

¿TIENEN EL MISMO ORIGEN LOS METEORITOS METÁLICOS ENCONTRADOS EN BOLIVIA? DO THE METALLIC METEORITES FOUND IN BOLIVIA HAVE THE SAME ORIGIN?

GONZALO PEREIRA [1][†]

Planetario “Max Schreier”
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Universidad Mayor de San Andrés
Casilla de Correos 3164
La Paz - Bolivia

(Recibido 10 de agosto de 2021; aceptado 9 de noviembre de 2021)
<https://doi.org/10.53287/eohr3986hv72b>

RESUMEN

En el proceso de reconstruir la historia de los meteoritos relacionados a nuestro país, encontramos que los dos únicos meteoritos metálicos catalogados como “*Encontrados en Bolivia*” son los meteoritos: Bolivia y Pooposo. Ambos, clasificados dentro del grupo de los meteoritos metálicos MG IAB. Ambos tienen una historia similar: fueron seriamente dañados antes de llegar a las manos correctas y, en la comercialización de ambos, hay un religioso como intermediario. A la luz de esas posibles coincidencias, algunos expertos recomendaron realizar un estudio comparativo de ambos meteoritos ya que podrían ser parte de un mismo objeto. En este artículo se analizan los datos de la abundancia de elementos químicos de ambos meteoritos, obtenidos a partir de diferentes análisis realizados en todos los meteoritos metálicos conocidos a través de métodos como: Análisis de Activación de Neutrones Radioquímicos (*Radiochemical Neutron Activation Analysis* (RNAA)) y de Análisis Instrumental de Activación de Neutrones (*Instrumental Neutron Activation Analysis* (INAA)). Estos datos han sido publicados por diferentes investigadores como: Buchwald (1975a); Scott (1978); Kracher et al. (1980); Wasson & Kallemeyn (2002), entre otros. Nuestro propósito fue determinar si ambos especímenes son parte de un objeto más grande que se fracturó antes de entrar en contacto con la superficie del altiplano orureño o simplemente son dos meteoritos metálicos independientes.

Descriptores: Meteoritos – meteoros — meteoritos y tektitas — geoquímica.

Código(s) PACS: 91.67.gn, 96.30.Za, 91.67.-y

ABSTRACT

While reconstructing the history of meteorites related to Bolivia, we found that the only two metallic meteorites classified as “Found in Bolivia” are the Bolivia and Pooposo meteorites. They are classified within the group of MG IAB iron meteorites and have a similar history. Both were seriously mishandled before reaching the hands of meteorite experts and were commercialized by a priest. In light of these possible matches, some experts have recommended a comparative study of both meteorites to ascertain if they could be part of the same object. In this paper we analyze the data of abundant chemical elements found in both meteorites. The data was obtained from different analyses carried out on all known iron meteorites through methods such as: Radiochemical Neutron Activation Analysis (RNAA) and Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA). These data have been published by different researchers: Buchwald (1975a); Scott (1978); Kracher et al. (1980); Wasson & Kallemeyn (2002). Our objective has been to determine if both specimens are part of a larger object that impacted on the surface of the Oruro plateau or if they are simply two independent iron meteorites.

Subject headings: Meteorites – meteors — meteorites and tektites — geochemistry.

1. INTRODUCCIÓN

De los cinco meteoritos autenticados que, se asume, fueron encontrados en suelo boliviano, dos de ellos son meteoritos metálicos. Nos referimos a los meteoritos que llevan los nombres de Bolivia y Pooposo, ambos están clasificados como metálicos por

^[1]<https://orcid.org/0000-0002-9510-7454>

[†]Email: gpereira@umsa.bo.

sus componentes principales, hierro (Fe) y níquel (Ni). La contundente presencia de esos metales da a los meteoritos metálicos ciertas características que los diferencian de las rocas terrestres comunes (masa, consistencia metálica). Por lo que, aunque no son muy abundantes, son fácilmente reconocibles a diferencia de otros tipos de meteoritos. Además de ser más resistentes al pasar por la atmósfera y en consecuencia tienen mayor probabilidad de llegar al suelo casi intactos.

