



PALEOMAGNETISMO DE LOS YACIMIENTOS MANTOS BLANCOS Y MANTO VERDE: IMPLICANCIAS TECTONICAS Y CRONOLOGICAS

Tassara, A.¹, Roperch, P.² y Pavez, A.³

INTRODUCCION

En los últimos dos años el Laboratorio de Paleomagnetismo (convenio IRD – Universidad de Chile), ha desarrollado una serie de estudios en yacimientos metalíferos con el objetivo de caracterizar los valores de las propiedades magnéticas de las rocas en ambientes hidrotermales diversos, resultados que son presentados parcialmente en otro resumen de este congreso [1]. En esta contribución presentamos los resultados del análisis paleomagnético de los datos obtenidos en los yacimientos Mantos Blancos y Manto Verde, en el marco de un convenio con Anglo American Chile Ltda., y las principales implicancias tectónicas y cronológicas derivadas de dicho análisis.

Estudios paleomagnéticos en el margen andino han puesto de manifiesto la existencia sistemática de rotaciones antihorarias al norte del codo de Arica y horarias al sur de éste (ver discusión en [2]). Sin embargo la edad, el contexto tectónico y el mecanismo particular por el que estas rotaciones se producen es materia de intenso debate [3]. En los dos yacimientos estudiados se han identificado direcciones paleomagnéticas ligadas a procesos hidrotermales particulares que sugieren rotaciones postmineralización de diversa magnitud. Estos resultados aportan datos independientes sobre la evolución estructural y metalogénica de ambos yacimientos y se discute por tanto la integración y asimilación de ellos dentro de los modelos tectónicos propuestos para cada área particular.

MARCO GEOTECTONICO y METALOGENICO DE LOS YACIMIENTOS MANTO VERDE Y MANTOS BLANCOS

Ambos yacimientos se ubican en el contexto morfoestructural de la Cordillera de la Costa, tectónicamente ligados a la Zona de Falla de Atacama (ZFA). Son depósitos de Cu de tamaño mediano a grande del orden de algunas centenas de millones de toneladas de mineral [4, 5].

Manto Verde es un depósito de Fe-Cu±Au ubicado 70 km al norte de Copiapó, asociado a la ZFA, segmento El Salado [6]. En él se explota una mena principal de minerales oxidados de Cu alojados en fracturas y diseminados en brechas tectónico-hidrotermales [4]. Estas brechas están emplazadas a lo largo de la Falla Manto Verde (FMV), estructura de orientación NNW que une las ramas central y oriental de la ZFA (Fig. 1a). La roca de caja la constituyen lavas e intrusivos subvolcánicos andesíticos, rocas asignadas a la Formación La Negra [7]. De este a oeste el depósito esta constituido por una zona de transición en la cual las andesitas están afectadas por vetilleo de microclina y cuarzo producido en una etapa hidrotermal temprana de alteración potásica, el cual es cortado por vetillas de especularita de la fase principal de mineralización hipógena [4]. Este vetilleo aumenta gradualmente en intensidad hacia el oeste hasta constituirse en una brecha con matriz de especularita gruesa (brecha hidrotermal), unidad que aloja la mineralización principal de oxidados de Cu y que en profundidad presenta una mena hipógena de calcopirita y piritita. Esta brecha está limitada por la FMV y al oeste de ella se desarrolla una brecha cataclástica (tectónica) sin especularita. Al oeste de esta brecha, andesitas cloritizadas son intruidas por diques y stocks granodioríticos probablemente ligados a la génesis del fenómeno hidrotermal [4]. A escala distrital se distribuyen otros cuerpos de brecha de especularita mineralizada no necesariamente ligadas a la FMV (e.g., Manto Ruso) además de vetas métricas y cuerpos irregulares de magnetita masiva. Edades entre 121 y 117 Ma [4] obtenidas en sericita que acompaña el evento principal de emplazamiento de brechas de especularita sugieren que este depósito estaría temporal y genéticamente ligado a los yacimientos de Fe de la franja ferrífera de la costa [4, 8]. Estrías en el manto de la FMV indican movimientos de bloque este descendido posteriores al emplazamiento de las brechas [7]. Estudios paleomagnéticos en diques básicos intruidos en plutones del entorno regional de Manto Verde han reportado rotaciones horarias de 40° [9].

¹ Laboratorio de Paleomagnetismo, Universidad de Chile. Plaza Ercilla 803. Santiago, Chile.

² Convenio IRD - Universidad de Chile. Plaza Ercilla 803. Santiago, Chile.

³ Anglo American Chile Ltda., Pedro de Valdivia 295, Santiago, Chile.

