

GEOQUÍMICA Y PETROGRAFÍA DEL MAGMATISMO DEL DISTRITO MINERO DE MARCONA Y SU RELACIÓN CON LA MINERALIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS TIPO IOCG-SKARN

Marco Contreras¹, Mario Ayte², Dante Sanchez³, Carlos Moreno⁴, & Ronald Risco⁵

macontrerasf@gmail.com(1), marioaytel@gmail.com(2), dsanchez@marsa.com.pe(3), geologiacarlos@yahoo.es(4), Ronald_724@hotmail.com (5)

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la franja metalogenética de depósitos Fe-Cu-Au (IOCG)-Skarn del Jurásico-Cretácico de la Costa sur del Perú (Ica - Arequipa), a 60 km al sur de la ciudad de Nasca. Geológicamente se encuentra ubicada en el Distrito Minero de Marcona, y dentro del área de estudio se encuentran los depósitos de Marcona (1.9 Gt @ 55.4% Fe), Mina Justa (346.6 Mt @ 0.71% Cu), Pampa de Pongo (con más de 3GT @ 40% Fe y valores de Cu), la Mina paralizada Hierro Acarí (con ~40Mt @ 66% Fe) y la Mina Artesanal Cobrepampa (~5Mt @ 2-5% Cu). Debido a la importancia de estos yacimientos, los estudios geológicos son necesarios, para su adecuada comprensión e identificación de nuevos blancos exploratorios en el área de estudio. En este trabajo se busca caracterizar petrográficamente y geoquímicamente el magmatismo del Distrito Minero de Marcona, así como la discriminación de los eventos magmáticos y de sus posibles relaciones con la mineralización de los depósitos IOCG-Skarn, y como guía para estudios más detallados en el futuro.

MARCO GEOLÓGICO

Los estudios estratigráficos y de emplazamiento de rocas subvolcánicas y plutónicas, realizados por Caldas (1978) y revisados por Contreras (2014), han definido 14 unidades litológicas (Fig.1): Los gneis graníticos del Complejo Basal de la Costa, del Mesoproterozoico; las diamictitas, tillitas y calizas de la Formación Chiquerío, del Neoproterozoico; los mármoles de la Formación San Juan, del Neoproterozoico; las rocas dolomíticas de la Formación Marcona, de posible edad Paleozoica Inferior(?); la secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Río Grande, del Jurásico Medio; las calizas, areniscas y conglomerados de la Formación Jahuay, del Jurásico Superior; las areniscas y lutitas de la Formación Yauca, del Cretácico Inferior; los conglomerados de la Formación Copara, del Cretácico Inferior; las areniscas de la Formación Pisco, del Mioceno; las areniscas y conglomerados de la Formación Millo, del Plioceno; y los depósitos cuaternarios. Los intrusivos subvolcánicos están conformados por latíandesitas porfiríticas, de la unidad denominada Andesitas Tunga (Ocoitas) del Cretácico Inferior, que intruyen a las unidades predecesoras, y los sills microdioríticos del Cretácico Inferior, que intruyen a las unidades predecesoras incluyendo a las Andesitas Tunga. Los intrusivos plutónicos que forman parte del Batolito de la Costa, de edad Cretácico Inferior a Superior, están conformados por dioritas, cuarzo dioritas y tonalita-granodiorita (Contreras, 2014).

En el área de estudio se han identificado 3 unidades morfo estructurales (Contreras, 2014):

- 1) La Cordillera de la Costa, que es una franja alargada de dirección NO-SE, ubicada en el sector oeste de la zona de estudio; está conformada por rocas precámbricas y las unidades pre-mesozoicas, cortadas por el Batolito de San Nicolás y cubierto por las unidades cenozoicas; está moldeada por la actividad del sistema de fallas Lechuza, Tunga y Treinta Libras, alineados al NO-SE (Fig.1).
- 2) La depresión Ica-Nasca, corresponde a una depresión estructural ubicada entre la Cordillera de la Costa y las estribaciones de la Cordillera Occidental; está limitada hacia el oeste por el sistema de fallas Tunga y Treinta Libras y hacia el este por el sistema de fallas Cerrillos y Bella Unión (Fig.1).
- 3) Las estribaciones de la Cordillera Occidental, que corresponden al borde occidental de la Cordillera de los Andes, está limitada hacia el oeste por el sistema de fallas Cerrillos y Bella Unión (Fig.1). La morfología está moldeada por fallas normales de dirección NO-SE con buzamientos hacia el oeste que afectan principalmente al Batolito de la Costa (Contreras, 2014).

