



TRIÁNGULO COMPOSICIONAL DE LIMONITAS: UNA CARTILLA ÚTIL EN LA INTERPRETACIÓN DE AFLORAMIENTOS LIXIVIADOS EN COBRES PORFÍRICOS

Facundo J. Cecenarro, Natalia B. Dogliani y Raúl Lira

Museo de Mineralogía "Dr. Alfred Stelzner". Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Av. Vélez Sarsfield 299. C.P.: X5000JJC. Córdoba, Argentina. rlira@com.uncor.edu; cecenarrofacundo@gmail.com; ndogliani@gmail.com

La alteración supergénica de los sistemas de sulfuros da como resultado muchos productos que permiten una interpretación sobre la mineralogía original del yacimiento en profundidad. Dichos productos forman el llamado *gossan* o sombrero de hierro, y junto con las texturas que se observan en esta zona, sirven para inferir la mineralogía primaria de la mineralización. El estudio de estos productos en el campo constituye una herramienta habitual en la exploración de yacimientos de pórfidos de cobre.

Los afloramientos producidos por la oxidación y lixiviación de los depósitos con sulfuros son compuestos mayormente por limonitas y jaspes limoníticos. El entendimiento de la dinámica mineral está basado principalmente en la química y el conocimiento de dos grupos de procesos esenciales para la formación del lixiviado. Primero, la oxidación, hidrólisis y solución de los sulfuros, y segundo la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro. Estos procesos son fundamentales para el enriquecimiento supergénico. Las condiciones favorables para que este tipo de procesos se puedan llevar a cabo son pH bajos (ambiente ácido) y un Eh mayor a 0 (cero), o sea, de tipo oxidante. La gran mayoría de los pórfidos que yacen en la Cordillera de los Andes, se encuentran en climas semiáridos y templados a fríos, los cuales son favorables para un buen desarrollo del sombrero de hierro, ya que la capa freática se encuentra profunda, permitiendo una continua exposición a los procesos atmosféricos (Anderson 1982).

Con respecto a la disolución de los metales, el cobre presenta un campo de movilidad mayor que el hierro en ambientes ácidos, por lo tanto, es transportado a mayores profundidades, mientras que el hierro permanece en zonas más superficiales, expuesto a la oxidación.

La "limonita" es un agregado compuesto por una serie de minerales, entre los cuales los principales son: hematita, goethita, jarosita, la cual forma una serie con la alunita, y siderita. El primero de ellos, se forma por la oxidación del hierro que queda expuesto en la superficie y que no fue transportado en solución. La goethita, sufre un proceso similar con una subsiguiente hidratación. La jarosita, se forma luego de que se oxidan los sulfuros con sobrante de ácido (pirita), cuando se transporta el complejo $(3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$ en solución, si hay en el sistema disponibilidad del ión potasio (muy común en cobres porfíricos por alteración de minerales como feldespato potásico, biotita y sericita de zonas de alteraciones potásicas y fílicas), se sustituyen químicamente tres moléculas de H_2O por una de K_2O , lo que hace precipitar este mineral. Es menester nombrar que las limonitas tienen impurezas, entre las más comunes se encuentran sílice, carbonatos, sulfatos y óxidos de Mn. La siderita y el resto de las impurezas se consideran que son generadas a partir de la ganga.

El color de las limonitas depende de la composición química, del contenido de humedad presente, del tamaño de grano, del arreglo de los cristales y, específicamente, del tipo (indígena, "fringing" o exótica). Se sabe que los colores de las limonitas varían entre los marrones, amarillos, rojos, castaños y hasta negros (Blanchard 1968). La hematita indígena presenta un color castaño, la hematita transportada rojo ladrillo y la hematita que reemplaza calcosina presenta color rojo carmesí, la goethita indígena marrón, la goethita transportada marrón amarillento, y la jarosita transportada amarillo.

Se sabe que el color resultante de cada limonita sirve como diagnóstico para la interpretación de las relaciones de distribución cuantitativa de los distintos sulfuros originarios en la exploración de pórfidos cupríferos: a) zonas con color marrón oscuro casi negro (*pitch limonite*) están relacionadas a zonas de pasaje transicional a enriquecimiento supergénico primario; b) zonas con hematita y goethita con colores castaños a marrones oscuros son interpretadas como indicadoras de zonas donde la relación sulfuros Cu/sulfuros Fe fue alta; c) zonas con hematita color rojo carmesí, están relacionadas a áreas con enriquecimiento supergénico secundario; d) zonas con jarositas y goethitas de colores amarillos y castaños claros se interpretan como estériles (baja relación sulfuros Cu/sulfuros Fe).

El trabajo realizado tuvo como objetivo la elaboración de una cartilla de colores para correlacionar el color de la limonita hallada en el campo, con un color patrón correspondiente a una proporción definida de hematita, jarosita y goethita, que son los componentes que le otorgan el color distintivo a cada limonita. Se pretendió elaborar una herramienta práctica y sencilla para el geólogo de campo dedicado a la exploración minera, que permita una estimación rápida de las relaciones porcentuales de los tipos de sulfuros presentes en un depósito mineral, a partir de una limonita hallada en la zona de oxidación/lixiviación de un sistema de cobre porfírico, y así poder inducir si es favorable el desarrollo de una zona de enriquecimiento supergénico en profundidad o estimar la relación primaria pirita/calcopirita.

