

**Título:** Las Mineralizaciones Auríferas de la Granodiorita de Salave, Tapia de Casariego (Asturias)

**Autor:** Luis Miguel Rodríguez Terente

**Director:** Agustín Martín Izard

**Centro:** Departamento de Geología, Universidad de Oviedo

**Fecha de lectura:** 12 Julio 2007

**Tribunal:** Antonio Arribas Moreno (presidente), Pablo Gumiel Martínez, Daniel Arias Prieto, Mercedes Fuertes Fuente y Fernando Palero Fernández

**Calificación:** Sobresaliente "Cum Laude"

# Las Mineralizaciones Auríferas de la Granodiorita de Salave, Tapia de Casariego (Asturias)

/ LUIS MIGUEL RODRÍGUEZ TERENCE

Departamento de Geología. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.

## INTRODUCCIÓN

La explotación de oro en Asturias ha recobrado un importante protagonismo en las últimas décadas sólo equiparable al que tuvo en tiempo de los romanos. Tras la puesta en marcha para su explotación de los yacimientos sitios en Belmonte de Miranda y Salas, tan sólo queda un depósito en la región comparable a estos últimos, y se trata del yacimiento de Salave. Este yacimiento, que al igual que los demás fue explotado en la época romana, ha sido objeto de exhaustivas campañas de investigación en los últimos treinta años. Esta tesis se centra en la caracterización y determinación de las alteraciones hidrotermales, las diferentes menas minerales y la relación del oro con las mismas para, finalmente, establecer un modelo del depósito mineral.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se han consultado las abundantes fuentes bibliográficas que citan el yacimiento desde 1781 hasta el presente, entre las que se incluyen los diferentes informes elaborados por las empresas prospectoras y concesionarias desde 1970. Se ha llevado a cabo una campaña de campo que ha permitido realizar una cartografía de detalle, y se han testificado minuciosamente 7.000 metros de sondeos de los más de 50.000 existentes. Sobre el muestreo realizado, tanto en campo como en el almacén de testigos, se han hecho diferentes estudios en distintos laboratorios de la Universidad de Oviedo. Utilizando microscopía óptica de transmisión y reflexión se han identificado y caracterizado las distintas fases minerales. La microscopía electrónica de barrido se utilizó

para obtener imágenes de pirita y arsenopirita para su posterior estudio morfológico. Se ha utilizado la microsonda electrónica para el análisis de todas las fases minerales detectadas por microscopía, además de la realización de diversos barridos de elementos (mapping) en cristales de arsenopirita, pirita y estibnita.

Sobre las muestras más representativas de los diferentes tipos de rocas ígneas y alteraciones se han efectuado análisis geoquímicos de elementos mayores y traza en los laboratorios de Actlabs en Canadá. También se han hecho estudios geocronológicos Ar/Ar para determinar la edad de la mineralización, los cuales se realizaron en los laboratorios de geocronología de Sernageomin en Santiago de Chile. Además, se completó el estudio con microtermometría en el Laboratorio de Inclusiones fluidas de la Universidad de Oviedo y, finalmente, para estimar la procedencia de los fluidos se realizaron estudios isotópicos en el laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca.

## PRINCIPALES RESULTADOS

Las características geológicas del cinturón de Oro de Oscos, en el que se sitúa el yacimiento de Salave, son consecuencia de las deformaciones producidas por la Orogenia Varisca y durante las etapas post-variscas.

La deformación y el metamorfismo asociado al desarrollo de la Orogenia Varisca en la Región Asturoccidental-leonesa, donde se localiza Salave, afectó a materiales de la serie paleozoica que abarcan el Cámbrico y el Ordovícico. Desde el punto de vista de

las rocas metasedimentarias encajantes de las mineralizaciones son de especial importancia la secuencia siliciclástica de la Serie de los Cabos (Cámbrico Superior), y la Formación Agüeira (Ordovícico Superior), las cuales están separadas por el Cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo.

La etapa que siguió a los plegamientos y cabalgamientos principales de la orogenia Varisca se caracterizó por una tectónica de desgarre como consecuencia del mantenimiento de los esfuerzos compresivos. Esta etapa dio lugar a una extensa red de fracturas, ya sea por reactivación de estructuras previas o por neoformación de otras, con direcciones preferentes de N-S a NNE-SSO y E-O a ESE-ONO, además de otras direcciones subordinadas como son NE-SO y NO-SE. Esta red de fracturas afecta ampliamente determinadas áreas de la zona, donde algunas de ellas debieron de tener gran desarrollo en profundidad y favorecieron el emplazamiento de los cuerpos ígneos de Porcía-Salave-Represas, que se encuentran alineados aproximadamente en dirección E-O. El yacimiento de Salave se localiza en la intersección de zonas de cizalla transtensionales sinistral N110°-120°E, que favorecieron el emplazamiento de la granodiorita, con cizallas dextrales N70°-80°E, originadas tras el emplazamiento del cuerpo ígneo que selló las primeras. Por ello, la extensión se transfirió entonces a las cizallas dextrales N70°-80°E, y a las N30°E, en un estadio transtensional que favoreció la conexión de venas y el flujo de fluidos hidrotermales (Gumiel et al. 2008).