Mantos Blancos es el yacimiento cuprífero de mayores dimensiones dentro de la Provincia Cuprífera de la Costa, II región [5, 10]. Se ubica 40 km al noreste de Antofagasta y en el límite sur del segmento Salar del Carmen de la ZFA [6], posición donde ésta se deflecta hacia el este con rumbo N30°E. El depósito está constituido por una zona superior con minerales oxidados de Cu que rellenan fracturas y una inferior de sulfuros primarios diseminados organizada en varios cuerpos discretos [5]. La mineralización está emplazada en tobas, lavas y brechas riolíticas a dacíticas geocronológicamente correlacionables con la Formación La Negra (Jurásico Inferior a Medio, [11]), si bien su edad podría extenderse hasta el Triásico [10]. Esta unidad es intruida por filones-manto dacíticos-andesíticos y numerosos diques andesíticos a basálticos que cortan todas las unidades de la mina. Corona la columna una unidad de 'andesitas superiores' estériles fuertemente enriquecida en hematita (eventualmente especular). La mineralización hipógena fue acompañada por un fuerte metasomatismo de Na, Fe y Mg que se expresa en albitización, cloritización y hematización intensas junto a una silicificación pervasiva [5]. El cuerpo mineralizado es levemente discordante con la estratificación de la secuencia volcánica, cuya orientación regional es 65°/12°, y es cortado y desplazado en sentido sinistral (reactivación dextral) por fallas subverticales de rumbo 45°-55° [5]. Datos radioisotópicos [11] indicarían que la alteración y mineralización de Mantos Blancos se produjo en torno a los 150 Ma y en forma simultánea con la intrusión de los diques básicos, si bien éstos presentan un conjunto de edades concentradas entre 115 y 125 Ma. Estudios paleomagnéticos preliminares indican fuertes rotaciones horarias de 55°-60° justo al este de Mantos Blancos en volcanitas de probable edad Cratácico Inferior a Medio [3].

MUESTREO Y METODOS PALEOMAGNETICOS

En ambos yacimientos se ha realizado un muestreo de detalle que pretende caracterizar por una parte los valores de propiedades magnéticas [1] y por otro el comportamiento paleomagnético de las principales unidades geológicas. En el rajo de la mina Manto Verde se han obtenido cerca de 100 muestras paleomagnéticas orientadas que caracterizan las brechas tectónica e hidrotermal y la zona de transición. Además se perforaron otros 7 sitios paleomagnéticos adicionales en el entorno distal de la mina (Fig. 1a), muestreo que suma 85 especímenes más. En Mantos Blancos se perforaron 10 sitios paleomagnéticos en los tres rajos principales de la mina (Fig. 1b), los que permiten caracterizar las rocas volcánicas ácidas con mineralización predominantemente hipógena, la unidad de 'andesitas superiores' rica en hematita y los diques básicos que cortan toda la secuencia. De este muestreo se obtuvieron alrededor de 150 especímenes paleomagnéticos orientados.

Sobre estas muestras se aplicó el tratamiento paleomagnético estándar que incluye la medición de la susceptibilidad magnética y magnetización remanente natural [1], y la desmagnetización termal de muestras seleccionadas con el fin de estudiar la estabilidad y composición de la magnetización remanente, tendiente a determinar la o las direcciones paleomagnéticas retenidas por los minerales ferromagnéticos de la roca.

RESULTADOS E IMPLICANCIAS TECTONICAS Y CRONOLOGICAS

Manto Verde:

La figura 2 presenta los resultados más relevantes obtenidos en este depósito. En la Mina Manto Verde propiamente tal el diagrama estereográfico muestra las trayectorias de desmagnetización termal seguidas por la magnetización remanente de las brechas de especularita con mineralización de oxidados de Cu y rocas de la zona de transición aledaña. De dicho diagrama surgen varias observaciones de interés; en general cada espécimen desmagnetizado retiene en sus hematitas especulares una única dirección magnética estable, direcciones que si bien presentan una alta dispersión, se concentran en una polaridad inversa que en promedio tiende a 180°/40°. A su vez, las brechas de especularita mineralizadas de Manto Ruso (sitio 2), presentan un comportamiento magnético similar al observado en Manto Verde, en términos tanto de la retención de una magnetización estable en hematitas especulares hasta los 670°C (temperatura de Curie de la hematita, según se observa en el diagrama normalizado de variación de la intensidad de remanencia con la temperatura) como de la dispersión general mostrada por la dirección de remanencia magnética. Sin embargo en este caso dichas direcciones presentan preferentemente una polaridad normal cuyo promedio se concentra en 0°/-40°. Finalmente las rocas volcánicas con alteración moderada a fuerte de Kspar-clorita-sericita perforadas en el sitio 3, límite suroccidental de la FMV presentan en general una magnetización remanente estable en polaridad normal con una dirección característica promedio de 17°/-45°. Cabe señalar que en otros sectores del distrito existen débiles evidencias de magnetizaciones secundarias de baja temperatura de desbloqueo en rocas alteradas cuyas direcciones son similares a la mostrada en el sitio 3.

