



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Caracterización mineralógica del oro en rocas del Paleozoico mediante Analisis de Microscopia Barrido Electronico (SEM)

Benique Coronel Max, Gonzales Aliaga Roger, Mamani Huarilloclla Edwin & Zegarra Ponce Roberto

Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Av. Sesquicentenario n° 1150

RESUMEN

El presente trabajo de investigación que se está ejecutando en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP) es para dar a conocer las aleaciones naturales de oro en el yacimiento minero La Rinconada ubicada en la Región Puno, en la Cordillera Real al sur de los Andes peruanos. Este yacimiento es conocido a nivel mundial por la presencia de oro del tipo orogénico, el cual se encuentra hospedado en rocas metamórficas que pertenecen a la Formación Sandia del Paleozoico inferior. Las diferentes coloraciones que presentan las partículas de oro hizo que se haga esta investigación mediante el estudio de Microscopia de Barrido Electrónico (SEM); las coloraciones reconocidas en las partículas son: rojizas, amarillas y verdosas, que se presentan en una secuencia de mantos de cuarzo ahumado a diferentes cotas de mineralización. La metodología de trabajo consistió en la toma de muestras de los mantos mineralizados, tanto en interior mina y en superficie; las muestras tenían que contar con la presencia de partículas de oro visibles, luego estas muestras fueron estudiadas y clasificadas por su color, luego fueron fragmentadas a partículas de dimensiones de 1x1x1 cm, para el estudio de SEM. Así, se obtuvieron 12 muestras con partículas de oro con tamaños que varían entre 1 mm a 5 mm. Según el análisis en SEM-EDX de espectro puntual, se obtuvo elementos mayores como O, C, Si, Al, Fe, Mg, y otros como W, Ti, V, Zn. Según correlación de espectro lineal se obtuvo para el caso de oro rojizo que este aumenta con respecto

a los elementos O, C, Ni, Si, Fe, Al, Cl, Na, W, V, Ti y Mg; para el caso del oro amarillo se obtuvo que este disminuye inversamente proporcional a los elementos O, Si, C, Al, Ti, Fe, Na y V; el oro verdoso tiene afinidad con el Fe, Al y a la vez disminuye el O, Si y C.

PALABRAS CLAVES

Oro, Orogénico, Espectro puntual, Espectro lineal, Microscopio Electrónico de Barrido, Aleaciones.

ABSTRAC

The present research work that is being carried out at the National University of the Altiplano of Puno (UNAP) is to publicize the natural gold alloys in the La Rinconada mining deposit located in the Puno Region, in the Cordillera Real south of the Peruvian Andes. This deposit is known worldwide for the presence of gold of the orogenic type, which is housed in metamorphic rocks belonging to the Lower Paleozoic Sandia Formation. The different colorations presented by the gold particles made this investigation by the study of Scanning Electron Microscopy (SEM); The colorations recognized in the particles are: reddish, yellow and greenish, which occur in a sequence of smoky quartz mantles at different levels of mineralization. The work methodology consisted in taking samples of the mineralized layers, both in the interior of the mine and in the surface; the samples had to have the presence of visible gold particles, then these samples were studied and classified by their colors, then they were fragmented into particles of dimensions of 1x1x1 cm, for the study of

SEM. Thus, 12 samples were obtained with gold particles with sizes ranging from 1 mm to 5 mm. According to the SEM-EDX analysis of the point spectrum, greater elements were obtained such as O, C, Si, Al, Fe, Mg, and others such as W, Ti, V, Zn. According to linear spectrum correlation it was obtained for the case of reddish gold that this increases with respect to the elements O, C, Ni, Si, Fe, Al, Cl, Na, W, V, Ti and Mg; for the case of yellow gold it was obtained that this decreases inversely proportional to the elements O, Si, C, Al, Ti, Fe, Na and V; the greenish gold has affinity with Fe, Al and at the same time decreases the O, Si and C.

KEYWORDS

Gold, Orogenic, gold colorations, Point Spectrum, Linear Spectrum, Scanning Electron Microscope, Alloys.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Los afloramientos observados en la zona de estudio pertenecen a la Formación Sandía, esta unidad estratigráfica enmarca la totalidad del área de estudio, cuya litología corresponde a una secuencia de cuarcitas, interdigitadas con niveles de pizarras negras y filitas; el contacto con la unidad estratigráfica infrayacente no se observa, mientras que el contacto suprayacente es con la Formación Ananea a través de un sobrescurrimiento (CHÁVEZ et al., 1996). Descripciones mineralógicas hechas por MIRANDA (1980) en la Mina Rinconada indican relleno de fractura y ocurrencia masiva de sulfuros similares a la zona estudiada. BONNEMAISON et al. (1983) refiriéndose a una mina cercana a la zona de estudio (San Miguel de Untuca) indica que la tectónica Eohercinica estuvo algo más intensa que en la zona de la Rinconada, las rocas presentan foliación metamórfica marcada con aparición de biotita.