Estos cuerpos ígneos están formados

por rocas que varían de gabros a granitos, pasando por granodioritas, con edades absolutas comprendidas entre los 323 y 287 Ma (Fernandez-Suarez et. al., 2000). Geoquímicamente, estas rocas varían desde calcoalcalinas a subalcalinas y en general son hiperpotásicas, así como metaluminosas en el límite con el campo de las peraluminosas, mostrando una afiliación a magmatismo de tipo I tardiorogénico. Regionalmente, estas rocas son muy semejantes al granito equigranular de El Valle (Belmonte de Miranda) del Cinturón del Río Narcea, que tiene igualmente asociada una importante mineralización de oro.

La intrusión del stock de Salave originó una aureola de metamorfismo de contacto de bajo grado, indicada por la presencia de pizarras mosqueadas en las rocas siliciclásticas de la Serie de Los Cabos.

Las etapas finales de la Orogenia Varisca afectaron también de manera más o menos intensa a las rocas ígneas provocando su fracturación, especialmente en aquellas zonas donde habían actuado los importantes sistemas de fractura previos, como es el caso del manto de Mondoñedo. Este hecho favoreció la circulación y puesta en funcionamiento de sistemas hidrotermales que originaron los yacimientos de la zona. En su extremo occidental, la granodiorita de Salave y las rocas encajantes de su entorno están fuertemente fracturadas y, a su vez, la granodiorita está intensamente afectada por las alteraciones hidrotermales con las que se relaciona la formación del yacimiento.

Tanto por criterios de superficie como a partir de los testigos de sondeo se han encontrado dos tipos de mineralizaciones diferentes. Una más antigua, constituida por filones de cuarzo con molibdenita; y otra, posterior, que parcialmente oblitera a la primera en algunos sitios. Esta última albitiza, carbonatiza y sericitiza la roca ígnea en las zonas donde actúa con mayor intensidad, y la propilitiza y cloritiza en zonas más alejadas. Es a esta alteración a la que se asocia la mineralización de oro.

La caracterización geoquímica confirma los datos microscópicos de la existencia de estos dos tipos de mineralizaciones.

La primera es molibdenífera y está constituida casi exclusivamente por molibdenita, con cantidades menores de bismutinita. Se localiza en venas de

cuarzo subverticales encajadas tanto en el meta-sedentario como en el intrusivo. Se ha originado a partir de un fluido magmático poco salino, con unas temperaturas mínimas de atrapamiento comprendidas entre 210 °C en el metasedentario y más de 300 °C en el intrusivo.

Posteriormente, se desarrolla una segunda mineralización de carácter aurífero, volu-métricamente mucho más importante que la primera.

Los fluidos hidrotermales aprovecharon la red de fracturas preexistentes en la granodiorita para circular, destacando dos sistemas, uno subvertical y otro con suaves buzamientos hacia el oeste. Alrededor de ellas se desarrollan reemplazamientos y alteraciones de diversa intensidad. En las zonas próximas a las fracturas se produjeron intensos reemplazamientos albíticos y moscovíticos (fengita) de la granodiorita que son los portadores de la mineralización. En zonas más alejadas y de manera progresiva, la roca ígnea se propilitiza y cloritiza.

La granodiorita afectada por estas alteraciones se torna verdosa. El grado de alteración se podría correlacionar con un incremento en la tonalidad de este color desde el verdoso claro (zonas cloríticas) a verde muy oscuros (sericitica avanzada). El color también depende de la proporción de carbonato intersticial que tenga la muestra, el grado de sericitización de las albitas neoformadas, y el porcentaje de sulfuros.

La geoquímica realizada evidencia importantes aportes en sodio que producen un intenso metasomatismo de este elemento. A medida que el fluido alcalino va reaccionando, el medio se va sulfurizando y acidificando progresivamente hasta que el cambio en las condiciones de pH es suficiente para alterar los minerales neoformados, sericitizando las nuevas albitas. En zonas distales del foco hidrotermal, la alteración que provoca el fluido, cada vez más mezclado con aguas meteóricas, será de tipo clorítica a propilitica, dependiendo de la intensidad de la misma.

