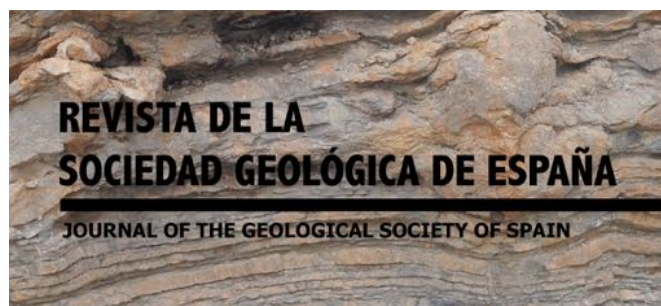


MANUSCRITO ACEPTADO, VERSIÓN NO EDITADA /
ACCEPTED MANUSCRIPT, UNEDITED VERSION

Análisis de conductividad eléctrica como
criterio discriminador entre granitoides
especializados en W-Sn y sus homólogos
encajantes

Fadón, Ó., Calvo, J., Acebes, P., Toro, A., Gómez,
J.M.

Se publicará en / To appear in:
Revista de la Sociedad Geológica de España, 32 (2),
Diciembre 2019 / December 2019.



Fecha de recepción / Received date: 27-2-2019
Fecha de revisión / Revised date: 10-7-2019
Fecha de aceptación / Accepted date: 18-7-2019

Este es un documento PDF de la version no editada del manuscrito aceptado. El trabajo se someterá a edición, composición y revisión de las pruebas antes de su publicación final / This is a PDF file of the unedited version of the accepted manuscript. The paper will undergo copyediting, typesetting and review of the proofs before it is published in the final form.

Citar este artículo como sigue / Cite this article as:

Fadón, Ó., Calvo, J., Acebes, P., Toro, A., Gómez, J.M., 2019. Análisis de conductividad eléctrica como criterio discriminador entre granitoides especializados en W-Sn y sus homólogos encajantes. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 32 (2): en prensa.

ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA COMO CRITERIO DISCRIMINADOR ENTRE GRANITOIDES ESPECIALIZADOS EN W-SN Y SUS HOMÓLOGOS ENCAJANTES

Barren Vs W-Sn specialized granitoids. Analysis of electrical conductivity as a discriminatory criterion

Óscar Fadón¹, Jorge Calvo², Pedro Acebes², Alberto Toro¹ y José Manuel Gómez¹

¹ Sociedad de Investigación y Exploración Minera de Castilla y León (SIEMCALSA). Avda. Rodrigo Zamorano 6, 47151. Parque Tecnológico de Boecillo (Valladolid, España).

ofadon@siemcalsa.com; atoro@siemcalsa.com; jgomez@siemcalsa.com

² CARTIF Centro Tecnológico, Parque Tecnológico de Boecillo 205, 47151. Boecillo (Valladolid, España). jorcal@cartif.es; pedace@cartif.es.

Abstract: In this paper, a comparative study has been made, analyzing the electrical conductivity values of a series of granitoids that can be considered as specialized metallogenetically in W-Sn, and their spatially related host granitoids, with which, a priori, mineralization does not seem to be associated. We have studied 15 mineralized areas, located in Castilla y León and the central and northern regions of Portugal, which have been selected as the most representative of main types of ore deposits of W-Sn and its associated metals (Nb, Ta, Be, Bi, etc.). The comparative study of the conductivity values indicates that the analytical variation within each deposit is low, ranging from 0,04 y 0,73 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (average: 0,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$), there being no significant differences between host and specialized granitoids. On the other hand, the orderly distribution of the values defines parallel trend lines, with the specialized granitoids accumulating higher values than host granitoids, a tendency also observed in a statistical representation by categories. In addition, the specialized granitoids present a wide range of values, which seem to indicate a greater evolution and the existence of hydrothermal alteration processes. As might be expected, specialized granitoids tend to have greater enrichment in the target metals (Sn, Nb, Ta, Be, Li, Mo or Bi), except in the case of the W in which, paradoxically, the contents are slightly lower in the specialized ones (given the scarce specialization of granitoids in this metal). The host granitoids also present a very narrow range of values in elements such as Al_2O_3 , Na_2O and K_2O , a range that is notably wider in the specialized granitoids, which seems to confirm their greater evolution and the presence of superimposed hydrothermal alteration processes. The specialized granitoids are impoverished in rare-earth elements, MgO, Fe_2O_3 , CaO, TiO_2 , Zr, R.E, Th, V, Hf, Pb, Co or Zr with respect to the host granitoids, as a consequence of greater magmatic differentiation, while other elements such as U, Ni, Ge or LOI (as representative to a certain extent of the level of volatiles) do not define any kind of significant trend. Finally, metals such as precious metals (Au, Pt, Pd), Re, Se, Te, Cr, Ba, Hg and Sr present values so low that their representation is not useful.

Keywords: Electrical conductivity, Geochemistry, Metallogeny, Mining, Granitoid-related ore deposits.

Resumen: En este trabajo se ha realizado un estudio comparativo de los valores de conductividad eléctrica de granitoides especializados en Sn-W frente a sus homólogos exclusivamente encajantes. Se han seleccionado 15 depósitos en Castilla y León y las zonas central y norte de Portugal, como los más representativos de las distintas tipologías de yacimientos de W-Sn y de sus metales asociados (Nb, Ta, Be, Bi, etc.). El rango existente en los valores totales de la conductividad eléctrica es moderado (0,04 a 0,73 $\mu\text{S}/\text{cm}$; valor promedio de 0,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sin diferencias significativas entre los distintos tipos de granitoides, ya sean especializados o encajantes, así como de unos yacimientos a otros. Los resultados definen tendencias paralelas entre sí, más elevadas en los especializados que en los encajantes. Los especializados presentan: un rango de conductividad más amplio, enriquecimiento en los metales objetivo (Sn, Nb, Ta, Be, Li, Mo o Bi) salvo en el caso del W,

dada la escasa especialización de los granitoides en este metal; empobrecimiento en tierras raras, Zr, MgO, Fe₂O₃, CaO, TiO₂, Th, V, Hf, Pb o Co, como consecuencia de mayor diferenciación magmática, y mayor variación en elementos Al₂O₃, Na₂O y K₂O. Metales como U, Ni, Ge o los ensayos de pérdida al fuego (representativa del nivel de volátiles) no definen tendencias significativas, y en metales como Au, Pt, Pd, Re, Se, Te, Cr, Ba, Hg y Sr no resulta útil su representación. Todo ello parece indicar una mayor evolución y evidencias de alteración hidrotermal en los granitoides especializados.