Poco se sabe acerca de la historia de estos meteoritos. Desde ya, el nombre de Bolivia para uno de ellos nos sugiere la incertidumbre que se tiene acerca de su origen. Esto porque la regla que se sigue para dar un nombre a los meteoritos es el de bautizarlos con el nombre de la población más próxima al lugar donde se lo encontró, obviamente el nombre Bolivia no es de una población, sino de todo un país. En cuanto al nombre del otro meteorito, aunque no suena muy bien, nos proporciona una idea del lugar de donde fue recogido, Pooposo, es decir cerca de la población de Poopo, Departamento de Oruro, Bolivia.

1.1. *El meteorito Bolivia*

El meteorito Bolivia se hizo muy conocido durante los últimos años ya que un fragmento de éste fue repatriado, gracias a los buenos oficios realizados por el coleccionista norteamericano Blaine Reed.

A continuación, transcribimos todo lo que sabemos de este meteorito, según Buchwald (1975a); Vol. 2, pp. 335-337): Originalmente se encontraba en la colección privada de minerales de F. A. Canfield, en Dover, Nueva Jersey, EEUU. En 1926 la colección pasa a manos del Museo Nacional de Historia Natural de los EEUU, incluido el meteorito Bolivia que, en ese entonces tenía una masa de 21.25 kg. La única información que hace referencia a su origen es el fragmento de una antigua carta de Canfield, de la cual la primera página, junto a la fecha, está desaparecida. De lo rescatado sólo se puede leer lo siguiente:

“Un amigo me ha dado una masa de hierro meteorítico que pesa 47 libras y nunca ha sido cortado. Se lo encontró hace 30 años en Bolivia y fue comprado por un religioso, que pensando que era plata pagó 600\$ en oro por él”

Actualmente el meteorito Bolivia está distribuido en las siguientes colecciones: Washington (Museo Smithsoniano: 20.6 kg), Londres (Museo Británico: 105 g), Tempe (Universidad de Arizona: 88.4 g) y Bolivia (Universidad Mayor de San Andrés: 7.6 g).

Lo más característico de este meteorito es: a) el fuerte grado de corrosión terrestre, que ha dejado profundas huellas en su superficie e incluso ha llegado a penetrar unos 5 cm por debajo de su superficie. y b) el hecho de haber sufrido una recristalización, es decir, el meteorito Bolivia tuvo un pronunciado recalentamiento a 550 ó 600° C – esto se deduce por el hecho que, cuando un meteorito metálico es

calentado a esas temperaturas, la taenita – aleación Ni-Fe muy rica en níquel, cambia de fase. Esto es, elimina níquel en forma de partículas.

La duda que aún queda es saber si ese recalentamiento fue producto de un evento cósmico, cuando vagaba por el espacio exterior, o el recalentamiento fue producido de manera artificial por un antiguo propietario del meteorito. Desde ya, existen indicios para ambos escenarios: la presencia de finas partículas de Ni, que permean toda la fase de recristalización, indica un rápido incremento de temperatura a partir de un incremento lento, tal como se esperaría en el espacio exterior donde impera un ambiente que proporciona el tiempo para la difusión y corrección de la concentración de Ni de acuerdo con el diagrama de equilibrio. Por otro lado, se puede evidenciar una reacción a alta temperatura en las zonas corroídas del meteorito. Si, como se asume, la corrosión se produjo en la Tierra, entonces el recalentamiento también se produjo en la Tierra.

1.2. *El meteorito Pooposo*

Según Buchwald (1975b), Vol. 3, p. 989. De acuerdo con la correspondencia del Museo Británico, este espécimen fue obtenido en 1910 por el comerciante en minerales J. Böhm de un misionero que lo había comprado en el “*Estado de Pooposo*”, Bolivia. Evidentemente Böhm vendió la masa principal al Museo de Viena, mientras que un fragmento fue comprado por el Museo Británico.

