

ANÁLISIS DE DATOS GEOQUÍMICOS DE YACIMIENTOS METÁLICOS DE LA REGIÓN DE ATACAMA, NORTE DE CHILE.

Lacassie, J.P.^{1,3}, Díaz, A.^{1,3}, Ruiz-Del-Solar, J.^{2,3}, Vivallo, W.^{1,3}

¹Departamento de Geología Económica, SERNAGEOMIN, Av. Santa María 0104, Providencia, Santiago, Chile.
Email: jlacassie@sernageomin.cl

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile, Av. Tupper 2007, Santiago, Chile.

³Advanced Mining Technology Center (AMTC).

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan algunos de los resultados más relevantes del análisis de datos geoquímicos de yacimientos metálicos de la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Domeyko de la Región de Atacama, en el norte de Chile. El set de datos analizado, contiene información geológica y geoquímica de 1703 registros, los cuales corresponden a muestras de mena de yacimientos metalíferos. En particular, la información geoquímica de cada registro incluye las concentraciones de 31 elementos químicos, incluyendo 9 óxidos mayores (concentraciones en wt% de SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, CaO, Fe₂O₃, MgO, MnO y P₂O₅) y 22 elementos traza (concentraciones en ppm de Ag, As, B, Ba, Bi, Cd, Ce, Co, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, V, W, Y, Zn y Zr y concentraciones en ppb de Au). Por otra parte, la información geológica corresponde a las características de los yacimientos asociados a las muestras analizadas, e incluye tipos de yacimiento, menas principales y secundarias, tipos de roca de caja, mineralogía de alteración, ambiente geológico y descripciones geológicas realizadas en terreno. Esta información está contenida en la Fichas Mineras Metalogénicas, del Departamento de Geología Económica de SERNAGEOMIN y su compilación es uno de los resultados del proyecto "Información Geocientífica para Fomento de la Exploración Minera en Chile" en desarrollo por SERNAGEOMIN con aporte de INNOVA-CORFO, ENAMI, SONAMI y SNIT.

El objetivo del análisis es el de caracterizar geoquímicamente los distintos tipos de yacimientos, aportar criterios geoquímicos que apoyen la exploración y establecer una metodología de análisis aplicable en otras zonas de interés.

METODOLOGÍA

Por tratarse de un problema de alta complejidad, el análisis del set de datos se realizó mediante redes neuronales artificiales (RNA), las cuales constituyen una moderna técnica de análisis multivariado que han resultado efectivas para el análisis de datos geoquímicos de diversos materiales (Lacassie et al., 2006a; Lacassie et al., 2006b). Este análisis se realizó en una modalidad de agrupamiento auto-organizativa a fin de reconocer grupos de muestras con señales químicas con características específicas y de distinto orden, en forma automática. Posteriormente se contrastaron las características químicas y geológicas de las muestras asociadas a cada grupo identificado. Finalmente las muestras de cada grupo, fueron proyectadas sobre una versión simplificada del Mapa Metalogénico de la Región de Atacama a escala 1:500.000 (Vivallo et al., 2008), con el objetivo de visualizar coincidencias entre la distribución espacial de las muestras y la de rasgos geológicos o unidades geológicas específicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis RNA del set de datos permitió la identificación de 18 grupos de muestras, cada uno de los cuales representa un grupo de yacimientos con características químicas específicas y de distinto orden.

Se reconocieron 320 muestras asociadas a **Señales Polimetálicas** de primer a cuarto orden. Los yacimientos asociados a estas muestras, se caracterizan por presentar altas a muy altas concentraciones de Pb, Zn, Ag, Cd, Li y Sb. En su mayoría corresponden a vetas asociadas a yacimientos epitermales a mesotermales de

metales preciosos, relacionados principalmente con magmatismo Paleoceno-Eoceno y que, en su mayor parte, ocurren en la Provincia Metalogénica de la Cordillera de Domeyko de la Región de Atacama (Fig 1).

Sus minerales de mena más comunes corresponden a galena, esfalerita, anglesita, tetrahedrita y, en menor medida, enargita, cerusita, electrum y plata (nativa y sulfosales). De primer a cuarto orden, es posible observar:

1. Un empobrecimiento progresivo en las concentraciones de Ag, Bi, Cd, Li, Mo, Pb, Sb y Zn, junto a un enriquecimiento en las concentraciones de Al_2O_3 , CaO, MgO, K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , Ce y Ni.
2. Una paragénesis de alteración filica y argílica para los yacimientos asociados a las señales de primer y tercer orden y alteración propilítica para los de las señales de segundo y cuarto orden.

