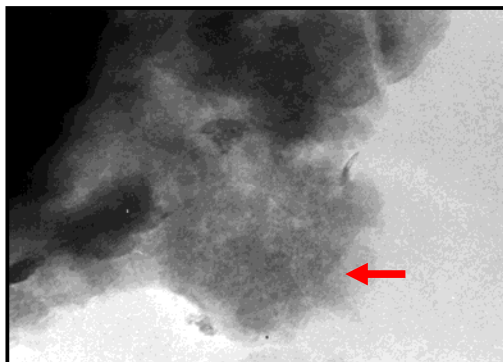
Mtra/ Elem	Al %	As ppm	Ca %	Co ppm	Cr ppm	Fe %	Ir ppm	La ppm	Mg %	Mn ppm	Na ppm	Ni %	Sc ppm	Se ppm	V ppm	Sm ppm
QA	5.17	10.2	6.4	8.9	29.6	2.64	--	20	9.20	955	11400	--	7.83	--	--	3.47

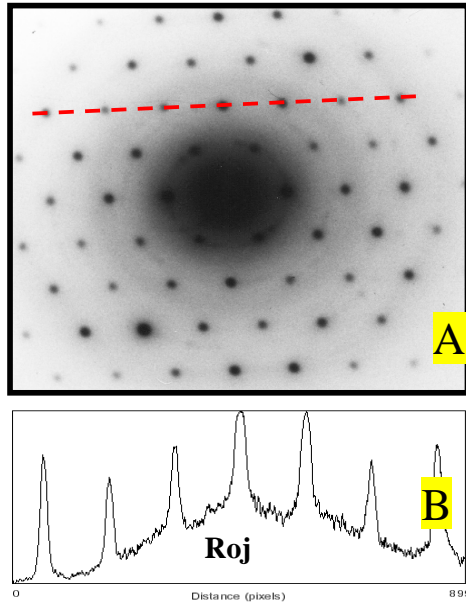
Mtra/ Elem	Ba ppm	Br ppm	Ce ppm	Cl ppm	Cs ppm	Eu ppm	Hf ppm	K ppm	Sb ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	U ppm	Yb ppm	Zn ppm
QA	620	3.21	40	225	4.91	0.797	3.63	13580	0.82	411	0.66	0.5	8	2.0	1.53	73



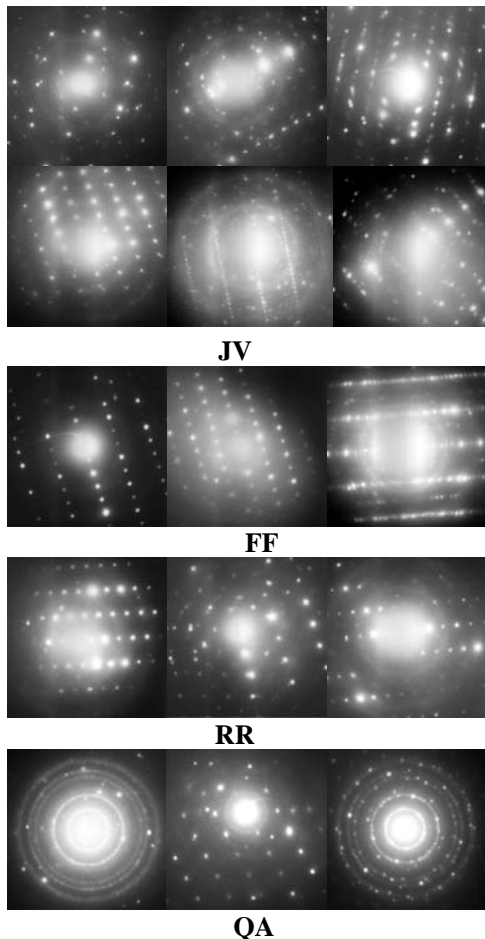
**Figura 3.** A) Micrografía MET a 60000X del Piroxeno (parte central, flecha roja), B) Patrón de difracción electrónico monocristalino del Piroxeno y C) Perfiles de máximos de interferencia direccionales del patrón de difracción.



**Figura 4.** Micrografía MET a 60000X de la muestra QA mostrando una fase amorfa (flecha roja).



**Figura 5.** A) Patrón de difracción electrónico monocristalino del cuarzo y B) Perfil de intensidades direccionales.



**Figura 6.** Patrones de difracción electrónica de las muestras JV, FF y RR del meteorito y de la muestra terrena QA.

#### 4. Conclusiones

Las sospechas de que el meteorito pudiera contener materiales radiactivos fueron descartadas por las mediciones de niveles de radiación practicadas en el lugar del impacto, solo se midió un nivel de radiación idéntico a los medidos para la radiación natural de fondo.

Con respecto a la composición química y cristalográfica de los fragmentos recuperados del meteorito los resultados obtenidos complementan razonablemente a los obtenidos previamente según las referencia reportadas con diferentes técnicas, mediante AAN y sin tomar en cuenta al Si, se encontró en los fragmentos del meteorito, Fe (26%), Mg (12.5%), Ni (1.8%), Ca (1.1%) y Al (1%) con diferencias importantes con la muestra terrena, mientras que la difracción electrónica mostró alto grado de cristalización y coincidencias con el Cuarzo, Piroxeno, Kamacita, Feldespato, Condrita, Troilita; en la muestra terrena QA se encuentran materiales con menor grado de cristalización y materiales cristalizados como el Cuarzo, Piroxeno, Troilita y Olivino, entre otros. Como siempre, la fragmentación antes y después del impacto dificulta su análisis ya que los fragmentos se mezclan íntimamente con el suelo o evaporándose por efecto del calor acumulado y desprendido en el medio.

#### 5. Referencias

- [1]. Carancas impact event. Wikipedia, the free encyclopedia [serie en Internet]. March 31, 2008. Disponible en URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Carancas\\_impact\\_event](http://en.wikipedia.org/wiki/Carancas_impact_event)
- [2]. Núñez del Prado H, Pari W, Ramirez-Cardona M, Machare J, Macedo L. Reconstruction of an impact event in Carancas, South of Peru from a GPR study on a small crater. 71st Annual Meteoritical Society Meeting (2008) 5269.
- [3]. Cerón Loayza ML, Bravo Cabrejos JA. Preliminary characterization of samples from the Carancas (Puno-Perú) Meteorite and its Crater. Lunar and Planetary Science XXXIX 2356 2008
- [4]. Tancredi G, Ishitsuka J, Rosales D, *et al.* What do we know about the “Carancas-Desaguadero” Fireball. Meteorite and impact crater. Lunar and Planetary Science XXXIX 2008 1216

- [5]. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Informe oficial la caída del meteorito Carancas, 15 septiembre 2007. [serie en Internet]. Disponible en URL: [www.ingemmet.gob.pe/paginas/07\\_09\\_21\\_carancas\\_meteorite\\_pdf](http://www.ingemmet.gob.pe/paginas/07_09_21_carancas_meteorite_pdf)
- [6]. Harris RS, Schultz G, *et al.* Preliminary petrologic analysis of impact deformation in the Carancas (Peru) cratering event. *Lunar and Planetary Science XXXIX* (2008) 2446.
- [7]. Scorzelli RB. Meteorites: Messengers from the outer space. *J. Braz. Chem. Soc.* 2008; 19(2):226-23.
- [8]. Antier K, Le Pichon A, Cansi Y, *et al.* Atmospheric entry and impact of the September 15, 2007 Desaguadero meteoroid. *Inframatics*. 2008 Jun; 21:2-12.