Palabras clave: Conductividad eléctrica, Geoquímica, Metalogena, Minería, Yacimientos relacionados con granitoides.

Fadón, Ó., Calvo, J., Acebes, P., Toro, A., Gómez, J.M., 2019. Análisis de conductividad eléctrica como criterio discriminador entre granitoides especializados en W-Sn y sus homólogos encajantes. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 32 (2): xx-xx.

TÍTULO CORTO: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE GRANITOIDES ESPECIALIZADOS EN W-SN Y SUS HOMÓLOGOS ENCAJANTES

Introducción

En este trabajo se ha realizado un estudio comparativo, analizando los valores de conductividad eléctrica, de una serie de granitoides que, desde un punto de vista metalogenético se pueden considerar como especializados en metales, esencialmente W-Sn y sus metales asociados (Nb, Ta, Be, Bi, etc.), y sus correspondientes granitoides encajantes, con los que están espacialmente relacionados, pero con los que la mineralización no parece estar asociada.

Este análisis se enmarca dentro de un proyecto de investigación denominado ESMIMET que es financiado por la Unión Europea en el marco del programa FEDER Interreg Poctep 2014-2020, y que pretende, entre otros objetivos, la caracterización de los yacimientos de W-Sn y metales asociados de Castilla y León y las regiones centro y norte de Portugal con el propósito de establecer unas posibles guías de prospección que sean de aplicación universal en la exploración de este tipo de yacimientos (Acebes *et al.*, 2018).

Con este planteamiento se han estudiado los 15 yacimientos más representativos de estos metales en las regiones objetivo, los cuales han sido seleccionados por incluir los ejemplos más representativos de las principales tipologías de yacimientos existentes para estos metales (Fig. 1): *skarns* con scheelita (Los Santos); *skarns* con wolframita-scheelita (Covas); *skarns* con scheelita-casiterita-sulfuros (Otero); mineralizaciones ligadas a niveles *skarnoides* (Morille); *sedex* (Valtreixal); cúpulas aplogematíticas (Enaras, Golpejas); greisenes con *stockworks* (Bejanca, Borralha); diques aplogematíticos (La Fregeneda); depósitos filonianos con wolframita (Panasqueira, Peña do Seo, Borralha); filonianos con scheelita (Barruecopardo, Valderodrigo, Martinamor); filonianos con casiterita (La Fregeneda); y yacimientos secundarios de tipo aluvial-eluvial (Bejanca).

En la caracterización de estos yacimientos se han aplicado técnicas estándar en el estudio geominero y metalogenético de este tipo de mineralizaciones como son las cartografías geológicas, los análisis petrológicos y estructurales, la caracterización geoquímica, los estudios microtermométricos e isotópicos, los ensayos de difracción, etc. (Fadón *et al.*, 2018). Además de estas técnicas convencionales se ha ensayado la aplicación de otras menos convencionales para este tipo de investigación como son los análisis de pH, los test de brillometría, los ensayos de viscosidad, la determinación de la radiación natural (radiometría), los análisis térmicos y termogravimétricos, etc. El objetivo final es poder llegar a definir posibles parámetros diferenciadores entre los distintos tipos de litologías y así alcanzar el objetivo final de proponer una serie de guías de aplicación general en la exploración de este tipo de sustancias.

Este trabajo recoge las observaciones efectuadas en el estudio comparativo de los valores de conductividad eléctrica obtenidos sobre un total de 82 muestras, la mitad de las cuales pertenecen a granitoides especializados, entendiéndose por fértiles o especializados en metales aquellos cuerpos ígneos que están genéticamente relacionados con la formación de las mineralizaciones, y la otra mitad a granitoides encajantes, correspondiendo estos últimos a cuerpos ígneos que se encuentran espacialmente relacionados con las mineralizaciones pero que genéticamente no presentan una vinculación directa con ellas.

Metodología

Conductividad y conductimetría

La idea de la aplicación de la medida de las variaciones de conductividad eléctrica surge ante la necesidad de desarrollar nuevas técnicas prospectivas rápidas y económicas en el campo de la exploración de yacimientos. Su principal ventaja radica en que se trata de una técnica de rápida aplicación y de bajo coste de ejecución que, como en este caso, se ha aplicado sobre las pulpas de análisis geoquímico (rechazos tras el análisis) ya que se trata de muestras

en polvo bien homogeneizadas y perfectamente representativas, de las que además se conoce su signatura geoquímica. No existen apenas referencias bibliográficas de aplicación de esta técnica en la caracterización de granitoides (Shanov, 2000), y en ningún caso enfocada a exploración minera.

La conductividad en las rocas es la capacidad que tienen para permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí. Se define también como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones (y huecos en el caso de los semiconductores) pueden pasar por él. La unidad internacional de la conductividad es el S/m (siemens por metro) o cualquiera de sus múltiplos, en este caso se ha empleado el $\mu\text{S}/\text{cm}$ debido a la baja conductividad de los granitoides objetos de estudio.