En la actualidad el meteorito Pooposo está distribuido en las siguientes colecciones: Viena (Museo de Historia Natural: ~12 kg), Londres (Museo Británico: 26 g)

El Pooposo también está erosionado y muestra, en un lado, severas deformaciones debido aparentemente a la aplicación de herramientas con el propósito de partir el espécimen. La superficie fracturada es muy irregular y hasta hoy, no se sabe dónde está la otra parte de la masa.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS METEORITOS METÁLICOS

Los meteoritos metálicos se clasifican de dos maneras, la más común y antigua es la que se basa en sus características cristalinas, fácilmente distinguibles cuando se pule una superficie y se expone en ácido. La variedad estructural que se puede apreciar luego de ese proceso depende de la cantidad de níquel y resulta en tres subdivisiones: Hexaedritos (con un 4 – 6% de Ni), Octaedritos (con un 6 – 12% de Ni) y Ataxitas (> 12% de Ni) (Wittke & Bunch 2008). Debido a que tanto el meteorito Bolivia como el Pooposo tienen un contenido de 6.8% y 6.9% de Ni, respectivamente, puede considerarse que ambos clasifican como meteoritos metálicos octaedritos.

La otra forma de clasificar a los meteoritos metálicos es por vía química. Esta clasificación es relativamente nueva y mucho más precisa ya que depende de instrumentación sofisticada. Fundamentalmente, consiste en determinar la abundancia de trazas de elementos conocidos como Elementos Altamente Siderófilos (HSE, por su sigla en inglés),

TABLA 1
ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS METEORITOS BOLIVIA Y POOPOSO.

Nombre	Lugar	Grupo	Tipo	Kamacita	Coord. Geog.	Masa (TKW)
Bolivia		IAB	Og	2.7±0.5 mm		21.25 kg
Pooposo	Oruro, Bo	IAB	Og	2.6±0.6 mm	66°50'W: 18°20'S	~12 kg

Fuente: Buchwald (1975a), p.989 y 335-337.

como Ga, Ge, Ir, etc. La presencia de esos elementos, así como la cantidad en la que se presentan, definirá un grupo químico. En el caso de los meteoritos metálicos, se reconocen cuatro grandes grupos. Tres de ellos (IIAB, IIIAB, e IVA), se formaron a partir de la cristalización de un magma que se fue enfriando lentamente; por eso también se los designa como grupos magmáticos Wasson & Kallemeyn (2002). El cuarto grupo grande de meteoritos metálicos – el IAB – tendría un origen diferente al de los grupos magmáticos puesto que los meteoritos de este grupo se caracterizan por el hecho de no haber llegado a un estado total de derretimiento, por lo que no es material magmático. Existen varias hipótesis que explican el origen de los IAB; de todas ellas, nos inclinamos por la hipótesis que concluye que este tipo de meteoritos se habría formado por impactos que provocaron la fundición parcial del material. Tanto los meteoritos Bolivia como el Pooposo no son magmáticos, es decir, pertenecen al gran grupo de meteoritos metálicos IAB.

En años recientes, se ha planteado otro tipo de clasificación para los meteoritos metálicos IAB (Wasson & Kallemeyn 2002). Esta nueva clasificación consiste en tomar como referente el elemento Au en lugar del Ni. Su principal ventaja es que el rango de Au total es mucho mayor, pero las incertidumbres relativas son mucho más bajas que las del Ni. Al trazar los datos nuevos se obtienen seis conjuntos de campos de acuerdo con su contenido en Au. Al conjunto más grande, que incluye a la mayoría de los meteoritos IAB, en el que están comprendidos los meteoritos Bolivia y Pooposo, se llama el Grupo Principal IAB (MG IAB, por su sigla en inglés). A los cinco conjuntos restantes se los denomina “subgrupos” del complejo IAB.

En la actualidad se asume que los principales valores límite para que un meteorito sea clasificado como IAB son: Au > 1.3 µg/g, As > 10 µg/g, Co > 3.9 mg/g, Sb > 180 ng/g.

