

**Título:** Las Mineralizaciones Magmático-Hidrotermales de Sn-W-(Nb-Ta) del Distrito de Navasfrías (SO de Salamanca) / Magmatic-Hydrothermal Sn-W-(Nb-Ta) Mineralizations of the Navasfrías District (SW Salamanca)

**Autor:** Teresa Llorens González

**Director:** Dra. M<sup>a</sup> Candelas Moro Benito

**Centro:** Departamento de Geología - Universidad de Salamanca

**Fecha de lectura:** 24 de junio 2011

**Tribunal:** Encarnación Roda Robles (Presidenta), María Agustina Fernández Fernández (Secretaría), Emil Makovicky, Salvador Morales Ruano, Mercedes Fuertes Fuente (Vocales)

**Calificación:** Sobresaliente "Cum Laude"

# Las Mineralizaciones Magmático-Hidrotermales de Sn-W-(Nb-Ta) del Distrito de Navasfrías (SO de Salamanca)

/ TERESA LLORENS GONZÁLEZ

Plaza de los Caídos s/n, 37008, Salamanca. tllg@usal.es

## RESUMEN

El Distrito minero de Navasfrías forma parte del sector más occidental de la Sierra de Gata en el Sistema Central Español y se sitúa al SO de la provincia de Salamanca. Está situado en el Macizo Ibérico del Cinturón Varisco de Sn-W, dentro de la Zona Centroibérica (Julivert et al., 1972), que se caracteriza por un basamento gnéisico sobre el que se superpone el Dominio del Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG) (Martínez Catalán et al., 2004), todo ello intruido por un magmatismo sin- o tardicinemático de edad comprendida entre los 300 y los 325 Ma (Bea et al., 2003). Estas rocas metamórficas fueron intruidas por el batolito de Cadalso-Casillas de Flores al norte (Hassan, 1996) y por el batolito de Jálama (Ramírez, 1996), a los que se encuentran asociadas las mineralizaciones de Sn-W-(Nb-Ta) que se han estudiado en este trabajo.

## Mineralizaciones del Batolito de Jálama

El batolito de Jálama es un cuerpo de aproximadamente 220 km<sup>2</sup> que presenta una forma elíptica y discordante, con su eje mayor en dirección NNW-SSE. Su emplazamiento tuvo lugar tras las principales fases de deformación Varisca (D1 y D2) a una presión de entre 2-3 kbares (Ramírez, 1996).

Las mineralizaciones de Sn-W-(Nb-Ta) del distrito de Navasfrías que se encuentran en la parte norte del batolito de Jálama

encajan en las distintas facies que constituyen la Unidad Externa (UE) de dicho batolito, siendo esta el resultado de la cristalización fraccionada de un magma que procede de la fusión parcial de rocas metamórficas de grado bajo, peraluminicas y composicionalmente heterogéneas (Ramírez & Grundvig, 2000). Se diferencian tres tipos de mineralización: 1) casiterita diseminada en las facies de borde de la UE, especialmente en el leucogranito y las aplitas de borde con turmalina; 2) casiterita y óxidos de Nb y Ta diseminados en los diques pegmatíticos intra y peribatolíticos; y 3) casiterita y/o wolframita en las venas de cuarzo encajadas en las facies de borde de la UE.

El primer tipo de mineralización se encuentra en la UE, que se compone, desde las zonas más internas hacia el exterior y norte del plutón, por un monzogranito porfídico de grano grueso (MP), un granito equigranular de dos micas (GE) y un leucogranito de grano grueso con turmalina (LG), además de una serie de diques aplíticos de borde (AB) de carácter también leucocrático y con turmalina. La composición mineralógica de estas facies consta fundamentalmente de feldespato potásico, albita, biotita, moscovita y cuarzo en diferentes proporciones, y su evolución desde las facies menos diferenciadas hasta las más evolucionadas de borde viene marcada por una disminución en las proporciones de feldespato potásico y biotita, y un incremento en el contenido en moscovita y albita. De manera accesoria se encuentran turmalina (fundamentalmente chorlo), clorita, sul-

furos (arsenopirita, calcopirita, pirrotita, pirita y esfalerita, además de löllingita, stannita y molibdenita en las aplitas), circón, andalucita y gahnita. Se han identificado, además, dos importantes asociaciones fosfatadas diseminadas o bien rellenando huecos intersticiales y fracturas tardías únicamente en el LG y las AB con turmalina. La primera está definida por términos de la serie barbo-salita-lipscombite, mitridatita y fluorapatito, además de gormanita y childrenita-eosforita ocasionalmente. La segunda asociación fosfatada está compuesta fundamentalmente por rockbridgeita, whitmoreita, fluorapatito, hidroxilapatito y términos intermedios de la serie childrenita-eosforita, además de montebrasita y goyazita localmente (Llorens & Moro, 2012).