Los factores que determinan la conductividad de una roca son la porosidad, la composición química del agua intersticial y la propia conductividad eléctrica de los granos minerales que la constituyen (Karato y Wang, 2013). Este último en condiciones reales es el menos influyente, pero en nuestro estudio es el factor clave ya que los otros dos factores son iguales para todas las muestras. Todas las muestras están molidas a $75\ \mu\text{m}$, con lo que la porosidad debe ser prácticamente igual, y el agua que llena los espacios porosos es la misma (agua destilada). Respecto a la naturaleza mineral de la roca cabe recordar que la mayoría de los eventos mineralizadores llevan implícita una neoformación de sulfuros y compuestos metálicos que evidentemente incrementan la conductividad eléctrica de la roca. Además la existencia de alteraciones hidrotermales (dolomitizaciones, silicificaciones, feldespatizaciones, argilitizaciones, etc.) que modifican la estructura química general de las rocas, debería igualmente manifestarse en una variación de su patrón de conductividad/resistividad. Por lo tanto analizar las diferencias en los valores de conductividad entre rocas alteradas y no alteradas hidrotermalmente parece necesario. Ahondando en esta afirmación lo que se ha pretendido con este estudio comparativo es determinar la existencia de discordancias químicas entre grupos de rocas de naturaleza similar, todas ellas de afiliación granítica, pero con diversos grados de evolución ígnea, mucho más marcada (tardía y residual) en aquellas clasificables como especializadas en W-Sn que en aquellas que son meramente encajantes.

La metodología de trabajo es muy sencilla: se trata de medir la conductividad eléctrica de rocas sólidas, es decir, evaluar la capacidad de conducción de la electricidad, bien a través del agua que rellena los poros o bien a través de algunos de sus minerales, haciéndose posteriormente una comparativa en la distribución de los valores de dicha conductividad.

La conductimetría es un método analítico basado en la conducción eléctrica de los iones en solución. Se utiliza para medir la molaridad de una disolución, determinada por su carga iónica (o salina), de gran movilidad entre dos puntos de diferente potencial. La conductividad eléctrica es un fenómeno de transporte en el cual la carga eléctrica (en forma de electrones o iones) se mueve a través de un sistema. Para medir dicha conductividad se emplea un equipo, conocido como conductímetro, que es un instrumento que mide la resistencia de la materia al paso de una corriente eléctrica. Para ello, se utiliza una celda de conductividad conectada a un juego de resistencias, una de las cuales es la propia resistencia que ejerce la muestra a analizar, una fuente de corriente alterna y un galvanómetro que cuantifica dicha resistencia.

Para realizar los análisis de las 82 muestras seleccionadas se ha empleado un equipo portátil marca Eutech Instrument, modelo "ECTeste 11+ Multirange" (Fig. 2). Para las calibraciones y los ensayos test se ha utilizado solución patrón de la marca XS Instrument nº 147 (cód. 51100623) que presentan valores de $0,147\ \mu\text{S}/\text{cm} \pm 1\%$ para 25°C y $0,133\ \mu\text{S}/\text{cm} \pm 1\%$ para 20°C . La limpieza se ha hecho con agua destilada.

Para asegurar la calidad de las mediciones se ha realizado una calibración inicial, otra final y 5 intermedias, aproximadamente una calibración cada 12 análisis. Para chequear el buen funcionamiento del equipo se han realizado varios test de medida sobre el líquido patrón. Se ha realizado sendos test al inicio y al final del ensayo, además de otros 8 test intercalados en el ensayo, lo que representa un test cada 10 muestras. Los resultados han sido en todos los casos confiables. Además se han realizado ensayos por duplicado para asegurar la coherencia de los datos. Se han realizado 14 análisis por duplicado, lo que representa aproximadamente 1 duplicado cada 6 ensayos. Los resultados obtenidos han sido coherentes en todas las ocasiones.

Como los análisis requieren que la muestra esté en fase fluida, y las muestras que se analizan son sólidos en polvo, se han realizado suspensiones constituidas por 2 g de muestra en 1 ml de agua destilada. Todas las muestras están molidas a $75\ \mu\text{m}$, con lo que la porosidad debe ser prácticamente igual en todas ellas, y el agua que llena los espacios porosos es también la misma (agua destilada), por lo que el objetivo del trabajo es evaluar las variaciones relativas entre las distintas muestras, y no las absolutas. Con esta metodología los valores de conductividad absolutos que se han obtenido no son significativos, simplemente lo que se ha buscado es homogenizar las condiciones en las que se realizaron las medidas para que las relaciones entre los resultados si lo sean.

Durante la fase de recogida de los datos se han registrado los valores de temperatura a los que se realizó el análisis, ya que la temperatura es un factor importante a tener en cuenta, ya que afecta la capacidad conductora debido a que influye en la movilidad de los iones: a mayor temperatura, mayor es la movilidad de los iones, por lo tanto mayor es la capacidad conductora (Shanov, 2000). Las medidas se han realizado en condiciones de laboratorio; no obstante las condiciones de temperatura no han sido homogéneas oscilando entre $18,6$ y $25,9^\circ\text{C}$, lo que significa $7,3^\circ\text{C}$ de rango. Utilizando como referencia los líquidos patrón de calibración se determina que para un rango de 5°C , la diferencia de conductividad es de $0,014\ \mu\text{S}/\text{cm} \pm 1\%$, por lo que para los $7,3^\circ\text{C}$ experimentados, el error alcanzaría los $0,020\ \mu\text{S}/\text{cm}$, un valor que aunque es de cierta magnitud, a efectos prácticos lo podemos considerar despreciable.