Las REE no presentan una excesiva movilidad, si bien el fluido hidrotermal tiende a concentrarlas. Se observa un comportamiento diferente entre las LREE y las HREE. La albitización genera un enriquecimiento en tierras raras pesadas y pérdida en ligeras. Estas

últimas migrarán hacia zonas cloríticas y propiliticas transportadas por el fluido hidrotermal, donde se ha observado su aumento.

La mineralización aurífera, que se encuentra diseminada por las zonas albitizadas y sericitizaciones, se produce en dos etapas:

Una primera arsenical (que constituye la mayor parte del yacimiento), caracterizada por la presencia de arsenopirita rica en oro, pirita, a veces arsenical y que también puede llevar oro, y escaso oro libre.

Hay una segunda etapa antimonial, localizada de manera aleatoria en algunos sectores del yacimiento, donde se sobrepone a la primera. Se caracteriza por la presencia de estibnita, y esfalerita, con contenidos menores de tetraedrita argentífera, bertierita, jamesonita, boulangerita, zinkenita, bourmonita, calcostibita, lillianita, galeña, calcopirita, scheelita y oro nativo.

Las zonas intensamente arsenopiritizadas son las que tienen las mayores leyes auríferas del yacimiento resultando, no obstante, muy difícil el observar partículas microscópicas de este metal. El oro está íntimamente asociado al arsénico, formando parte de la arsenopirita desde los primeros estadios arsenicales.

Así, se ha observado una deficiencia estequiométrica en los contenidos de arsénico en casi todas las arsenopiritas analizadas que explican la existencia del oro como solución sólida dentro de la misma (fig. 1). Casi todo el oro de Salave está asociado a este mineral, y se ha comprobado que siempre que es así, este oro es refractario, lo que tiene unas claras consecuencias metalúrgicas de cara al beneficio de este metal (Martín Izard & Rodríguez Terente, 2009).

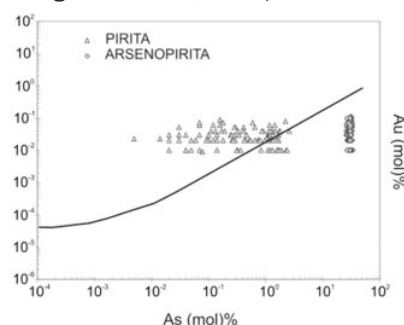


fig 1. Resultados analíticos positivos de trazas de Au en piritas (triángulos) y arsenopiritas (rombos) estudiadas de Salave. Gráfico propuesto por Reich et al. (2005). La curva representa el límite de solubilidad del oro, según la ecuación:  $C_{Au} = 0,02x C_{As} + 4x10^{-5}$ .

La diferencia en la conducta electroquímica de la arsenopirita y pirita será la responsable de que las partículas de oro precipiten en la superficie de la pirita en la interfase entre los dos minerales.

Destacar que, durante la etapa antimonial, el oro tendrá una gran afinidad por este elemento, precipitando durante esta etapa a escala microscópica o incluso visible, en relación con este metal.

La plata es un elemento bastante escaso en Salave, y tiene predilección por las sulfosales tipo tetraedrita o jamesonita, antes que por alearse con el oro formando electrum. Sólo se encuentra de manera significativa en los "feeders" o conductos hidrotermales que alimentaron el yacimiento y que han sido detectados en las zonas más profundas de Salave en forma de fracturas rellenas de sulfuros.

La mineralización aurífera se ha originado a partir de un fluido magmático acuoso-carbónico, con unas temperaturas mínimas de atrapamiento de 350 °C en las zonas más profundas, que se van haciendo menores hacia la superficie y lateralmente, donde parece que se dan fenómenos de mezcla de fluidos ( $\delta D$  y  $O_2$  en fengitas y cloritas). Así, los valores isotópicos obtenidos para la fengita localizada en el intrusivo son  $\delta D$ : -42,6 y  $\delta^{18}O$ ‰: 10,9‰, mientras que los obtenidos para cloritas situadas en venas mineralizadas en el metasedimentario son  $\delta D$ : -31,0 y  $\delta^{18}O$ ‰: 3,9 a 4,3‰.

Los datos termométricos obtenidos a partir del estudio de inclusiones fluidas han sido corroborados por geotermometría de cloritas y de arsenopiritas, si bien esta última sólo ha sido tenida en cuenta

de forma parcial, debido a la zonación omnipresente en las arsenopiritas idiomorfas, que constituyen la mayoría del yacimiento, con la excepción de las zonas de raíz antes mencionadas.