La mineralización en la UE es muy escasa, de manera que únicamente se ha observado casiterita diseminada en el LG y las AB con turmalina. El rutilo es el óxido más abundante, mientras que la tantalita-(Fe) se encuentra solo localmente.

El segundo tipo de mineralización se encuentra en los diques pegmatíticos intra y peribatolíticos. Las pegmatitas encajadas en el MP son muy escasas, presentan direcciones que varían entre N90°E y N120°E, con buzamientos entre 45-60°S, y están compuestas esencialmente por cuarzo, feldespato potásico y mica blanca, con albita y turmalina subordinadas. Las pegmatitas encajadas en el GE siguen direcciones entre N140°E y N180°E, con buzamientos desde 40°SE hasta subverticales.

**palabras clave:** Navasfrías, Batolito de Jálama, Pegmatitas, Venas de Cuarzo, Casiterita, Wolframita, Columbina-tantalita, Sulfuros Fe-Zn-Cu, Sulfosales Bi-Pb-Ag.

Muestran una mineralogía simple (cuarzo, feldespatos potásico, albita y moscovita, además de fosfatos como la *stan\_kita*, la *zwieselita* y el fluorapatito como accesorios) y raramente presentan una grosera zonación interna. Por su parte, en los diques encajados en el LG y las AB con turmalina la zonación interna es más marcada. Presentan direcciones entre N130°E y N180°E y buzamientos subverticales, siendo menos comunes las direcciones N40°E y N70°E. Están compuestos fundamentalmente por cuarzo, feldespatos potásico, albita y moscovita, con cantidades variables aunque accesorias de turmalina, biotita, circón, clorita y sulfuros de Fe y Cu. Montebrazita y alluaudita son los fosfatos más precoces en la secuencia de cristalización, cuya alteración da lugar a todo un cortejo de fosfatos secundarios como xantoxenita, gormanita, mitridatita, rockbridgeita e hidroxilapatito, más abundantes hacia las zonas de borde, o fluorapatito y fosfatos de la serie *childrenita-eosforita*, especialmente en zonas internas (Llorens & Moro, 2012).

Finalmente, se diferencian dos tipos de pegmatitas peribatólicas en Cruz del Rayo, ambos con zonación interna, que intruyen en los materiales de la aureola de metamorfismo de contacto del CEG, además de una unidad tardía casi exclusivamente compuesta por albita sacaroide. Por un lado, los diques de composición granítica constan de albita, cuarzo, mica blanca y feldespatos potásico subordinado. La asociación fosfatada típica se caracteriza por la presencia de restos granulares de tamaño micrométrico de mitridatita y alluaudita, con fluorapatito, hidroxilapatito y rockbridgeita como accesorios, en las zonas de pared e intermedia exterior (Llorens & Moro, 2012). Por otro lado, los diques de composición tipo greisen están compuestos casi exclusivamente por cuarzo y moscovita, y presentan una zonación más simple donde destacan, además, cristales centimétricos de berilo y ambligonita-montebrazita.

La mineralización en los diques pegmatíticos intragraníticos del LG y las AB consta fundamentalmente de casiterita, que es muy escasa, siendo el rutilo el óxido dominante, mientras que el rutilo-Ta es más accesorio. Por el contrario, en las pegmatitas graníticas peribatólicas de Cruz del Rayo la casiterita es abundante, especialmente en los diques tipo greisen, junto con minerales del grupo de la columbita, que evolucionan desde columbita(Fe) en los diques de composición granítica hasta tantalita(Mn) en los de tipo greisen (Llorens & Moro, en prensa).