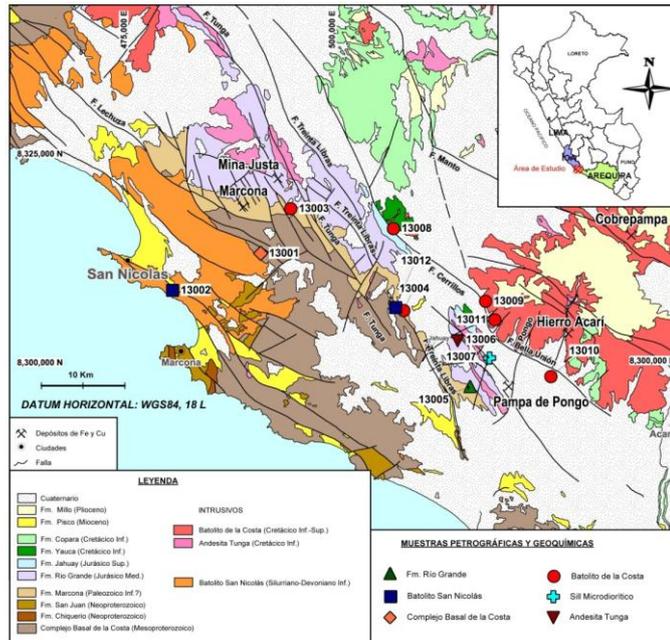


Fig.1 Mapa geológico de la zona de estudio y la ubicación de muestras.

METODOLOGÍA

Para la caracterización petrográfica y geoquímica del magmatismo en el área de estudio, se tomaron 24 muestras, 12 muestras destinadas para estudios petrográficos y 12 muestras destinadas para el análisis químico (roca total y multielemental incluido tierras raras); están conformados por: dos muestras que corresponden al Complejo Basal de la Costa, cuatro al Batolito de San Nicolás, dos a las riodacitas Río Grande, dos a las Andesitas Tunga, dos a los sillimicrodioríticos y doce al Batolito de la Costa.

PETROGRAFÍA

COMPLEJO BASAL DE LA COSTA (MUESTRA 13001)

Gneismonzogranítico, de textura hipidiomórfica y gráfica relíctica. El cuarzo primario ocurre como cristales anhedrales de formas irregulares. El cuarzo II se presenta como cristales monocristalinos. Los feldespatos potásicos (microclina) se presentan como cristales anhedrales. Las plagioclasas ocurren como cristales anhedrales con formas tabulares e irregulares. Los minerales ferromagnesianos (anfíboles, biotita, piroxenos) ocurren como agregados alargados, fibrosos y alterándose a cloritas, carbonatos y minerales opacos (Fig.2A).

BATOLITO DE SAN NICOLÁS (MUESTRAS 13002 Y 13012)

Granito de textura hipidiomórfica. El cuarzo ocurre como cristales anhedrales de formas irregulares. Los feldespatos potásicos (ortosa) se presentan como cristales subhedrales. Las plagioclasas se encuentran como cristales subhedrales a euhedrales con formas tabulares. Los minerales ferromagnesianos (principalmente anfíboles y biotita) ocurren como minerales alargados alterándose a cloritas y carbonatos (Fig.2B).

RIODACITAS RÍOGRANDE (MUESTRAS 13005).- Riodacita de textura poiquilítica con matriz micropoiquilítica. El cuarzo primario (cz I) se encuentra como escasos fenocristales con formas anhedrales y bordes ligeramente corroídos por la matriz, se encuentra como constituyente esencial de la matriz. El cuarzo II se encuentra como cristales anhedrales. Los feldespatos potásicos se hallan como cristales anhedrales, agregados radiales y esferulíticos, por desvitrificación de la matriz. El vidrio volcánico ocurre en fragmentos orientados en la matriz. Está desvitrificado a cuarzo, feldespatos y arcillas (Fig.2C).

ANDESITAS TUNGA (OCOITAS - MUESTRA 13006)

Cuarzo latita de textura porfírica. Las plagioclasas son los minerales más abundantes en la muestra y ocurren como cristales euhedrales con formas rectangulares y hábito tabular. Los feldespatos potásicos

se aprecian alterados por sericita-cloritas. Presentan cristales euhedrales con formas cuadradas y hábito tabular corto. El cuarzo primario (cz I) se aprecia comocristales anhedralesdeformas irregulares formando parte de la matriz. Mientras que el cuarzo secundario se encuentra como cristales anhedrales y agregados granulares(Fig.2D).