Esto sugiere que los yacimientos asociados a las señales polimetálicas de distinto orden, corresponden a distintos niveles de exposición dentro de un mismo sistema mineralizador. Adicionalmente, estos yacimientos presentan una fuerte correlación positiva entre las concentraciones de Ag, Pb, Zn, Bi, Cd, Li, Mo y Sb. Estas relaciones constituyen potenciales guías de exploración.

Se reconocieron 807 muestras asociadas a las denominadas **Señales Fe, Fe-P, Ca, La-Ce, Ni-Co, Si y B** (respectivamente 185, 31, 113, 75, 49, 308 y 46 muestras). Los yacimientos asociados corresponden a vetas de origen hidrotermal, vetas-falla mineralizadas y cuerpos macizos, emplazados en rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias de edad Jurásica a Cretácica Inferior, que afloran principalmente en la Provincia Metalogénica de la Cordillera de La Costa (Fig. 2). Estos cuerpos presentan menas principales y subordinadas de Au, Cu y Fe, con óxidos de cobre, sulfuros de cobre y óxidos de hierro entre sus minerales de mena principales. Lo anterior sugiere que estos yacimientos corresponden a depósitos de Fe, Fe-Cu-Au y Cu-Au, los cuales son característicos de la Provincia Metalogénica de la Cordillera de La Costa (Vivallo et al., 2008). En esta provincia metalogénica, los yacimientos asociados a las Señales Ca, La-Ce y Ni-Co, también presentan ocurrencias menores en rocas metamórficas del Paleozoico Superior al Triásico Inferior. Pese a las coincidencias anteriores, los yacimientos asociados a las distintas “señales” presentan importantes diferencias en términos de su química y de sus paragénesis de alteración: **Señal Fe-P**: Muy altas concentraciones de P_2O_5 , Ce, La e Y junto a altas concentraciones de V, Fe_2O_3 y MgO; **Señal Fe**: Muy altas concentraciones de Fe_2O_3 y Mo y altas de P_2O_5 , B, Cd, Co, Ni, V y W; **Señal La-Ce**: Muy altas concentraciones de La y Ce y altas de Cu, Co y B; **Señal Ca**: Altas concentraciones de CaO, MnO, Y y Co; **Señal Ni-Co**: Altas concentraciones de Mo, Co, Ni, La y Ce; **Señal Si**: Altas concentraciones promedio de SiO_2 y Au; **Señal B**: Alta concentración de B. Por otra parte, los yacimientos asociados a las Señales Fe-P, Fe y La-Ce presentan predominantemente una alteración potásica y propilítica (esta última probablemente como una alteración sobreimpuesta y de carácter regional) con una paragénesis dominada por apatito-actinolita-biotita-epidota. Los yacimientos asociados a las Señales Ca y Ni-Co presentan predominantemente una alteración propilítica con una paragénesis dominada por clorita-epidota-calcita. Los yacimientos asociados a estas Señales Si y B presentan predominantemente una alteración filica con una paragénesis dominada por cuarzo-sericita. Las marcadas concordancias espaciales y geológicas de estos yacimientos sugieren la pertenencia a un mismo sistema hidrotermal. En este contexto, sus diferencias químicas y de paragénesis de alteración, reflejarían distintos niveles de exposición de este sistema. En particular, dadas sus paragénesis de alteración, las zonas más someras estarían caracterizadas por los yacimientos asociados a las Señales Si y B, las zonas de profundidades intermedias por los yacimientos asociados a las Señales Ca y Ni-Co, los depósitos asociados a la Señal La-Ce serían transicionales entre zonas de profundidad intermedia a zonas más profundas caracterizadas por los yacimientos asociados a las Señales Fe y Fe-P. Este ordenamiento coincide en gran medida con el modelo planteado por Vivallo et al. (2008) para los depósitos de Fe, Fe-Cu-Au y Cu-Au de la Provincia Metalogénica de la Cordillera de La Costa de la Región de Atacama.

REFERENCIAS

- Lacassie, J.P., Gutzmer, J., McClung, C., Bailie, R., Ruiz-del-Solar, J., 2006a. Geochemical patterns of schists from the Bushmanland Group: an artificial neural networks approach. *Journal of Geochemical Exploration* 91, p. 81–98.
- Lacassie, J. P., Ruiz del Solar, J., Roser, B.P., Hervé, F., 2006b. Visualization of volcanic rock geochemical data and classification with artificial neural networks. *Mathematical Geology*, Vol. 38, No 6.
- Vivallo, W., Díaz, A., Jorquera, R., 2008. Yacimientos metalíferos de la Región de Atacama. Servicio Nacional de geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos, No 27.