Por otra parte, los valores de los isótopos de azufre indican un origen ígneo para el contenido en molibdenitas ( $\delta^{34}S$  de 2,77 a 2,83‰), muy débilmente contaminado con azufre del encajante para arsenopiritas y piritas de la mineralización aurífera ( $\delta^{34}S$  de 4,88 a 5,88‰), un valor algo superior para la estibnita ( $\delta^{34}S = 7,58$ ‰) y más contaminado para aquellos sulfuros situados en las venas del encajante como son calcopirita y pirita ( $\delta^{34}S$  de 9,01 a 9,49‰).

La edad del proceso de sericitización avanzada (método Ar/Ar en moscovita) ha sido establecida en  $295,4 \pm 1,6$  Ma. (Carbonífero).

Las zonas de alimentación del fluido hidrotermal, serían las fracturas subverticales y a partir de ellas se extendería por las fracturas de bajo buzamiento, preferentemente hacia la superficie, dando lugar a una geometría de abeto asimétrica (fig. 2). Estos reemplazamientos pasan lateralmente y de forma progresiva a sericitizaciones, propilitizaciones y cloritizaciones de la granodiorita.

Las rocas de Salave son equivalentes a las que aparecen en resto en el resto de la Zona Cantábrica. De todas ellas las mejor conocidas son las del cinturón de Río Narcea y las características geoquímicas de elementos mayores y trazas de Salave es similar a la de los stocks Boinás y Carlés.

Desde un punto de vista geoquímico y

de mineralizaciones presentes, el stock de Salave se parece al granito de Carlés, al equigranular del Valle y también al de Linares, que incluye una mineralización de Mo en vetas de cuarzo a la que se sobrepone una mineralización aurífera, aunque en este caso la paragénesis del Au es muy diferente. A escala mundial no hay descrito ningún lugar con la misma la secuencia de procesos descrita en Salave, si bien todos ellos se han encontrado por separado en distintos tipos de yacimientos auríferos. El yacimiento de Salave estaría encajado en un sistema de fracturas que afectan a un granitoide generado en las etapas tardías de un orógeno colisional y tendría carácter mesotermal siguiendo el esquema propuesto por Nesbitt (1988).

## REFERENCIAS

- Fernández-Suárez, J., Dunning, G. R., Jenner, G. A. y Gutiérrez-Alonso, G. (2000): Variscan collisional magmatism and deformation in NW Iberia: constraints from U-Pb geochronology of granitoids. *Journal of the Geological Society*, 157: 565-576, London.
- Gumiel, P., Martín-Izard, A., Arias M., y Rodríguez-Terente, L. (2008): Geo-metrical analysis of the Punta del Pedrón shear zone (Asturias, Spain): Implications related to exploration of Salave Gold-type mineralization. *Journal of Structural Geology*, 30, 354-365.
- Martín-Izard, A. y Rodríguez-Terente, L. (2009): Invisible gold at the Salave Deposit, NW Spain. *Proceedings of the Tenth Biennial SGA Meeting, Townsville*. 725-727.
- Nesbitt, B. E. (1988): Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust. *Geology*, 16:1044-1048.
- Reich, M., Kesler, S.E., Utsunomiya, S., Palenik, C. S., Chryssoulis, S. L. y Ewing, R. C. (2005): Solubility of gold in arsenian pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69: 2781-2796.

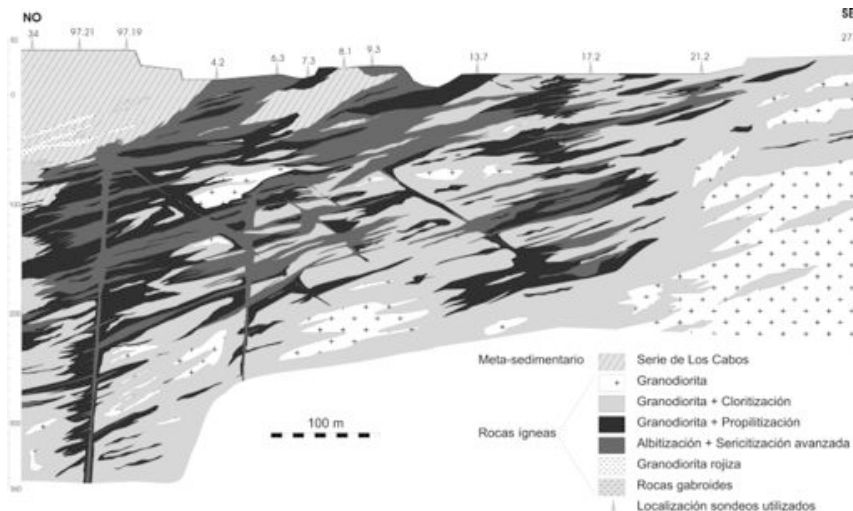


fig 2. Corte geológico y distribución de las alteraciones en la zona central de Los Lagos, Salave