Todas las muestras estudiadas en este trabajo han sido caracterizadas geoquímicamente en los laboratorios ALS Global. Las rutinas empleadas para el análisis han sido: disolución en 4 ácidos y análisis por ICP-AES para los elementos mayores; fusión en borato de Li con análisis por ICP-MS para elementos menores, tierras raras y trazas; a excepción del Li y Hg que se han determinado por disolución en 4 ácidos y análisis por ICP-MS, el Au y los platinoides por ensayo al fuego, el Sn y W por fluorescencia de rayos X en cápsula de metaborato de Li y la pérdida al fuego por descomposición térmica.

Resultados: análisis comparativo

Conductividad eléctrica

En la Figura 3 puede observarse la variación analítica de los valores de conductividad dentro de cada yacimiento, tanto a nivel global (totales), como discriminando por tipologías de granitoides, ya sean especializados o simplemente encajantes. El valor promedio de conductividad obtenido en los granitoides especializados es de $0,16 \mu\text{S}/\text{cm}$, aunque los valores oscilan entre un valor mínimo de $0,04 \mu\text{S}/\text{cm}$ de una de las muestras recogidas en Covas (Portugal) y un valor máximo de $0,73 \mu\text{S}/\text{cm}$ obtenidos sobre el greisen de la mina de Panasqueira (Portugal) (CO y PA en Fig. 3). Este valor máximo es claramente anormal, aunque es fácilmente justificable porque esta roca no es exactamente un producto ígneo sino un material derivado de alteración hidrotermal profunda (Dias Martins, 2017), no obstante el propio granitoide especializado de Panasqueira ya alcanza unos valores moderadamente anómalos de $0,30 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Por otro lado dentro de un mismo yacimiento la variabilidad obtenida es muy baja, no existiendo grandes diferencias entre los valores máximos y mínimos, con rangos que oscilan entre $0,07$ y $0,17 \mu\text{S}/\text{cm}$. Esta tendencia hacia la homogeneidad en los valores apenas se ve rota por los anteriormente citados valores de Panasqueira, que oscilan entre $0,30$ - $0,73 \mu\text{S}/\text{cm}$, o por ejemplo los la zona de Morille-Martinamor cuyos valores varían entre $0,07$ y $0,11 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Como puede apreciarse en la Figura 4 los valores de conductividad eléctrica obtenidos presentan un rango bastante bajo con valores que, salvo en el caso del greisen de Panasqueira, no superan los $0,30 \mu\text{S}/\text{cm}$. En la figura se aprecia claramente como los granitoides especializados presentan un rango de valores mucho más amplio (entre $0,04$ y $0,73 \mu\text{S}/\text{cm}$) que el de sus homólogos encajantes, que oscilan entre $0,05$ y $0,25 \mu\text{S}/\text{cm}$. Esta distribución es apreciable tanto en los gráficos de dispersión (Fig. 4A) como en la distribución ordenada de los valores (Fig. 4B). En este último caso se observa como ambas poblaciones definen líneas de tendencia paralelas entre sí, de tal manera que los granitoides especializados acumulan una línea de tendencia con valores de conductividad más altos que la de sus homólogos encajantes. Este comportamiento podría ser reflejo bien de un mayor contenido en sulfuros, que no parece el caso ya que los valores de S y aniones (As, Sb) es muy baja (ver Fig. 6 azufre), o lo que parece más probable y es que se deba a una mayor complejidad mineralógica de estos granitoides especializados con respecto a los simplemente encajantes.

Esta tendencia hacia una mayor conductividad en los granitoides especializados también se puede observar realizando una representación estadística por categorías. En la Figura 5 se observa claramente como los granitoides clasificables como especializados presentan valores de conductividad más elevados que los meramente encajantes.

Relación entre conductividad eléctrica y elementos químicos

También se han analizado las relaciones entre los valores de conductividad y los distintos elementos químicos presentes en las muestras. Las muestras han sido analizadas geoquímicamente determinándose 66 elementos químicos diferentes. En la Figura 6 se han representado, a modo de ejemplo, las correlaciones más significativas que se establecen entre los valores de conductividad y los elementos metálicos objetivo del proyecto, como son el W y el Sn, pero se han añadido además otra serie de metales que son los más representativos de cada una de las tendencias observadas en la distribución de valores, además del S como representativo del nivel de sulfuros.

Estudiando la correlación entre la conductividad y el W se observa como en general los granitoides especializados presentan una conductividad ligeramente mayor y, al contrario de como cabría esperar, unos contenidos en W ligeramente inferiores, exclusivamente cuando se considera tan solo la población de fondo, que es la mayoritaria, ya que en los granitoides especializados existen valores anómalos que pueden llegar a superar las 3500 ppm (Fig. 6: wolframio), seguramente por contaminación con venas mineralizadas. Este comportamiento es consecuencia de que no existen granitoides especializados en W, sino que este elemento se concentra en el sistema como consecuencia de eventos hidrotermales ya que es transportado por fluidos ricos en volátiles.

En cambio analizando la correlación con el Sn se observa como en los granitoides se observa una leve correlación con los valores de conductividad, lo que confirmaría cierto grado de especialización, más acentuada en los especializados. En cambio si se observa que presentan mayores contenidos en este metal que los granitoides encajantes, cuyos valores no suelen superar las 80 ppm (Fig. 6: estaño). Un comportamiento similar al del Sn, con un mayor

enriquecimiento en metales en los granitoides especializados que en sus homólogos encajantes, es observable en elementos como Ta, Nb, Li, Be, Ga, Y, In, Rb, Tl, Mn, P_2O_5 o especialmente en el Sc (Fig 6: escandio). Existe otro grupo de elementos (As, Sb, Ag, Zn, Cu, Mo, Bi, Cs o Cd) en los que el comportamiento es similar aunque mucho menos evidente, existiendo una población general de fondo en la que ambos tipos de granitoides se comportan de manera parecida, pero los especializados presentan algunos valores anómalos puntuales. Entre ellos se encuentra también el S, el cual, a priori, tendría que ser el elemento que más condicionaría la conductividad, pero que como se aprecia en la figura no refleja ninguna tendencia especial (Fig 6: azufre).

