

CURSO: Análisis de los productos de alteración hidrotermal y su aplicación en el estudio de yacimientos

Objetivos: Introducir al profesional a la metodología de estudio de las rocas con alteración hidrotermal y su aplicación al estudio de yacimientos.

Destinatarios: Geólogos, Geofísicos e Ingenieros Geólogos.

Requisitos de admisión: Graduados de Ciencias de la Tierra, Geofísica y afines.

Cupo: 20 personas.

Modalidad de aprobación: Examen final.

PROGRAMA

Módulo 1

Concepto de alteración. Diferentes procesos que producen alteración. Ejemplos. Las alteraciones hidrotermales. Escalas de estudio. Controles de los productos de alteración hidrotermal. Productos y asociaciones de alteración. Diagramas termodinámicos. Caracterización físico – química de los fluidos mineralizantes. Técnicas de estudio.

Trabajo práctico Reconocimiento de los procesos con alteración hidrotermal.

Trabajo práctico Técnicas analíticas aplicadas al estudio de la alteración hidrotermal.

Módulo 2

Técnicas de reconocimiento de los minerales de alteración. Alcances y limitaciones. Estudio de muestras alteradas utilizando microscopio petrográfico. Cambios texturales y mineralógicos. Ejemplos. Ejemplos de diferentes tipos y asociaciones de alteración.

Trabajo práctico Estudio de muestras con alteración al microscopio.

Módulo 3

Cambios químicos involucrados en los procesos de alteración. Comportamiento de los diferentes elementos bajo diferentes condiciones fisicoquímicas. Significado de los análisis químicos en rocas alteradas. Cuantificación de los procesos de alteración hidrotermal. Interpretación de los análisis químicos.

Trabajo práctico Utilización de diagramas ISOCON

Módulo 4

Distribución de las asociaciones de alteración hidrotermal en depósitos de diferente origen (pórfiros, epitermales, greisen, SEDEX-VMS, IOCG, skarns). Interpretación de la información y su aplicación en la construcción de modelos genéticos de yacimientos.

Trabajo práctico Reconocimiento muestras con alteración hidrotermal.

Trabajo práctico Estudio de las alteraciones hidrotermales aplicado a la yacimientología.

Módulo 5

Discusión de casos de estudio. Taller de rocas alteradas: Análisis y discusión de los de las problemáticas particulares planteadas por los asistentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. L., 1988.** False pyroclastic textures in altered silicic lavas, with implications for volcanic-associated mineralization. *Economic Geology* 83: 1424-1446.
- Alt, J.C., 1999.** Hydrothermal alteration and mineralization of oceanic crust. In *Volcanic associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings*, Reviews in Economic Geology Vol. 8, C.T. Barrie & M.D. Hannington Ed.
- Anderson, G. M., 1998.** The thermodynamics of hydrothermal systems. In *Techniques in hydrothermal ore deposits geology*, Reviews in Economic Geology Vol. 10, Richards, J. & Larson, P. Ed., 256 p.
- Arehart, G. B., Kesler, S. E., O'Neil, J. R. y Foland, K. A., 1992.** Evidence of supergene origin of alunite in sediment-hosted Micron Gold Deposit, Nevada. *Economic Geology* 87 (2): 263-270.
- Barnes, L.H., 1997.** *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley and Sons.
- Blanchard, R., 1968.** Interpretation of leached outcrops. Nevada Bureau of Mines, Bull. 66, 196 p.
- Bodnar, R., 1998.** Philosophy of fluid inclusions analysis. Course notes.
- Burt, D., 1981.** Acidity-salinity diagrams – Application to greisen and porphyry deposits. *Economic Geology* 76: 832-843.
- Burton, M. D. y Johnson, D. A., 1996.** Evaporitic - source model for igneous – related Fe oxide (REE, Cu, Au, U) mineralization. *Geology* 24 (3): 259 -262.
- Campbell, A. R. y Larson, P. B., 1998.** Introduction to stable isotope applications in Hydrothermal systems. In *Techniques in hydrothermal ore deposits geology*, Reviews in Economic Geology Vol. 10, Richards, J. & Larson, P. Ed., 256 p.
- Capaccioni, B. y Coniglio, S., 1995.** Varicolored and vesiculated tuffs from La Fossa volcano, Vulcano Island (Aeolian Archipelago, Italy): evidence of syndepositional alteration processes. *Bulletin of Volcanology* 57: 61-70.
- Cathelineau, M., 1988.** Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature, *Clay minerals* 23: 471-485.
- Cathles, L.M., Erendi, A.H.J. y Barrie, T., 1997.** How long can a hydrothermal system be sustained by a single intrusive event. *Economic Geology* 92: 766-771.
- Chavez, W. X., 2000.** Supergene oxidation of Copper deposits: Zoning and distribution of copper oxide minerals. *Society of Economic Geologist Newsletter* N° 41.
- Corbett, G., 2002.** Epithermal gold for explorationists. *AIG Journal*: 1-26.
- De Caritat, P., Hutcheon, L y Walshe, J. L., 1993.** Chlorite geothermometry: A review. *Clays and clay minerals* 41 (2): 219-239.
- Dilles, J. y Einaudi, M., 1992.** Wall-Rock alteration and Hydrothermal flow paths about the Ann-Mason Porphyry Copper Deposit, Nevada - A 6-Km in vertical reconstruction. *Economic Geology* 87: 1963 – 2001.
- Di Tommaso, I. y Rubinstein, N., 2007.** Hydrothermal alteration mapping using STER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina. *Ore Geology Review* 32: 275-290.

- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S., 1995.** Quartz textures in epithermal veins, Queensland – Clasiffication, origin and implications. *Economic Geology*, 90 (6): 1841-1856.
- Dong, G. y Morrison; G. W., 1995.** Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. *Mineraliumdeposita* 30: 11 -19.
- Drummond, S. E. y Ohmoto, H., 1985.** Chemical Evolution and Mineral Deposition in Boiling Hydrothermal Systems. *Economic Geology* 80: 126-147.
- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W., y Inan, E., 2003.** Sulfidation state of hydrothermal fluids: The porphyry-epithermal transition and beyond, in Simmons, S.F, and Graham, I.J., eds., *Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth: Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10, Chapter 15, p. 285-313.*
- Emsbo, P., 2009.** Geologic criteria for the assessment of sedimentary exhalative (Sedex) Zn-Pb-Ag deposits. Open-File Report 2009–1209, 25 pp. U.S. Geological Survey.
- Field, C. y Lomabardi, G., 1972.** Sulfur isotopic evidence for supergenic origin of alunite deposits, Tolfa district, Italy. *Mineraliumdeposita* 7: 113 – 125.
- Grant, J.A., 1986.** The isocon diagrams-A simple solution to Gresen’s equation for metasomatic alteration. *Economic Geology* 81: 1976-1982.
- Gresens, R. L., 1967.** Composition -volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology* 2: 47-55.
- Gustafson, L.B. y Hunt, J.P., 1975.** The Porphyry Copper Deposit at El Salvador Chile. *Economic Geology* 70: 857-912.
- Harris, A. y Golding, S., 2002.** New evidence of magmatic-fluid–related phyllic alteration: Implications for the genesis of porphyry Cu deposits. *Geology* 30 (4): 335–338.
- Hartley, A. J. y Rice, C. M., 2005.** Controls on supergene enrichment of porphyry copper deposits in the Central Andes: A review and discussion. *Mineralium Deposita* 40: 515–525.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. y Reynolds, T., 1998.** Evolution of an Intrusion-Centered Hydrothermal System Porphyry and Epithermal Cu-Au Deposits, Philippines: Far Southeast-Lepanto. *EconomicGeology* 93 (4): 373-409.
- Henley, R. y Mc. Nabb, A., 1978.** Magmatic vapor plumes and ground water interaction in porphyry copper emplacement. *Economic Geology* 73: 1-20.
- Henley, R. W. y Ellis, A. J., 1983.** Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth Science Review* 19, 1-50.
- Henrich, C., 2005.** The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study. *Mineraliumdeposita* 39: 864–889.
- Heinrich,1C. A., Pettke,T., Halter, W. E., Aigner-torres, M., Aud´etat, A., Gunther,,D., Hattendorf, B, Bleiner, D., Guillong, M. y. Horn, I., 2003.** Quantitative multi-element analysis of minerals, fluid and melt inclusions by laser-ablation inductively-coupled-plasma mass-spectrometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, (18): 3473–3496.