SILLSMICRODIORÍTICO (MUESTRA 13007)

Cuarzo microdiorita de textura porfírica. El cuarzo primario se presenta a manera de cristales anhedrales, con superficies limpias, bordes irregulares y extinción ondulatoria. Las plagioclasas ocurren a manera de cristales euhedrales y subhedrales, conalteración a sericita. Los minerales ferromagnesianos están conformados por biotita, piroxenos y anfíboles (Fig.2E).

BATOLITO DE LA COSTA (MUESTRAS 13003, 13004, 13008, 13009, 13010 Y 13011)

Pórfido cuarzo diorita. Las plagioclasas se presentan comofenocristales con formas subhedrales a euhedrales, algunos con bordes subredondeados, maclados, con zonalidad interna, con inclusiones de piroxenos y minerales opacos. El cuarzo primario se presenta con formas subhedrales, bordes subredondeados y ligeramente corroídos en intersticios de la matriz. Los piroxenos son fenocristales y agregados subhedrales, con bordes subredondeados se hallan parcialmente reemplazados por anfíboles y alterados por epídota. Los anfíboles ocurren con formas anhedrales y subhedrales en intersticios de la matriz y reemplazando a piroxenos (Fig.2F).

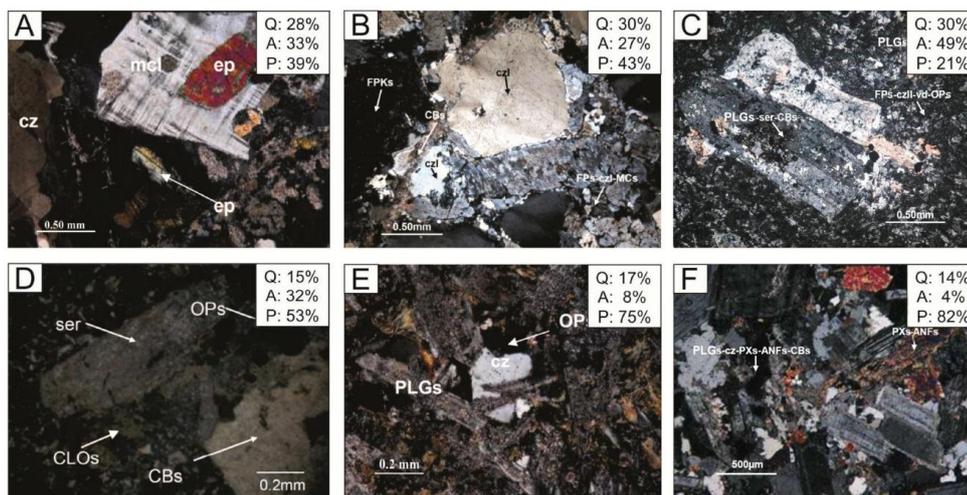


Fig. 2. Microfotografías de las rocas del magmatismo del distrito minero de Marcona. A) Complejo Basal de la Costa. B) Batolito de San Nicolás. C) Riodacitas Río Grande. D) Andesitas Tunga. E) Sillsmicrodiorítico. F) Batolito de la Costa. Muestras vistos en Luz Polarizada Analizada. PLGs: plagioclasa, cz: Cuarzo, FPKs: feldespatos potásicos, mcl: microclina, ANFs: anfíboles, ser: sericita, CLOs: cloritas, ep: epídota, MCs: micas, CBs: carbonatos, OPs: Minerales opacos. Los porcentajes de Q, A y P son estimados a partir de la norma CIPW (según el diagrama de Streckeisen Q: cuarzo, A: feldespatos potásicos, P: plagioclasas).

GEOQUÍMICA

Los resultados del análisis químico presentado en este trabajo, se ensayaron usando los métodos ICP-AES e ICP-MS (con fusión de borato de litio y digestión con agua regia), en el Laboratorio ALS minerals. Los resultados del análisis químico de elementos mayores, expresados en los diagramas TAS (Total Alkalies – Silica, según Cox-Bell-Pank, 1979), muestran que las rocas del Batolito de San Nicolás pertenecen a la serie calco-alcalina con alto contenido de K (Fig.3A). Las riodacitas Río Grande y las Andesitas Tunga pertenecen a la serie shoshonítica con alto contenido de K. Los SillsMicrodioríticos caen en el campo de las series calco-alcalinas con un contenido medio de K. Las rocas del Batolito de la Costa están distribuidas en tres zonas de la Fig.3A, que representan posiblemente a tres eventos magmáticos de diorita; la primera BC-I, pertenecen a una serie calco-alcalina con alto K; la segunda BC-II, caen en el campo de las series calco-alcalinas con un contenido medio de K; y la tercera BC-III, pertenecen a una serie tholeítica con bajo contenido de K.