El marco tectónico del área de estudio es bastante complejo debido a los efectos tectónicos al que fue sometido en la fase Hercínica y Andina. Esta fase produjo un intenso plegamiento y fallamiento acompañado de un metamorfismo regional. Se han observado dos esquistocidades que afectan el área de estudio S1 y S2, la primera S1(eoherciniana) es subparalela a S0 (estratificación), la segunda S2(tardiherciniana), no está muy desarrollada, generalmente se le encuentra asociada al sistema de fallas, se presenta como King Bands y pliegues tipo chevron de pequeña escala, Martínez, W &

Valladares, J (2014).

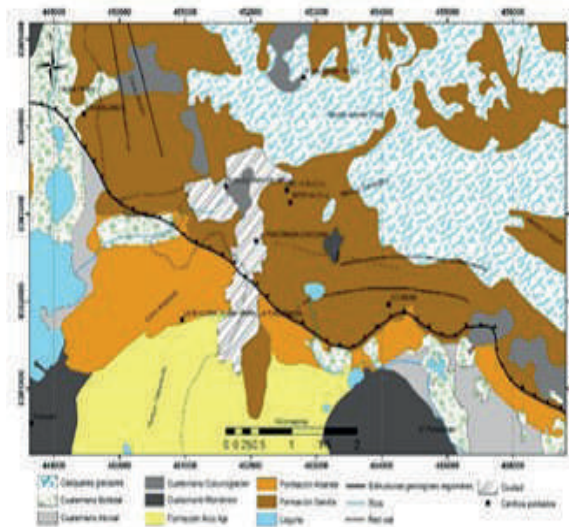


Figura 01. Mapa geológico de la zona de estudio La Rinconada.

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

Según estudio mineralográfico en el metalotecto Formación Sandía, los mantos de cuarzo ahumado muestran minerales según orden de abundancia de, pirrotina (Prt), calcopirita (Cpy), pirita (Py) y oro nativo (Au). Las partículas de oro visible tienen un tamaño promedio de 2mm a 1cm, las cuales rellenan fracturas y a veces su comportamiento forma disseminaciones en la roca caja y cuarzo ahumado. Al respecto del cuarzo Bonnemaison et al (1983) menciona que los mantos con cuarzo ahumado de la Mina Rinconada ubicada al sur de la zona de trabajo presentan extinción ondulante y son engranados (lo que actualmente se le llama "puntos triples" relacionados a metamorfismo). Gonzales et, al (2012) menciona la presencia de tres tipos de cuarzo al norte de la zona de estudio (cuarzo ahumado, cuarzo metamórfico y cuarzo de origen hidrotermal), además menciona la presencia de feldespatos de origen metamórfico.

Con respecto a las tres variedades de oro clasificados según su color, encontramos oro rojizo, oro amarillo y oro verdoso los cuales son ubicados a diferentes cotas, en los sectores Comuni, Santa Ana y Lunar de Oro respectivamente que son verificados por la Corporación Minera Ananea S.A.

a) A la cota 5200 msnm aprox. se tiene el tipo de Oro Rojizo, el cual se emplaza en un manto de cuarzo ahumado que tiene potencia de 2 cm como promedio, este mantiene su espesor en largos tramos y en ciertas zonas llega a adelgazar hasta 0.5

cm.

b) A la cota 4995 msnm aprox. se tiene el tipo de Oro Amarillo, este esta englobado en un manto de cuarzo ahumado anhedral con una potencia variables que va desde 5 cm hasta 15 cm. A veces presenta alteración clorítica.

c) A la cota 4850 msnm aprox. se tiene el tipo de Oro Verdoso el cual se emplaza en mantos de cuarzo ahumado y lechoso, este tiene una potencia que varía entre 3 cm hasta 8 cm.

Los tipos de alteraciones encontrados en el lugar de estudio y los que se relacionan a los mantos mineralizados, presentan alteración clorítica principalmente, seguida de silicificación moderada a fuerte, sericitización en las cajas o paredes de los mantos.