Por último, otra característica que permite obtener información adicional para la clasificación de un meteorito metálico es la presencia de silicatos, estos pueden presentarse en forma de granos ordinarios > 2 mm ó como material fino y disperso, ambos son característicos en los meteoritos pertenecientes al grupo IAB, en el que los meteoritos Bolivia y Pooposo no son la excepción.

En síntesis, hemos visto que tanto estructural como químicamente los meteoritos metálicos supuestamente recogidos en suelo boliviano, pertenecen al mismo grupo de octaedritos, por su contenido similar de Ni. Mientras que, desde la clasificación química, ambos pertenecen al grupo IAB por la composición

similar de elementos altamente siderófilos y la presencia de silicatos.

Ese hecho, además de ser los dos únicos meteoritos metálicos encontrados en territorio boliviano, y ambos con una historia más o menos similar (la presencia de un religioso en su comercialización y la violenta manipulación de ambos meteoritos), ha llevado a plantear a que probablemente ambos meteoritos, el Bolivia y el Pooposo podrían estar conectados (Buchwald (1975a) p.335 y 989). Aunque Kracher et al. (1980), desechan esa posibilidad.

En el presente trabajo nos proponemos intentar esclarecer si están o no emparejados, a partir de un análisis de las cualidades estructurales y químicas de ambos meteoritos.

3. METEORITOS EMPAREJADOS

Wasson & de Bon (1998) define como emparejados (*pairing*) a un conjunto de meteoritos que están catalogados como especímenes diferentes, pero, a través de un estudio detallado se muestran como parte de una misma caída. Hey (1966) utiliza la palabra “emparejados” en un sentido menos restrictivo para indicar a los meteoritos que posiblemente son fragmentos de una misma caída. En tanto que Benoit et al. (2000) definen a los meteoritos emparejados a los fragmentos de una simple caída de meteorito que fueron separados durante el paso por la atmósfera o durante su historia terrestre.

Determinar si dos o más meteoritos están emparejados no es una tarea muy fácil puesto que los meteoritos clasificados dentro un grupo son muy similares en composición estructural y química. La determinación se puede complicar mucho más aún cuando uno de los especímenes pudo haber sido transfigurado por acción humana, perdiendo así parte de sus cualidades estructurales y químicas. Sin embargo, gracias al avance de las técnicas en química analítica, hoy se puede analizar meteoritos con un mayor rango de parámetros, como ser la presencia de elementos altamente siderófilos entre otros y que pueden utilizarse para su respectiva clasificación y determinación de si los meteoritos están emparejados.

4. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE EMPAREJAMIENTO ENTRE METEORITOS

4.1. Análisis estructural de los meteoritos

La forma más tradicional, aunque no muy sencilla para determinar si los meteoritos metálicos podrían estar emparejados es a través de la comparación del ancho de la banda de los cristales de kamacita (aleación de hierro y un poco de níquel), que junto a la taenita (la misma aleación sólo que

TABLA 2
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ABUNDANCIA DE LOS METEORITOS BOLIVIA Y POOPOSO.

Meteorito	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Co (mg/g)	Ni (mg/g)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Ga ($\mu\text{g/g}$)	Ge ($\mu\text{g/g}$)	As ($\mu\text{g/g}$)	Sb (ng/g)	W ($\mu\text{g/g}$)	Re (ng/g)	Ir ($\mu\text{g/g}$)	Pt ($\mu\text{g/g}$)	Au ($\mu\text{g/g}$)
Bolivia	21	4.64	67.0	157	97.3	397	11.3	294	1.33	226	2.06	8.1	1.482
Pooposo	44	4.63	70.0	196	79.6	325	11.9	328	1.02	246	2.68		1.537

Fuente: Wasson & Kallemeyn (2002),p.2448.