Existe otra población de elementos que presentan un comportamiento contrario con un mayor enriquecimiento en los granitoides encajantes que en los especializados. Elementos como el Zr (Fig 6: circonio) y las tierras raras tienen un comportamiento muy acentuado, en cambio en elementos como Th, V, Hf, Co, Pb, Ti, CaO, MgO (Fig. 6: magnesio) o Fe_2O_3 la diferenciación se detecta pero es más leve. Esto es debido a que estos elementos, en especial el Zr y las tierras raras descienden a medida que avanza la diferenciación magmática, por lo que son más escasos en los términos más evolucionados, como son los especializados.

En elementos como el Al_2O_3 , K_2O y Na_2O (Fig. 6: sodio) y en menor medida el SiO_2 , se aprecia es que los granitoides encajantes tienen un rango de valores muy estrecho, con variaciones de unos pocos puntos porcentuales, mientras que en los granitoides especializados el rango es notablemente mayor, lo que parece confirmar un mayor grado de evolución y especialización, además de reflejar posibles eventos de alteración hidrotermal sobreimpuestos.

Por último existe un grupo de elementos en los que no se aprecia ninguna diferencia significativa, siendo su distribución similar tanto en los granitoides encajantes como en los especializados. A este grupo pertenecen U (Fig. 6: uranio), Ge o Ni o los ensayos de pérdida al fuego, que podrían considerarse como representativos en cierta medida del nivel de volátiles, y en los que tampoco se observa ningún tipo de tendencia. Además existe otro pequeño grupo de metales (Au, Pt, Pd, Se, Te, Re, Cr, Ba, Hg y Sr) en el que los valores son tan bajos, en su mayoría por debajo del límite de detección, que no es representativa su representación.

Conclusiones

A partir del estudio comparativo de los valores de conductividad se puede concluir que los granitoides especializados presentan unos valores de conductividad más elevados que sus homólogos encajantes, oscilando entre 0,04 y 0,73 $\mu S/cm$ (valor promedio de 0,16 $\mu S/cm$), comparado con los valores entre 0,05 y 0,25 $\mu S/cm$ (valor promedio 0,12 $\mu S/cm$) en los encajantes, lo que estaría reflejando una mayor evolución, así como el desarrollo de eventos de alteración hidrotermal sobreimpuestos.

Se infiere además que, como cabría esperar, los granitoides especializados suelen presentar un mayor enriquecimiento en los metales objetivo (Sn, Nb, Ta, Be, Li, Mo o Bi) (Tischendorf, 1977; Haapala, 1997; Neiva, 2002; Simons *et al.*, 2017), salvo en el caso del W en el que los contenidos son ligeramente inferiores en los especializados (teniendo en cuenta únicamente la población de fondo, no los valores anómalos, quizá por contaminación con venas mineralizadas, que pueden llegar a superar las 3500 ppm). Este comportamiento es consecuencia de que no existen granitoides especializados en W, sino que este elemento se concentra en el sistema como consecuencia de eventos hidrotermales ya que es transportado por fluidos ricos en volátiles.

En las correlaciones también se deduce que los granitoides encajantes presentan un rango de valores muy estrecho en elementos como Al_2O_3 , Na_2O y K_2O , rango que es notablemente más amplio en los granitoides especializados, lo que parece confirmar su mayor evolución, además de reflejar posibles eventos de alteración hidrotermal sobreimpuestos.

Existe una población de elementos (Zr, T.R., Th, V, Hf, Co, Pb, Ti, CaO, MgO o Fe_2O_3) que presentan un comportamiento contrario con un mayor enriquecimiento en los granitoides encajantes que en los especializados. Esto es debido a que estos elementos, en especial el Zr y las tierras raras descienden a medida que avanza la diferenciación magmática, por lo que son más escasos en los términos más evolucionados, como son los especializados (Neiva, 2002).

Otros elementos como U, Ni y Ge, o los ensayos de pérdida al fuego (como representativa en cierta medida del nivel de volátiles) no definen ninguna tipo de tendencia significativa, mientras que Au, Pt, Pd, Re, Se, Te, Cr, Ba, Hg y Sr tienen valores tan bajos que no resulta representativa su correlación.

Agradecimientos

La financiación de este trabajo se enmarca dentro del programa de Cooperación INTERREG V-A España-Portugal (2014-2020) (proyecto "ESMIMET", con expediente 0284_ESMIMET_3_E). Los autores desean agradecer la labor de los revisores Dra. Castañón y Dr. Noronha cuyas críticas y sugerencias constructivas han enriquecido notablemente el trabajo realizado.

Referencias

Acebes, P., Calvo, J., Fadón, O., 2018. Desarrollo de técnicas de explotación, medioambientales y energéticas en minería metálica. *Canteras y explotaciones*, 605: 28-30.