El tercer tipo de mineralización se encuentra en las venas de cuarzo intragraníticas. En las venas encajadas en el GE la mineralización se encuentra en un conjunto de filones de dirección principal N170°E-N180°E y buzamiento subvertical. Los minerales de la ganga que constituyen el relleno de la vena, son el cuarzo principalmente, y la moscovita de manera subordinada, con cantidades muy accesorias de clorita y apatito. El mineral principal de la mena es la casiterita, además de arsenopirita y esfalerita, con proporciones variables pero claramente inferiores de pirita y calcopirita, y cantidades accesorias de rutilo, pirrotita, bismuto nativo, galena, bismutinita, sulfosales de Bi-Pb-Ag (pavonita) y argentita. Los productos de alteración más frecuentes son la escorodita, que reemplaza a la arsenopirita, la covelita y los óxidos de Fe.

En las venas de cuarzo encajadas en el LG y las AB con turmalina la mineralización principal se encuentra en los haces de direcciones predominantes N70°E a N110°E y buzamientos subverticales, mientras que las N40°E y N60°E son menos frecuentes. El cuarzo es el mineral principal de la ganga junto con la moscovita, además de cantidades accesorias de clorita y dos asociaciones fosfatadas abundantes. La primera se compone de triplita, bermanita, fosfosiderita, rockbridgeita, whitmoireita, fluorapatito y goyazita, y la segunda de triplita, fluorapatito e isokita (Llorens & Moro, 2012). Los minerales principales de la mena son la casiterita y la wolframita, aunque esta última solo se encuentra en las venas de dirección N70°E-N110°E. Acompañando a estos destaca la presencia abundante de arsenopirita y esfalerita junto con cantidades variables de pirita, pirrotita, calcopirita, rutilo, ixiolita, ferrokesterita, galena, matildita, bismuto nativo, bismutinita y sulfosales de la familia de la pavonita (pavonita, dantopaita, benjaminita, mumeita) y de la lillianita (solución sólida lillianita-gustavita, vikingita, heyrovskyita), además de argentita, molibdenita y Au nativo de manera muy local.

### **Mineralizaciones del Batolito de Cadalso-Casillas de Flores**

Por otro lado, los granitoides que constituyen el batolito de Cadalso-Casillas de Flores pertenecen a la prolongación más meridional del batolito de Guarda, en Portugal. Es un granito peraluminico del tipo-S, pobre en CaO y rico en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> emplazado en dos etapas de intrusión que forman dos complejos graníticos: el complejo de El Payo y el complejo de

Peñaparda, siendo ambos el resultado de la fusión parcial de una fuente pelítica (Hassan, 1996). Las mineralizaciones de Sn-W asociadas a determinadas facies graníticas del batolito de Cadalso-Casillas de Flores tienen menos entidad que las del batolito de Jálama y se agrupan en dos tipos principales: 1) casiterita y óxidos de Nb y Ta diseminados en los diques pegmatíticos peribatólicos; y 2) casiterita y/o wolframita en las venas de cuarzo intragraníticas.

El primer tipo de mineralización se encuentra en los diques pegmatíticos de La Canalita de subtipo lepidolita (Cerny & Ercit, 2005), que presentan direcciones que varían entre N130°E y N145°E y buzamientos subverticales. Mineralógicamente, están compuestos por cuarzo, mica blanca y plagioclasa, además de topacio y montebrazita. En zonas concretas de las pegmatitas se encuentran lepidolita y feldespatos potásico, mientras que el circón aparece solo localmente.

Las menas más importantes en estos diques pegmatíticos son la casiterita y los minerales del grupo de la columbita, además de la tapiolita y la microlita de forma accesorio (Llorens & Moro, 2010).

El segundo tipo de mineralización se encuentra en las venas de cuarzo intragraníticas. En la zona de El Cruce (Complejo de El Payo) las venas presentan una dirección N40°E y buzamiento de 70° al NO, con una mineralización constituida por abundante arsenopirita, pirita y esfalerita, cantidades accesorias de calcopirita y galena, y covelita, marcasita, escorodita y óxidos de Fe como productos de alteración. Por su parte, las venas encajadas en el granito de Peñaparda presentan una dirección principal N170°E y buzamiento subvertical. Contienen ocasionalmente casiterita y wolframita y los sulfuros principales son la arsenopirita y la pirita, y esfalerita, galena y calcopirita de forma accesorio. La covelita y la escorodita destacan como los principales minerales de alteración de estos sulfuros, además de abundantes óxidos de Fe. Finalmente, las venas encajadas en el granito de La Ermita presentan direcciones de N50°E a N80°E y buzamientos subverticales, donde destaca la presencia de wolframita diseminada hacia las zonas de borde de las venas. Se encuentra, además, arsenopirita como sulfuro principal, y pirita, esfalerita, calcopirita y galena como accesorios.