Por otro lado, para la clasificación geodinámica, se usó el diagrama de Pearce et al. (1984). Los resultados indican que todas las muestras encuentran en el campo de rocas provenientes de granitos de Arco Volcánico (VAG), en consecuencia, en correlación con la petrogénesis, podríamos decir que estas rocas proceden de granitos Tipo I (Fig.3B). El bajo contenido de Rb para las rocas del Batolito de la Costa, indicarían que el magma, ha tenido un menor aporte cortical respecto al Batolito de San Nicolás, lo que se corrobora con lo observado en la Fig.3E, en la que se muestra la profundidad de la corteza.

Los resultados usando el diagrama “spider, según Sun & McDonough (1989)” de tierras raras, normalizadas al condrito C1 (Fig.3C), indican un empobrecimiento de Eu, el cual sustituye al Ca de las plagioclasas (anortita según la norma de CIPW), que nos indican la precipitación de las plagioclasas, producto de la cristalización dentro del magma inicial, antes de llegar a la cámara magmática. De acuerdo a este diagrama podemos distinguir tres firmas geoquímicas para los eventos BC-I, BC-II y BC-III, dentro del Batolito de la Costa, y cada uno de ellos relacionados a diferentes asociaciones metálicas. Los elementos traza normalizados al manto primitivo según McDonough & Sun (Fig.3D), muestran anomalías negativas de Nb y Ti, lo cual sugiere retención de estos elementos en la fuente durante la fusión parcial, esto es típico en sistemas magmáticos tipo I en las zonas de subducción.

En base al diagrama Ce/Y vs. SiO₂ (propuesto por Mantle y Collins, 2008), se ha determinado la profundidad cortical en la que se han generado los magmas (Fig.3E). El Batolito de San Nicolás se ha formado a profundidades mayores de 40 km; las Andesitas Tunga formadas a ~32 km de profundidad; las microdioritas formadas a ~35 km de profundidad, y el Batolito de la Costa, formado entre los 22 a 32 km de profundidad.

RELACIÓN CON LA MINERALIZACIÓN

La distribución de yacimientos IOCG-Skarn en el área de estudio, están relacionadas a diferentes facies de granitoides y dioritas, los cuales se formaron durante la actividad de los diferentes arcos magmáticos mesozoicos Río Grande del Jurásico Medio, Andesitas Tunga (Ocoitas) del Cretácico Inferior, Grupo Casma-Copara del Cretácico Inferior y el Batolito de la Costa del Cretácico Inferior a Superior; según Chen et al., 2010 y Contreras, 2014. El tipo de magma y ocurrencias metálicas son controlados fundamentalmente por la composición, la diferenciación y estado redox (contenido de hierro) de los magmas, según Blevin & Chappell, (1992); el diagrama Eu/Eu* vs. FeO_{total} (Fig.3F), relaciona las diferentes asociaciones metálicas (Lang & Baker, 2001). Las muestras de cuarzo monzodiorita correspondientes al Batolito de la Costa (BC-I) caen en el campo de asociaciones Fe-Cu-Au, lo que indicaría que posiblemente estén asociadas a la mineralización de Pampa de Pongo; las muestras de cuarzo monzodiorita (BC-II) caen en el campo de ocurrencias metálicas Cu-Au, lo que indicaría que probablemente están asociadas a la mineralización de Cu de Mina Justa; y