- Dias Martins, I.J., 2017. Microanálise elementar de sulfuretos, sulfossais e carbonatos constituintes das associações polifásicas que preenchem os sistemas filonianos de W(-Sn) suporte da mina da Panasqueira (Portugal); reconhecimento de marcadores metalogenéticos. Universidade de Lisboa. Tesis Doctoral, 146 p.
- Fadón, O., Acebes, P., Calvo, J., Marqués de Sá, C., Caldevilla, P., Gómez, J.M., Noronha, F., Toro, A., Gómez, F., 2018. Development of interregional capacities about resources strategic in metallic mining. *Acta in the Minex Europe Forum, Skopje (Macedonia)*.
- Haapala, I., 1997. Magmatic and postmagmatic processes in Tin-mineralized granites: topaz-bearing leucogranite in the Eurajoki Rapakivi granite stock, Finland. *Journal of Petrology*, 38, 12: 1645-1659.
- Karato, S., Wang, D., 2013. Electrical conductivity of minerals and rocks. En: *Physics and Chemistry of the Deep Earth*, (S.-I. Karato, Ed). Wiley-Blackwell, 145-182.
- Neiva, A., 2002. Portuguese granites associated with Sn-W and Au mineralizations. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 74, 1-2: 79-101.
- Shanov, S., Yanev, Y., Lastovickova, M., 2000. Temperature dependence of the electrical conductivity of granite and quartz-monzonite from south Bulgaria: geodynamic interferences. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 3, 2: 13-19.
- Simons, B., Andersen, J.C., Shail, R.K., Jenner, F.E., 2017. Fractionation of Li, Be, Ga, Nb, Ta, In, Sn, Sb, W and Bi in the peraluminous early Permian variscan granites of the Cornubian Batholith: precursor processes to magmatic-hydrothermal mineralisation. *Lithos*, 278-281: 491-512.
- Tischendorf, G., Stempok, M., Burnol, L., 1977. Geochemical and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with rare-element mineralization. *Metallization Associated with Acid Magmatism*, 2. Prague Geological Survey, 41-96.

Pies de figuras

Fig. 1.- Localización de los 15 yacimientos estudiados y de minas e indicios mineros de Sn-W.

Fig. 2.- Muestras empleadas (A) y equipamiento utilizado (B).

Fig. 3.- Rango analítico de valores de conductividad eléctrica por yacimientos, obtenidos en los granitoides especializados, en los granitoides encajantes y los valores totales, de cada uno de ellos. Siglas de los yacimientos (ver su localización en Figura 1): BA: Barruecopardo (España), BE: Bejanca (Portugal), BO: Borralha (Portugal), CO: Covas (Portugal), EN: Enaras (España), FR: La Fregeneda (España), GO: Golpejas (España), LS: Los Santos (España), MM: Morille-Martínamor (España), OT: Otero (España), PA: Panasqueira (Portugal), PE: Peña do Seo (España), VD: Valderodrigo (España), VG: Vale das Gatas (Portugal) y VT: Valtreixal (España). La sigla n indica el número de análisis realizado.

Fig. 4.- Conjuntos poblacionales para las dos familias de granitoides analizados (especializados y encajantes) en el gráfico de dispersión (A) y la distribución ordenada de los valores (B).

Fig. 5.- Distribución estadística por categorías de los valores de conductividad eléctrica para las dos familias de granitoides analizados (especializados y encajantes).

Fig. 6.- Ejemplos de interrelación entre los valores de conductividad eléctrica y algunos elementos químicos representativos para las dos familias de granitoides analizados (especializados y encajantes).