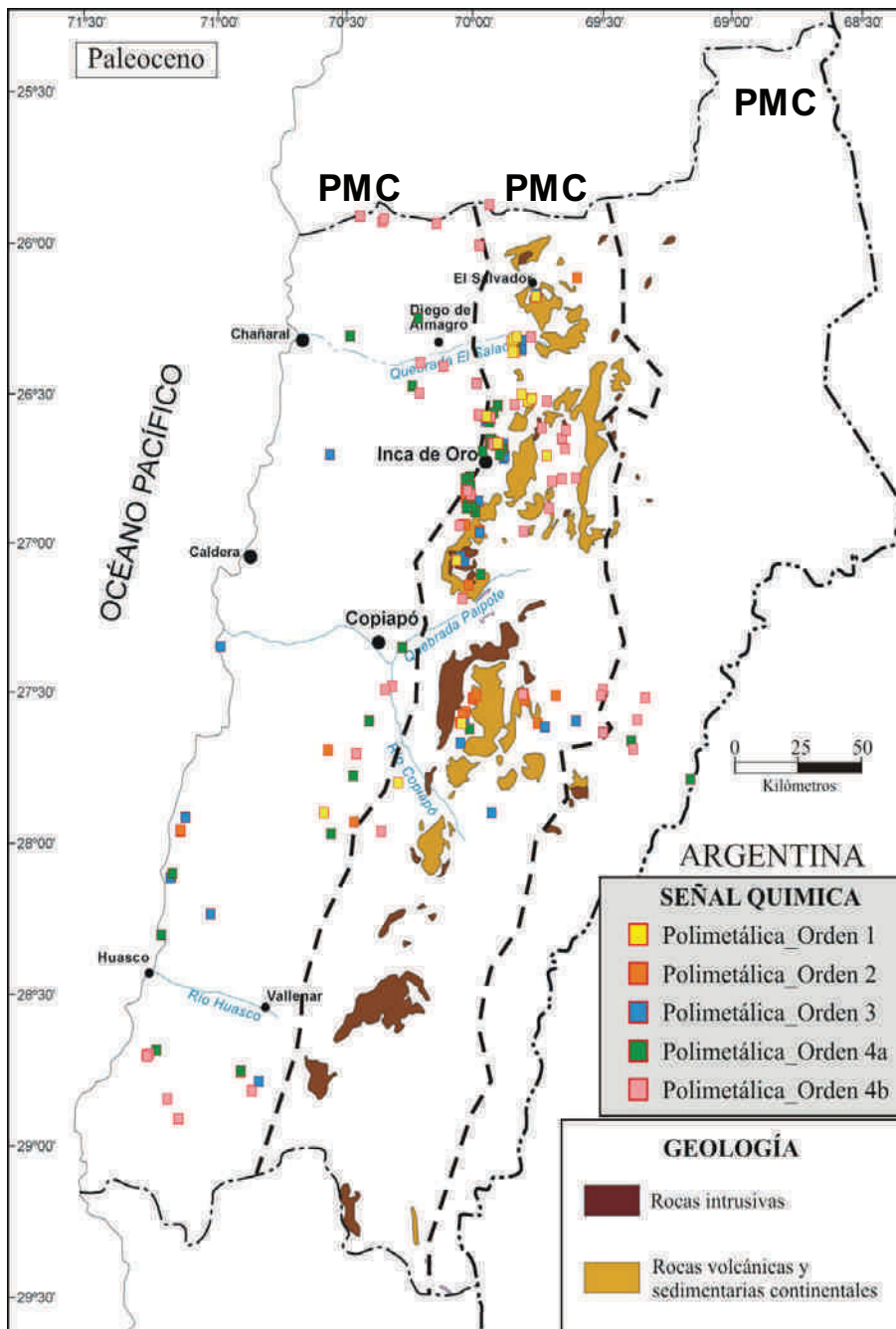


Figura 1. Comparación entre la distribución espacial de las muestras asociadas a las Señales Polimetálicas de primer, segundo, tercer y cuarto orden (Orden 4a: Señal Pb-Zn; Orden 4b: Señal Ag) (respectivamente cuadrados amarillos y rojos, azules, verdes y rosados) de las rocas del Paleoceno en la Región de Atacama (Vivallo et al., 2008). Las líneas punteadas corresponden a los límites entre las provincias metalogénicas definidas por Vivallo et al (2008) para esta región. PMCC: Provincia Metalogénica de la Cordillera de la Costa; PMCD: Provincia Metalogénica de la Cordillera de Domeyco; PMCA: Provincia Metalogénica de la Cordillera de los Andes.