RESULTADOS DE ANALISIS

a) Oro Rojizo.- mediante el análisis SEM-EDX con espectro puntual se obtuvo elementos asociados que acompañan al oro rojizo como el O, C, N, Si, Fe, Al, Cl, Na (Figura 02.a.). Haciendo una correlación de espectro lineal (figura 02.b.) se tiene que el Au aumenta su concentración con respecto a los elementos mayores como O, C, N, Si, Fe, Al, Cl, Na, W, V, Ti, Mg. Por lo tanto de acuerdo a las concentraciones de aleaciones de elementos metálicos se tiene que el color del oro rojizo es a causa de la aleación con el Fe y Al. Acotando según (Sibson et al. 1988) los contenidos de Cl y Na, As, (W) y bajo en metales como Cu, Pb y Zn ocurren en este tipo de yacimiento de tipo oro orogénico. Según Atkinson Jr. (2006) la presencia del metal base Zn en este tipo de oro probablemente fue removilizado por soluciones salinas de formaciones sedimentarias.

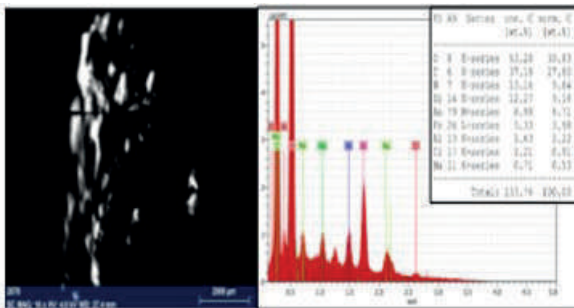


Figura 02.a. Imagen y espectro puntual de análisis SEM – EDX de muestra de oro rojizo a) Izquierdo. Imagen por SEM-EDX de una muestra de oro rojizo b) Derecho. Espectro de Rayos X obtenido por SEM-EDS de una muestra de oro de color rojizo.

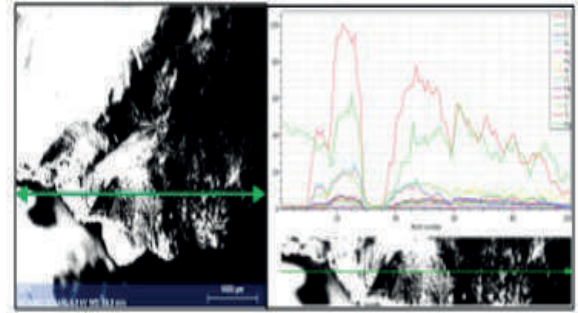


Figura 02.b Imagen y espectro lineal de análisis SEM – EDX de muestra de oro rojizo.

b) Oro Amarillo.- mediante el análisis SEM-EDX con espectro puntual se obtuvo elementos asociados que acompañan al oro amarillo como el C, O, N, Si, Ga, Al, (Figura 03.a.). Haciendo una correlación de espectro lineal (figura 03.b.) se tiene que el Au disminuye su concentración cuando aumenta las concentraciones de los elementos O, Si, C, Al, Ti, Fe, Na, V. Por lo tanto de acuerdo a las concentraciones de aleaciones de elementos metálicos se tiene el color de oro amarillo es a causa de la disminución de Al y Fe.

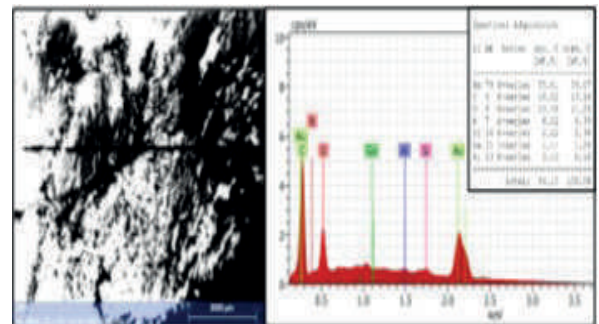


Figura 03.a. Imagen y espectro de análisis SEM – EDX de muestra de oro amarillo a) Izquierdo. Imagen por SEM-EDX de una muestra de oro b) Derecho. Espectro de Rayos X obtenido por SEM-EDS de una muestra de oro amarillo.