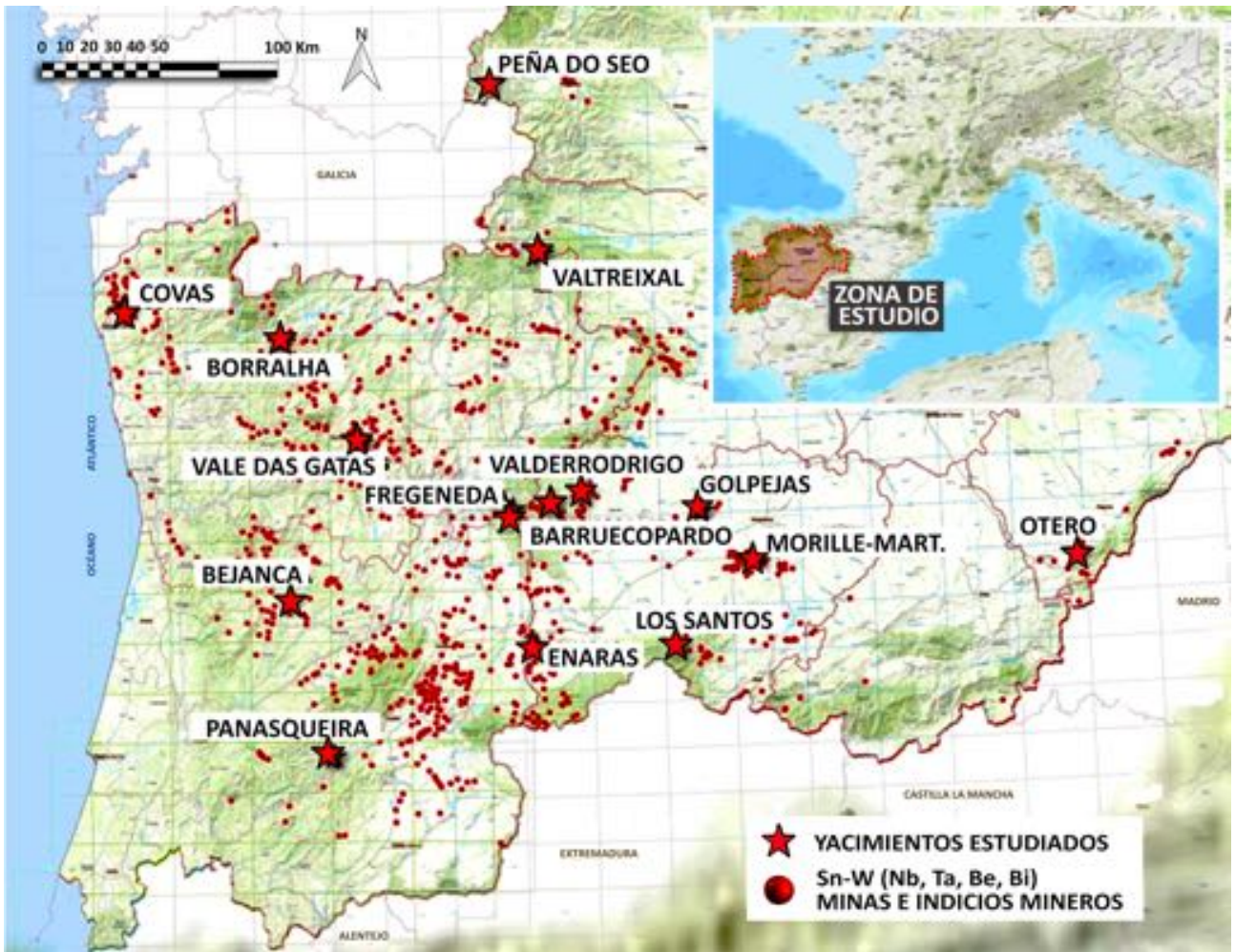


Figura 1



Figura 2

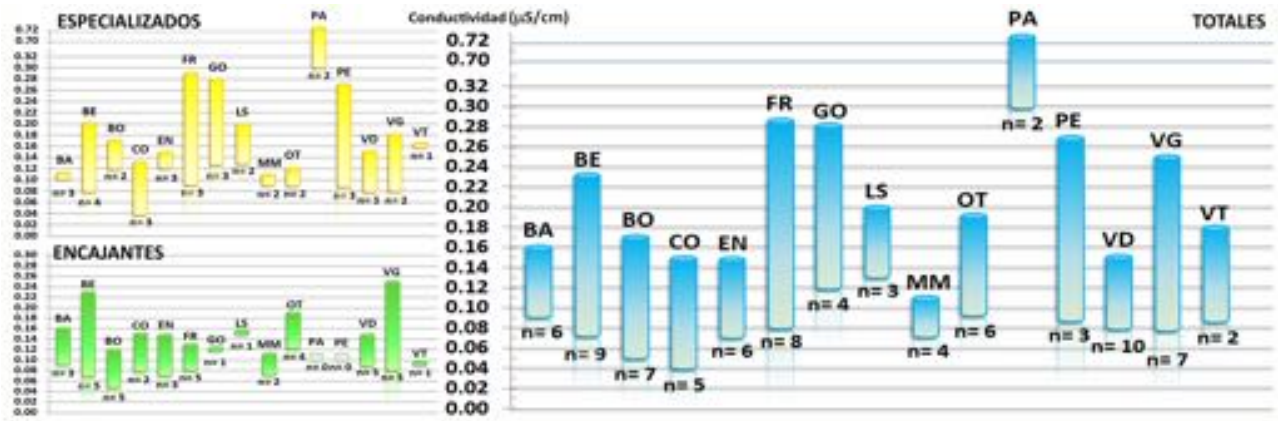


Figura 3

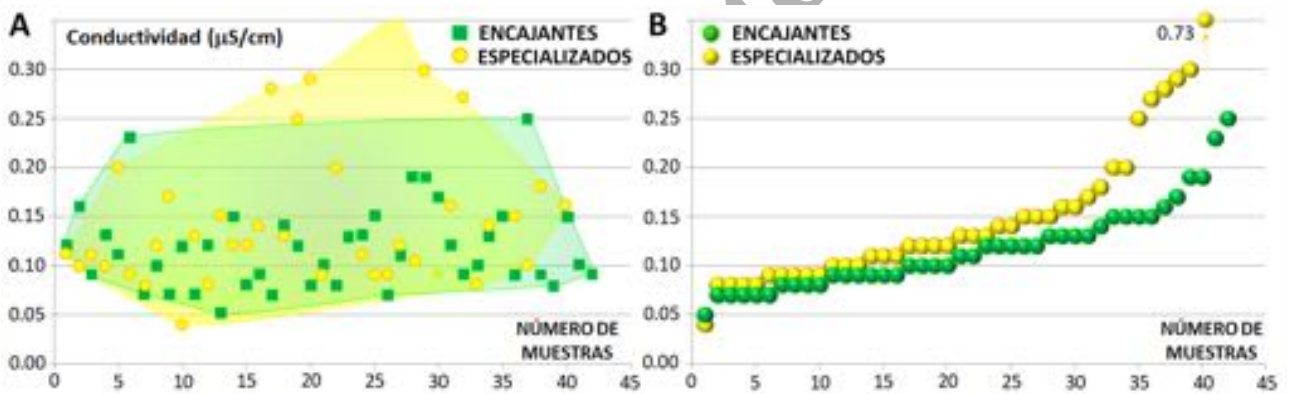