### **Caracterización de los Fluidos**

Los estudios de inclusiones fluidas y de

isótopos estables indican que los fluidos responsables de la formación de las pegmatitas asociadas al batolito de Jálama tienen una salinidad moderada y pertenecen al sistema  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{CaCl}_2$ , y que proceden de una fuente magmática, al igual que los fluidos mineralizadores de las venas de cuarzo encajadas en el GE y el LG con turmalina. En este último caso, las escasas concentraciones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2$  y la existencia de determinados desequilibrios isotópicos podrían indicar condiciones ligeramente reductoras que, o bien son heredadas del fluido magmático a partir de la asimilación de materiales metasedimentarios del CEG, o bien proceden del lavado de estos materiales por los fluidos hidrotermales.

### Modelo Metalogenético

Finalmente, las mineralizaciones de Sn-W-(Nb-Ta) estudiadas responden a un modelo metalogenético de cúpula granítica altamente fraccionada y rica en fósforo, que comienza con la diferenciación magmática de las facies graníticas y aplíticas de borde. A continuación tiene lugar la intrusión y cristalización de los diques pegmatíticos a partir de los fundidos residuales. Las pegmatitas intragraníticas, menos evolucionadas, muestran escaso o nulo potencial mineralizador, mientras que las pegmatitas encajadas en la aureola de metamorfismo de contacto, más evolucionadas, muestran un mayor enriquecimiento en elementos incompatibles y volátiles, como el P, F, Sn, Nb, Ta, Cs, Rb y Li. Posteriormente, la participación de fluidos hidrotermales produce una alteración metasomática en toda la cúpula norte del batolito, evento que coincide con el relleno de las venas de cuarzo durante sucesivas fases mineralizadoras a partir de fracturas tardívariscas preexistentes. Finalmente, el aporte de fluidos metamórficos y meteóricos, así como la alteración supergénica de la mineralización metálica, tienen una influencia notable en cuanto que permiten la incorporación de otros elementos no acumulados durante la diferenciación y que da lugar a la amplia variabilidad química de las fases minerales estudiadas.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a una beca de Formación de Personal investigador y por los proyectos de Investigación SA015A06 de la Junta de Castilla y León y 1FD97-0235 de los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER).

### REFERENCIAS

- Bea, F., Montero, P. & Zinger, T. (2003): The nature and origin of the granite source layer of Central Iberia: Evidence from trace elements, Sr and Nd isotopes, and zircon age patterns. *Jour. Geol.*, 107, 399-419.
- Cerny, P. & Ercit, T.S. (2005): The classification of granitic pegmatites revisited. *Can. Mineral.*, 43, 2005-2026.
- Hassan, A. (1996): Estudio de los granitos uraníferos del macizo de Cadalso-Casillas de Flores (Salamanca-Cáceres, España). Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 318 p.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. & Nabais-Conde, L.E. (1972): Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares a escala 1:1.000.000. IGME, Memoria explicativa, 113 p.
- Llorens, T. & Moro, M.C. (2010): Microlite and tantalite in the LCT granitic pegmatites of La Canalita, Navasfrías Sn-W District, Salamanca, Spain. *Can. Mineral.*, 48, 549-564.
- \_ & \_ (2012): Fe-Mn phosphate associations as indicators of the magmatic-hydrothermal and supergene evolution of the Jálama batholith in the Navasfrías Sn-W District, Salamanca, Spain. *Mineral. Mag.*, 76, 1-24.
- \_ & \_ (en prensa): Oxide minerals in the granitic cupola of the Jálama batholith, Salamanca, Spain. Part I: Accessory Sn, Nb, Ta and Ti minerals in leucogranites, aplites and pegmatites. *J. Geosci.*
- Martínez Catalán, J.R., Martínez Poyatos, D. & Bea, F. (2004): Zona Centroibérica. En: "Geología de España", J.A. Vera, ed. SGE-IGME, Madrid, España, 68-133.
- Ramírez, J.A. (1996): Estudio petrológico, geoquímico e isotópico del Batolito de Jálama (Norte de Extremadura). Tesis Doctoral, Univ. Granada, 201 p.
- Ramírez, J.A. & Grundvig, S. (2000): Causes of geochemical diversity in peraluminous granitic plutons: the Jálama pluton, Central Iberian Zone (Spain and Portugal). *Lithos*, 50, 171-197.