- Hitzman M. W., Oreskes N., Einaudi M. T., 1992.** Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-UAu-REE) deposits. *Precamb. Res.* 58:241–287
- Huston, D., 1998.** The hydrothermal environment. *Journal of Australian Geology and Geophysics* 17 (4): 15-30.
- Huston, D. L. y Cozens, G. L., 1994.** The geochemistry and alteration of the White Devil porphyry: implications to intrusion timing. *Mineralium Deposita* 29: 275-287.
- Hutchinson, R. W., 1983.** Hydrothermal concepts: The old and the new. *Economic Geology* 78: 1734-1741.
- Jebrak, M., 1997.** Hidrotermalbreccias in vein – type ore deposits: A review of mechanism, morphology and size distribution. *Ore Geology Review* 12:111 – 134.
- Lafont, D., Strazzere, L. y Gregori, D., 2003.** Diseños y temperaturas de alteración hidrotermal en Mina Ángela, Comarca Nordpatagónica, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58 (3): 391-402.
- Lentz, D. y Gregoire, C., 1995.** Petrology and mass-balance constrains on major, trace and rare - earth element mobility in porphyry – greisen alteration associated with the epizonal True Hill granite, southwestern New Brunswick, Canada. *Journal of geochemical exploration* 52: 303-331.
- Litvak, V. y Godeas, M., 2003.** Espectrometría de Reflectancia: Metodología y Aplicaciones. *Revista de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas* 13: 42-48.
- Maksaev, V., 2003.** Evolución del conocimiento de los procesos involucrados en la génesis de los pórfidos cupríferos. Traducción libre y actualización del trabajo de J. W. Hedenquist y J. P. Richards *The influence of Geochemical Techniques on the Development of Genetic Models for Porphyry Copper Deposits en Reviews in Economic Geology* 10 (1998).
- Maksaev, V., 2012.** Brechas relacionadas a mineralización. <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/BRECHAS%20RELACIONADAS%20A%20MINERALIZACION.pdf>
- Mc Phie, J., Doyle, M, y Allen, R., 1993.** *Volcanic Textures: A guide to the interpretation of textures.* University of Tasmania, Tasmania, 196 pp.
- Meinert, L. 2009.** Skarns and skarn deposits. <http://www.science.smith.edu/geosciences/skarn>
- Meyer, Ch. y Hemley, J. J., 1967.** Wall rock alteration. In *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, Ed. H.LI. Barnes, University of Pensilvania, pp.167-235.
- Naden, J., Kiliass, S., Leng, M, Cheliotis, I. y Shepherd, T., 2003.** Do fluid inclusions preserve $\delta^{18}O$ values of hydrothermal fluids in epithermal systems over geological time? Evidence from paleo – and modern geothermal systems, Milos Island, Aegean Sea. *Chemical Geology* 197: 143-159.
- Noguez-Alcántara, B., Valencia-Moreno, M., Roldán-Quintana, J. y Calmus, T., 2007.** Enriquecimiento supergénico y análisis de balance de masa en el yacimiento de pórfido cuprífero Milpillas, Distrito Cananea, Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24 (3): 368-388.