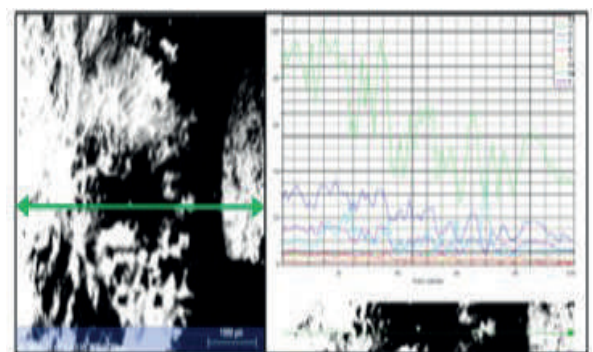


Figura 03.b Imagen y espectro lineal de análisis SEM – EDX de muestra de oro amarillo.

c) Oro Verdoso.- mediante el análisis SEM-EDX con espectro puntual se obtuvo elementos asociados que acompañan al oro verdoso son el O, Si, Fe, Al, (Figura 04.a.). Haciendo una correlación de espectro lineal (figura 04.b.) se tiene que el Au aumenta su concentración junto con el Fe y Al y disminuye las concentraciones de elementos O, Si, C. Por lo tanto de acuerdo a las concentraciones de aleaciones de elementos metálicos se tiene el color de oro verdoso es a causa del aumento de Al y Fe, y disminución del O, Si y C.

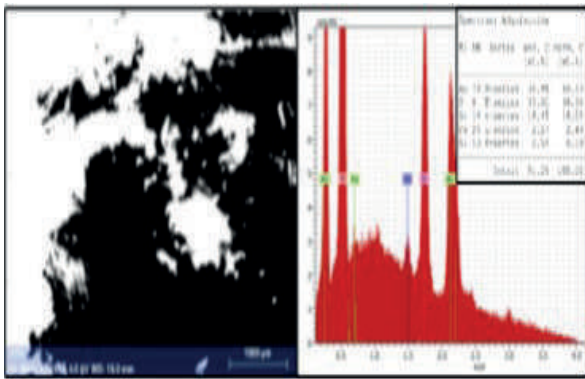


Figura 04.a. Imagen y espectro de análisis SEM-EDX de muestra de oro amarillo a) Izquierdo. Imagen por SEM-EDX de una muestra de oro b) Derecho. Espectro de Rayos X obtenido por SEM-EDS de una muestra de oro verdoso.

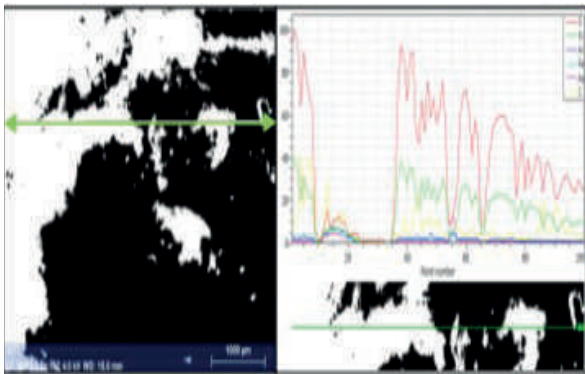


Figura 04.b Imagen y espectro lineal de análisis SEM-EDX de muestra de oro verdoso.

CONCLUSIONES

- Con respecto al oro rojizo se obtuvo que sus concentraciones de elementos mayores son O, C, N, Si, Au, Fe, Al, Cl, Na y con respecto a la correlación espectral lineal se obtuvo que el oro aumenta proporcionalmente con respecto a los elementos como O, C, N, Si, Fe, Al, Cl, Na, W, V, Ti, Mg. por lo tanto el color del oro rojizo es a causa de la aleación con el Fe y Al.

- En caso del oro amarillo se obtuvo concentraciones de elementos C, O, N, Si, Ga, Al y con respecto a la correlación espectral lineal el Au disminuye inversamente proporcional a los elementos O, Si, C, Al, Ti, Fe, Na, V. Por lo tanto su color amarillo se debe a la disminución de Al y Fe.
- En el oro verdoso se obtuvo mediante análisis espectral puntual elementos como O, Si, Fe, Al y en el análisis de espectro lineal el Au tiene aleación con el Fe y Al, y disminuye las concentraciones de elementos O, Si, C.
- El contenido de W en las muestras de oro se asume como óxidos, como por ejemplo Sheelita.

REFERENCIAS

Acosta J., Rodrigues I., Valencia M. & Flores A. (2011) – “Metalogenia y Geología Económica por Regiones: Memoria sobre la geología económica de la región Puno”, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, INGEMMET, Lima – Perú.

Melgarejo J. C., Proenza J. A., Galí S. & Llovet X. (2010) – “Técnicas de Caracterización Mineral y su Aplicación en Exploración y Explotación Minera”, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 62, Núm. 1, P. 1-23

Martines W. & Cervantes J. (2014) - Yacimiento Untuca, Marco Estructural y mineralización en las cuarcitas ordovicianas de la Formación Sandia- Cordillera Ananea, congreso de geología del Perú.

Atkinson W. (2006) – “Nuevos conceptos en la exploración por oro”, Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental de Lima, Capítulo de Ingeniería Geológica, Lima, Perú.