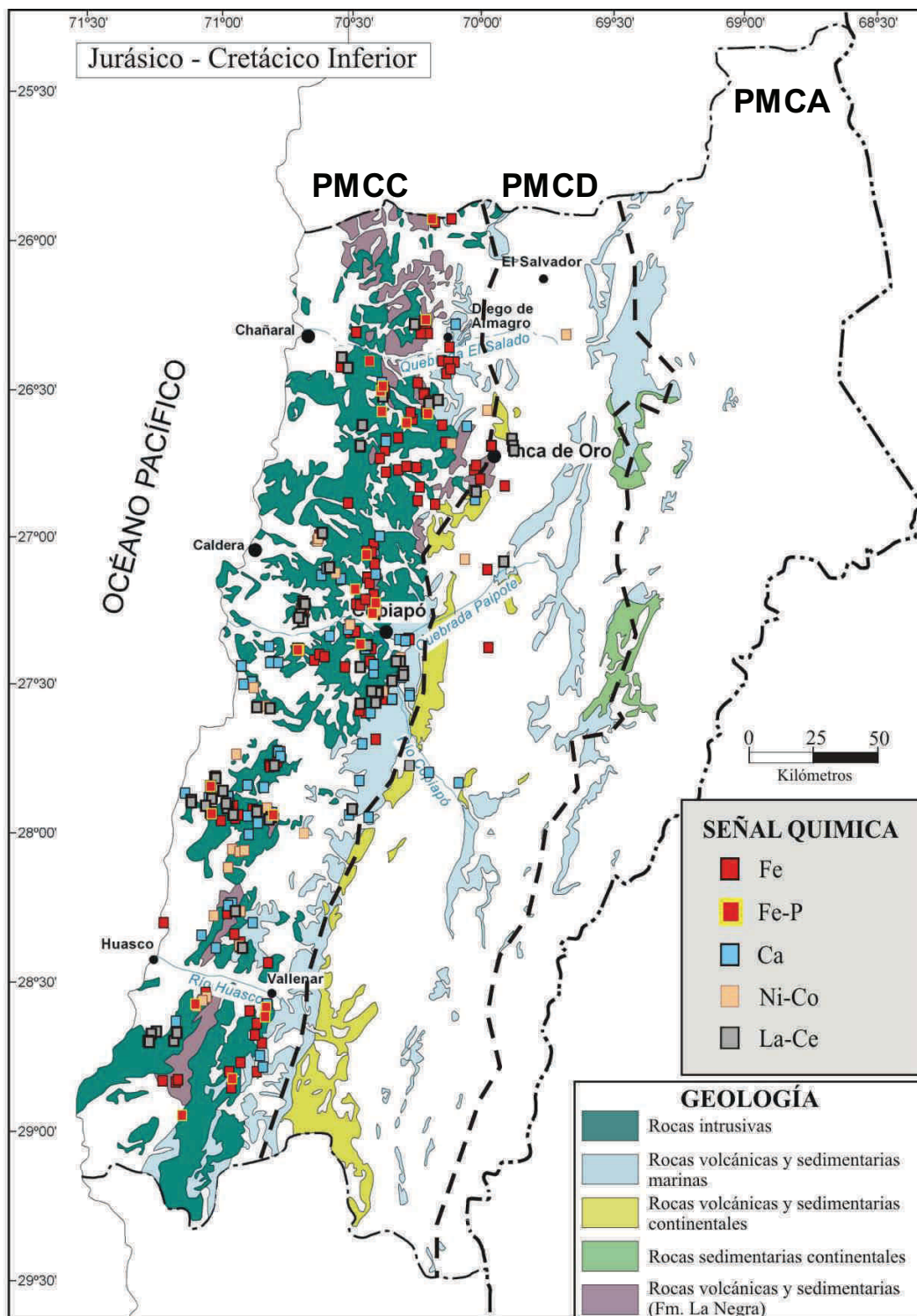


Figura 2. Comparación entre la distribución espacial de las muestras asociadas a las Señales Fe, Fe-P, Ca, Ni-Co y La-Ce (respectivamente cuadrados rojos, con borde negro, rojos con borde amarillo, celestes, rosados y grises) de las rocas del Jurásico al Cretácico Inferior en la Región de Atacama (Vivallo et al., 2008). Las líneas punteadas corresponden a los límites entre las provincias metalogénicas definidas por Vivallo et al (2008) para esta región. PMCC: Provincia Metalogénica de la Cordillera de la Costa; PMCD: Provincia Metalogénica de la Cordillera de Domeyco; PMCA: Provincia Metalogénica de la Cordillera de los Andes.