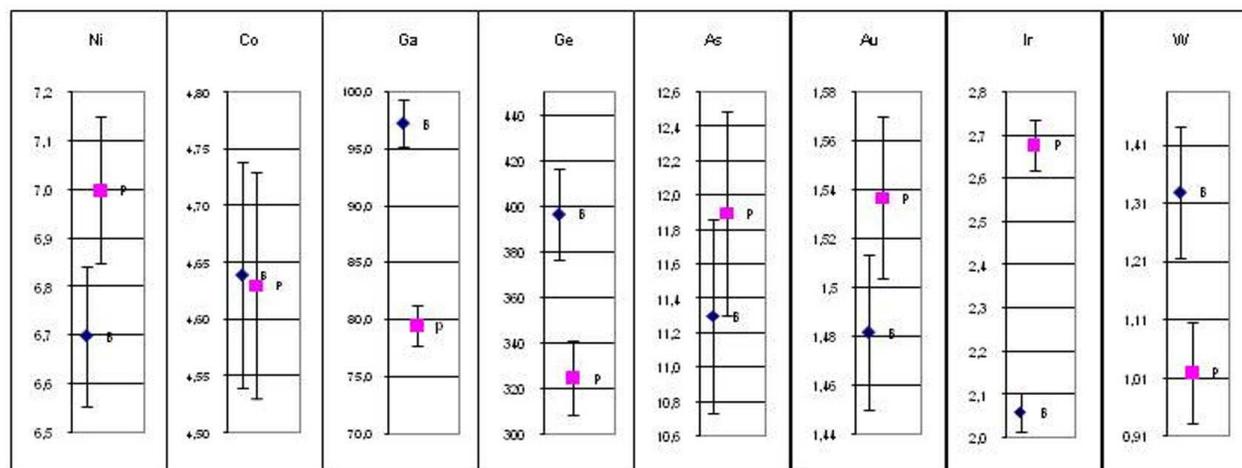


FIG. 1.— Comparación de abundancias de elementos en los meteoritos metálicos Bolivia y Pooposo. Las escalas presentan las concentraciones de los elementos ($\mu\text{g/g}$ excepto para el Ni), ver Tabla 2.

mucho más rica en níquel), forman la composición mineral más abundante en los meteoritos metálicos. Debido a que la interposición de las láminas de kamacita y taenita tiene un ordenamiento especial en forma de un octaedro, a este tipo de meteoritos se los ha llamado octaedritas u octaédricos que, como ya lo dijimos, pertenecen tanto el meteorito Bolivia como el Pooposo. Las octaedritas están divididas en varios subgrupos cuya clasificación está basada en el ancho de las láminas de kamacita, que generalmente van desde los 50 mm de ancho a menos de 0.02 mm. Si dos meteoritos, que se sospecha pueden estar emparejados, tienen más o menos el mismo ancho de las láminas de kamacita, es muy probable que estén emparejados.

Sin embargo, este método presenta algunos problemas que, en muchos casos, son insalvables. Nos referimos a la alteración que pueden sufrir los meteoritos metálicos muy antiguos, es decir, que estuvieron expuestos a alteraciones medioambientales de nuestro planeta durante mucho tiempo. Otra alteración que pueden sufrir es por efecto de la manipulación humana, como exponer al meteorito a altas temperaturas, como es el caso del meteorito Bolivia.

4.2. Composición química de los meteoritos

La composición química de los meteoritos se puede determinar usando fluorescencia de rayos X, absorción atómica, análisis de activación de neutrones, así como también a través de los métodos clásicos de la química o por cálculos a partir de datos modales y puntos de composiciones. La elección del método que nos permita determinar la composición química de

un meteorito dependerá de la cantidad y calidad de las muestras y de los instrumentos disponibles. Las técnicas más modernas de análisis son las que se realizan por activación de neutrones ya que se puede determinar con gran precisión elementos, fundamentalmente: Ga, Ge e Ir que, junto al Ni proveen la base para la clasificación en grupos químicos, además de la determinación de trazas de otros elementos cuya composición puede ayudar a realizar análisis de emparejamiento entre meteoritos.

Existen otros parámetros que pueden permitir realizar estudios de emparejamiento entre meteoritos. A saber, edad, tiempo de exposición a rayos cósmicos, tiempo de llegada a la Tierra, presencia de anomalías isotópicas Maki et al. (1993). Sin embargo todas esas técnicas de análisis no son fáciles de realizar y tampoco se las ha hecho para todos los meteoritos.