- Pettke T. y Diamond L. W. ,1996.** Rb-Sr dating of sphalerite based on fluid inclusion-host mineral isochrons: A clarification of why it works. *Economic Geology* 91: 951-956.
- Pirajno, F. 1992.** Hydrothermal mineral deposits. Principles and fundamental concepts for the exploration Geologist. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 709 p.
- Pollard, P. J., 2001.** Sodic(-calcic) alteration in Fe-oxide-Cu-Au districts: an origin via unmixing of magmatic H₂O-CO₂-NaCl±CaCl₂-KCl fluids. *Mineralium Deposita* 36:93–100.
- Prelat, A.E., Gazzani, R.O. y Re Kül, G., 2002.** Aplicaciones de sensores aerotransportados multiespectrales e hiperespectrales en la exploración geológica y en la protección del medio ambiente. Actas 15° Congreso Geológico Argentino CD-ROM, Keynote, N° 425, 5 pp.
- Richards, J. y Noble, S., 1998.** Application of radiogenic isotope systems to the timing and origin of hydrothermal processes. In *Techniques in hydrothermal ore deposits geology*, Reviews in Economic Geology Vol. 10, Richards, J. & Larson, P. Ed., 256 p.
- Robinson, D. y Bevens, R., 1999.** Patterns of regional low – grade metamorphism in metabasites. In *Low Grade Metamorphism*, Frey, M. y Robinson, D. Eds., 313 p.
- Rowan, L., Hook, S., Abrams, M y Mars, J., 2003.** Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, Using the advance spaceborne thermal emission and reflection radiometer (Aster), a new satellite-Imaging system. *Economic Geology* 98: 1019-1027.
- Rye, R.O. y Ohmoto, H., 1974.** Sulfur and carbon isotopes and Ore Genesis: A Review. *Economic Geology* 69: 826-842.
- Sangster, D., 1998.** Lead-zinc VMS deposits. Geological characteristics and genetic concepts. Course notes.
- Sillitoe, R., 1973.** The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Economic Geology* 68: 799-815.
- Sillitoe, R., 1885.** Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology* 80: 1467-1514.
- Sillitoe, R., 2003.** Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineraliumdeposición* 38: 787-812.
- Sillitoe, R., 2010.** Porphyry Copper Systems. *Economic Geology* 105: 3–41.
- Sillitoe, R., y Hedenquist, J., 2003.** Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Society of Economic Geologists Special Publication* 10: 315-343.
- Shephard, T., Rankin, A. y Alderton, D., 1985.** A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow – London, 238 pp.
- Simmons, S. y Browne, P., 2000.** Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology* 95 (5): 991-999.
- Soechting, W., Rubinstein, N. y Godeas, M., 2008.** Identification of ammonium-bearing minerals by shortwave infrared reflectance spectroscopy at the Esquel gold deposit, Argentina. *Economic Geology* 103: 865 -869.

- Taylor, B. E., 2007.** Epithermal gold deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 113-139.
- Tornos, F., 1997.** A numerical approach for the formation of chlorite and sulphide – bearing greisen: A study based on the Navalcubilla system (Spanish Central System). Mineralogical Magazine 61: 639 - 654.
- Vennemann, T. W., Kesler, S. E., Frederickson, G. C., Minter, W.E. y Heine, R. R., 1995.** Oxygen isotope sedimentology of gold and uranium-bearing Witwatersrand and Huronian Supergroup Quartz-Pebble conglomerates. Economic Geology 91: 322-342.
- Ulrich, T. y Heinrich, C., 2001.** Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina. Economic Geology 96: 1719-1742.
- Valencia, V., Barra, F., Weber, B., Ruiz, J., Gehrels, G., Chesley J. y Lopez-Martinez, M., 2006.** Re–Os and U–Pb geochronology of the El Arco porphyry copper deposit, Baja California Mexico: Implications for the Jurassic tectonic setting. Journal of South American Earth Sciences 22: 39–51.
- Vivallo, W., 2009.** Yacimientos de óxidos de Hierro, Cu, Au en Chile. 12° Congreso Geológico Chileno, trabajo S11_60. Santiago
- Vry, V., Wilkinson, J., Seguel, J. y Millán, J., 2009.** A new vein paragenesis for the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit, Chile. 12° Congreso Geológico Chileno, trabajo S11_051. Santiago.
- Walker, D., 1990.** Ion microprobe study of intragrain micropermeability in alkali feldspars. Contribution to Mineralogy and Petrology 106:124-128
- Watanabe, Y. y Hedenquist, J. W., 2001.** Mineralogic and Stable Isotope Zonation at the Surface over the El Salvador Porphyry Copper Deposit, Chile. Economic Geology 96: 1775–1797.
- Villares, F. 2009.** Depósitos de tipo skarn. Monografía. <http://es.scribd.com/doc/66702534/depositos-skarn>.
- White, N. y Hedenquist, J. 1995.** Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. SEG Newsletter 23: 9-13.
- Williams, P. J., Barton, D. M., Johnson, D. A., Fontboté, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver, N. H. S., Marschik, R., 2005.** Iron oxide copper - gold deposits: Geology, space - time distribution, and possible modes of origin." Economic Geology 100th Anniversary Volume: 371-405.
- Zalusky, G., Nesbitt, B. y Muehlenbachs, K. 1994.** Hydrothermal alteration and stable isotope systematics of Babine porphyry Cu deposit, British Columbia: Implications for fluid evolution of porphyry systems. Economic Geology 89 (7): 1518-1541.