La confección de una cartilla patrón de colores, en donde a cada color le corresponde una proporción específica de los minerales que forman la limonita, implica la elaboración de mezclas formadas a partir de distintas proporciones de minerales puros, por lo tanto se trabajó con muestras de hematita, goethita y jarosita, todas provenientes de sombreros de hierro de cobres porfíricos (Salta y Catamarca), las cuales se purificaron por *hand picking* bajo lupa binocular (<1% de impurezas). Todas las muestras fueron sometidas a difracción de rayos X para corroborar su identidad y grado de pureza. De toda la colección de muestras de limonitas, se seleccionaron cinco muestras para la difracción, de las cuales sólo tres brindaron resultados satisfactorios. A continuación se molieron en un molino tipo Herzog (cazoleta de vidia) para obtener una granulometría uniforme tamaño arcilla. El triángulo (Fig. 1) se elaboró mezclando distintas proporciones de los constituyentes, respetando relaciones volumétricas calculadas a partir de los pesos específicos de cada especie.

En la cartilla, la variación de colores de las mezclas es más detallada que la carta de colores de Munsell (1975), habiéndose reconocido hasta dos colores intermedios de mezcla entre colores adyacentes de referencia, hecho por el cual no se les podría asignar a todos los colores de la tabla un código de Munsell (1975).

Se realizó, además, espectrofotometría de reflectancia de todas las muestras, y como producto de ello se confeccionó una biblioteca espectral en el rango VNIR para futuros análisis de detalle con espectrómetros y sensores remotos.

Agradecimientos: los autores agradecen las ideas originales sobre aplicaciones prácticas de limonitas en la exploración minera de los geólogos Brock Riedell, M.A. Valdez (BHP Billiton) y del Dr. Andrea Cocucci (UNC-CONICET), por habernos facilitado el espectrofotómetro de reflectancia.

Anderson, J.A. 1982. Characteristics of leached capping and techniques of appraisal. En: Titley, S.R. Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America. University of Arizona Press: 275-295.

Blanchard, R.L. 1968. Interpretation of leached outcrops. Nevada Bureau of Mines Bulletin 66: 196 p.

Gilmour, P. 1995. A field guide to leached capping interpretation. En: Pierce, F.W. y Bolm, J.G. (eds.), Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera. Arizona Geological Society Digest 20: 169-179.

Munsell Color. 1975. Munsell Soil Color Charts. Baltimore, Md., EE.UU, 34p.

Taylor, R. 2011. Gossans and Leached Cappings – Field Assessment, Springer-Verlag Berlin, 117p.

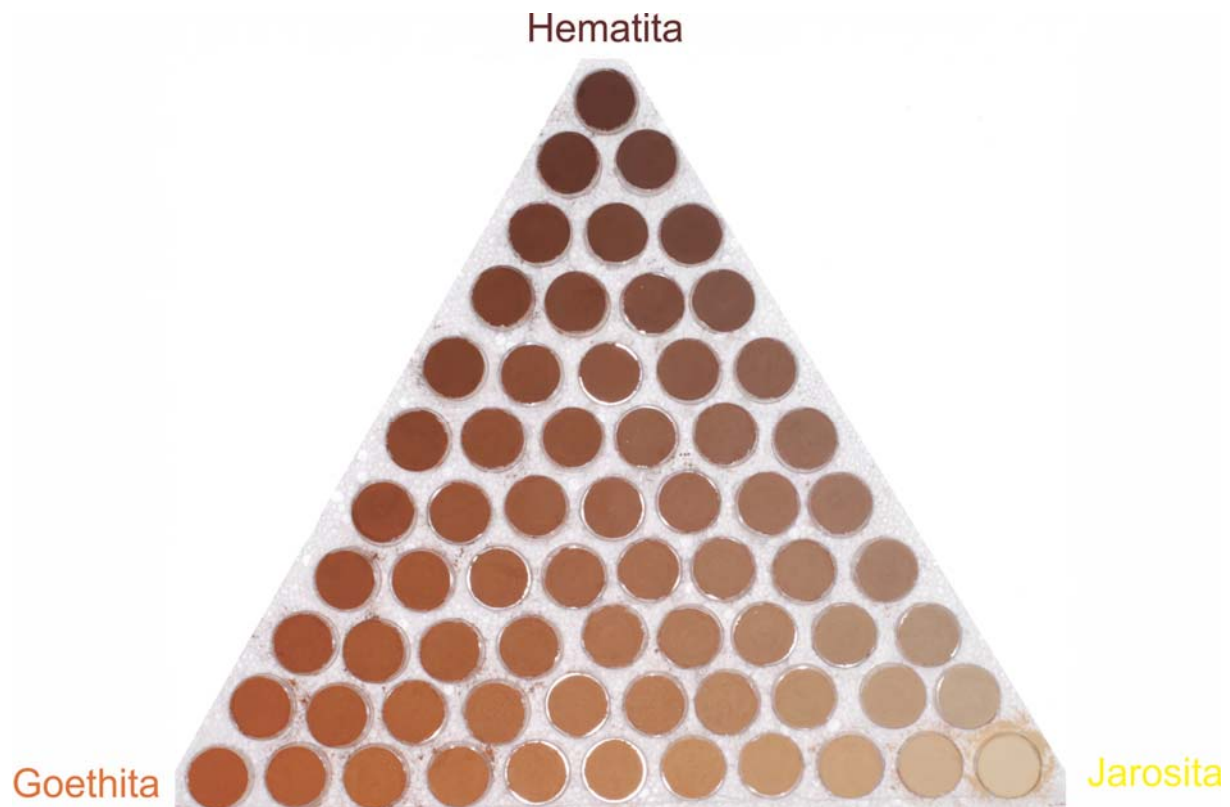


Fig. 1: Triángulo composicional de limonitas.