El presente trabajo se realiza sobre la base de un análisis estadístico de la abundancia de elementos a partir de los datos obtenidos por Wasson & Kallemeyn (2002), como resultado del análisis por activación de neutrones de meteoritos metálicos, incluidos Bolivia y Pooposo, ver Tabla 2.

5. RESULTADOS

Realizamos un primer acercamiento comparando el ancho de las bandas de kamacita de los meteoritos Bolivia y Pooposo de 2.7 ± 0.5 mm y 2.6 ± 0.6 mm respectivamente (Buchwald 1975a). Podemos observar que difieren muy poco: el contraste en el ancho de las bandas de kamacita es tan pequeño que sus valores pueden graficarse en un solo punto.

Por último, vamos a realizar una comparación de

la abundancia de los elementos de los dos meteoritos presentados en la Tabla 1. Para ello, vamos a tomar la estimación relativa del 95% como límite de confianza de los datos de la lista (Wasson & Kallemeyn 2002) siendo: 1.5 a 3% para el Co, Ni, Ga, Ir, y Au; 4 a 6% para As y Ge; 7 a 10% para W (valores > 0.3 ($\mu\text{g/g}$), Sb (> 200 ng/g) y Re (> 50 ng/g). En la Fig. 1, nótese que no se toma en cuenta los elementos que están cerca del límite de confianza (Sb y Re), así como Pt, puesto que no existe medida de ese elemento en el meteorito Pooposo.

6. CONCLUSIÓN

A pesar que en apariencia física y morfológica los dos meteoritos metálicos parecen ser parte de una misma caída: ambos pertenecen al mismo grupo IAB de meteoritos metálicos, ambos son octaedritos, ambos tienen similar ancho de láminas de kamacita

(2.7 ± 0.5 mm para el Bolivia y 2.6 ± 0.6 mm para el Pooposo). Así como cierta similitud en su historia sobre la Tierra: ambos fueron incorrectamente manipulados (el meteorito Bolivia recalentado a 500 – 600 °C, el meteorito Pooposo maltratado por herramientas para fraccionarlo), ambos meteoritos tuvieron como intermediario comercial a un religioso.

En este trabajo se ha prestado más atención a la clasificación química de ambos meteoritos y no así a sus características físicas y morfológicas. En este caso nuestro análisis sirve para negar la sospecha de Buchwald (1975a), que ambos meteoritos estarían emparejados y corroborar lo afirmado por Kracher et al. (1980), que ambos meteoritos no tendrían relación alguna.

Conflicto de intereses

El autor declara que no hay conflicto de intereses con respecto a la publicación de éste documento.

REFERENCIAS

- Benoit P. H., Sears D. W. G., Akridge J. M. C., Bland P. A., Berry F. J. & Pillinger C. T. 2000, *Meteoritical & Planetary Science* **35**, 393.
- Buchwald B. F. 1975a, *Handbook of Iron Meteorites*, Vol. 2 (University of California Press; Los Ángeles).
- . 1975b, *Handbook of Iron Meteorites*, Vol. 3 (University of California Press; Los Ángeles).
- Hey M. H. 1966, *Catalogue of Meteorites* 3rd Ed (British Museum (Natural History), Londres).
- Kracher A., Willis J. & Wasson J. T. 1980, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **44**, 773.
- Maki H. R., Brooks R., Ryan D. E., Holzbecher J. & Reeves R. D. 1993, *Geochemical Journal* **27**, 163.
- Scott E. R. D. 1978, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **42**, 124s.
- Wasson J. T. & de Bon C. C. 1998, *Meteoritics & Planetary Science* **33**, 175.
- Wasson J. T. & Kallemeyn G. W. 2002, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **66**, 2445.
- Wittke J. H. & Bunch T. E. 2008, *Meteorites: Mysteries and Secrets Revealed* (Northern Arizona University; Arizona)