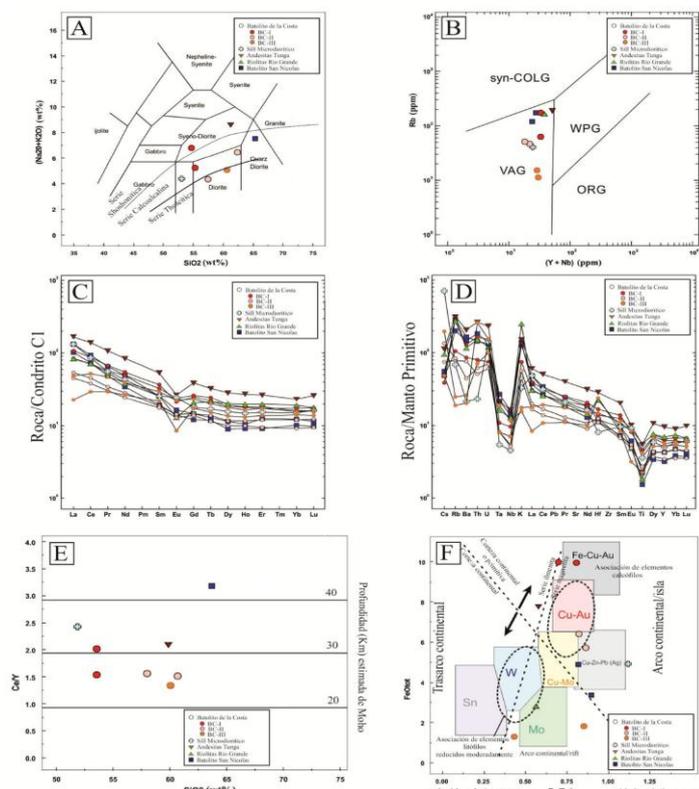


Fig. 3 Diagramas TAS, según Cox-Bell-Pank. B) Contexto geodinámico de los magmas, según el diagrama Y+Nb vs. Rb (Pearce et al. 1984). C) Diagrama “spider” de los elementos de tierras raras, normalizados al condrito C1, según Sun & McDonough (1989). D) Diagrama “spider” de los elementos traza, normalizados al manto primitivo, según McDonough & Sun (1995). E) Diagrama Ce/Y para estimar la profundidad de los magmas, según Mantle & Collins (2008). F) Diagrama Eu/Eu* vs. FeO total y las asociaciones de metales, según Lang & Baker (2001)

las muestras correspondientes a dioritas (BC-III) se ubican fuera del campo de asociaciones metálicas. Las muestras de riolitas Río Grande caen en el campo del Mo, no mostrando ninguna relación con la mineralización de Fe de Marcona.(Fig. 3 A)

CONCLUSIONES

En el Distrito Minero de Marcona, el Batolito de San Nicolás está constituido por magmas graníticos que corresponden a la serie calco-alkalina ya granitos de Arco Volcánico (VAG). Las riolitas Río Grande corresponden a la serie shoshonítica de alto contenido de K y no muestra alguna relación con la mineralización. Las Andesitas Tunga (Ocoitas) son cuarcos latitas que corresponden a la serie shoshonítica de alto K y no muestran alguna relación con las asociaciones metálicas. Los Sills microdioríticos corresponden a la serie calco-alkalina y son provenientes de Granitos de Arco Volcánicos (VAG), y no muestran una relación con la mineralización. Las rocas del Batolito de la Costa conformadas por dioritas, monzodioritas y tonalitas, provienen de Granitos de Arco Volcánico (VAG). Se ha identificado tres eventos magmáticos para el Batolito de la Costa: el primero BC-I, que puede estar relacionado con la mineralización de Fe en Pampa de Pongo; el segundo BC-II, que puede estar relacionado con la mineralización de Cu en Mina Justa; y el tercero BC-III, que no presenta ninguna relación con la mineralización.

El presente trabajo es una guía para estudios más detallados que se realizarán en la zona de estudio en el futuro, debido a la limitada cantidad de muestras analizadas.

REFERENCIAS

1. Blevin, P. L. and Chappell, B. W. (1992). The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia. *Second Hutton Symposium*. Australia.
2. Chen, H., Clark, A. H., Kyser, T. K., Ullrich, T. D., Baxter, R., Chen, Y. and Moody, T. C. (2010). Evolution of the giant Marcona-Mina Justa iron oxide-copper-gold district, south-central Peru. *Economic Geology*, 105, 155-185.
3. Chirif, H. (2006). *Introducción a la Petrología de Rocas Igneas*. Lima, Perú.
4. Contreras, M. (2014). *Definición del Contexto Estratigráfico, Magmático y Estructural del Yacimiento Pampa de Pongo para Construir el Modelo Geológico y Tectónico, Bella Unión-Caravelí-Arequipa*. (Tesis de grado no publicada). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
5. Injoque, J., Atkin, B., Harvey, P. y Snelling, N. (1988). Mineralogía, geoquímica y geocronología del skarn geotermal de hierro de Marcona. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 78, 65-80.
6. Injoque, J. (2002). Fe Oxide-Cu-Au Deposits in Peru: An Integrated View; in Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, 2. PGC Publishing, Adelaide, 97-113.
7. Lang, J.R. and Baker, T. (2001). Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralium Deposita*, 36, 477-489.
8. Mantle, G.W. and Collins, W.J. (2008). Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: correlation between arc basalt composition and Moho depth. *The Geological Society of America*, 36, 87 - 90.
9. Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
10. Rollinson, H. R. (1994). *Using major element data. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. New York, United States.
11. Rudnick, R. L. and Gao, S. (2003). *Composition of the Continental Crust*. Elsevier.
12. Sun, S. and McDonough, W. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *The Geological Society of London*, 42, 313-345.