Figura 4

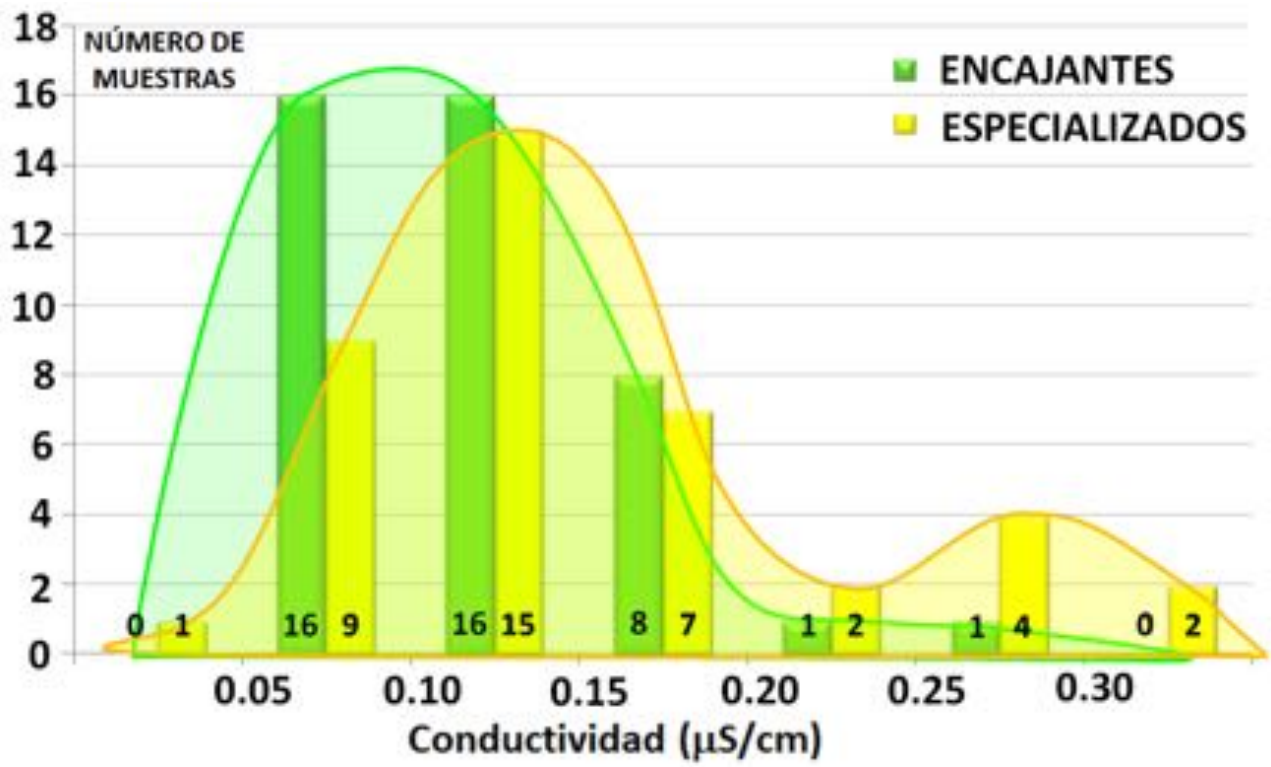


Figura 5

MANUSCRITO AC

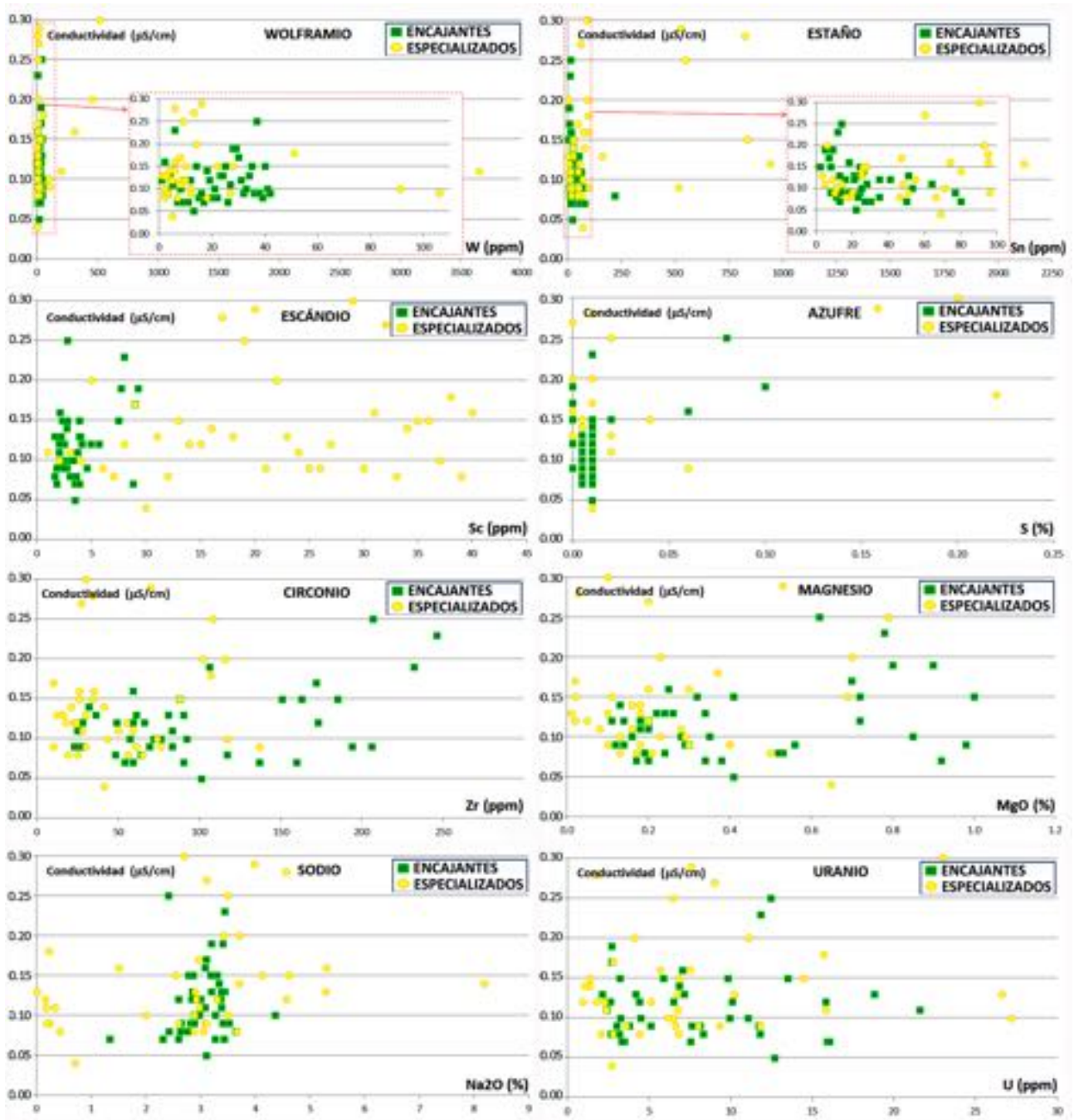


Figura 6