La ocurrencia de brechas de especularita en ambas polaridades indica que el proceso de emplazamiento de ellas ocurrió en eventos separados en el tiempo. Más aun, la polaridad inversa en las brechas de la mina Manto Verde indica que ellas no se emplazaron durante el periodo de polaridad normal del Cretácico Medio, el cual transcurre entre los 118 y 84 Ma, y de hecho con alta probabilidad, considerando las dataciones radiométricas presentadas en [4], su emplazamiento se produjo justo antes de dicho periodo. La generación de las brechas en Manto Ruso podría haberse producido antes o después de dicho evento pero no simultáneamente. Por otra parte, aunque ambas unidades de brecha presentan una dispersión no menor de las direcciones paleomagnéticas retenidas por sus especularitas (dispersión debida probablemente a dislocamientos in situ post emplazamiento o anisotropía en la distribución de la especularita a escala de la muestra) el promedio de dichas direcciones tiende a un eje NS. Este hecho unido a las evidencias de magnetizaciones secundarias de baja temperatura en rocas alteradas de dirección 15° - 20° - 45° , probablemente adquirida con posterioridad al emplazamiento de las brechas, podría indicar la siguiente cronología de eventos: 1) emplazamiento de las brechas en por lo menos dos episodios dentro del dominio sinistral de la ZFA y por tanto con probables rotaciones antihorarias, 2) adquisición de magnetización secundaria en rocas sin especularita probablemente por evento termal regional asociado a intrusivos del Cretácico Medio al este de la ZFA, 3) rotación horaria de 15° - 20° .

Mantos Blancos:

Los principales resultados obtenidos en la Mina Mantos Blancos son graficados en la Fig. 3. Ella muestran en un diagrama estereográfico el cálculo de las direcciones paleomagnéticas características de los sitios en los que ellas existen. Es interesante notar que no obstante la baja intensidad de la MRN presentada por las rocas ácidas mineralizadas de Mantos Blancos (del orden de 0.003 A/m, ver [1]), éstas retienen una dirección muy estable, probablemente en magnetitas finas. A su vez los diques básicos que cortan toda la secuencia también presentan una dirección característica estable luego de remover una magnetización viscosa producida por el campo actual. Así y según se observa en la figura, a escala de la mina existen direcciones características en polaridad normal e inversa y además todas ellas están desplazadas horariamente del eje NS. Los sitios 1 y 3 del rajo Quinta presentan dos direcciones características muy bien concentradas en valores de 40° - 42° y 270° / 51° . La primera es registrada por los diques básicos mientras la segunda la presentan las dacitas y tobas riolíticas con mineralización hipógena. En el rajo Tercera los diques básicos del sitio 5 presentan al igual que en el caso anterior una buena dirección en 35° - 38° , mientras las andesitas superiores del sitio 4 se concentran fuertemente en 276° / 76° . Esta unidad también fue perforada en el sitio 10 donde muestra una dirección de 214° / 55° . Finalmente en el rajo Elvira tanto los diques básicos como las volcanitas ácidas que hospedan la mineralización hipógena en torno a ellos en el sitio 7 presentan una buena dirección de 48° - 44° , a la vez que las rocas mineralizadas del sitio 8 presentan una buena dirección de 231° / 44° .

Los resultados paleomagnéticos en Mantos Blancos indican la existencia sistemática de rotaciones horarias de 40° - 50° con alguna variabilidad local a la escala de la mina. Los diques básicos presentan persistentemente una magnetización primaria retenida en magnetitas en polaridad normal (con alguna evidencia de polaridad inversa), cuya dirección está rotada horariamente 40° en promedio. A escala métrica los diques han remagnetizado las rocas mineralizadas circundantes (sitio 7), hecho que indica que durante el evento intrusivo al que están asociados se podría haber producido una débil redistribución de la mineralización de sulfuros. Sin embargo las rocas volcánicas ácidas mineralizadas cuando muestran una buena magnetización, generalmente ésta es en polaridad inversa y con declinaciones que oscilan entre 230° y 270° . Dado que la inclinación de dichas rocas es del orden de 45° , es decir la inclinación paleomagnética esperable para el Jurásico, podemos suponer que estas rocas fueron magnetizadas in situ y que por tanto dichas declinaciones pueden ser interpretadas como rotaciones en ejes verticales. Así, este resultado indicaría que luego de producirse la adquisición de la magnetización en polaridad inversa por parte de las rocas volcánicas ácidas, probablemente en magnetitas paragenéticas con la mena de sulfuros hipógenos a las 150 Ma [11], estas rocas han rotado horariamente entre 50° y 90° , rotaciones que en promedio son las más altas registradas en el margen andino y que son comparables con las registradas en el sector de Baquedano al este de la mina [3]. Estos hechos indican que si bien las persistentes rotaciones horarias observadas deben ser ligadas a un proceso tectónico común y de escala regional (asociado a la evolución de la ZFA), existen mecanismos locales diferenciales de deformación, probablemente previos a la intrusión de los diques básicos, que generan la variabilidad en las rotaciones observadas tanto en las rocas mineralizadas como en las andesitas superiores.

Con todo, los datos presentados deben ser considerados en futuras interpretaciones tectónicas y estructurales a escalas distritales en los ámbitos metalogénicos de Manto Verde y Mantos Blancos.

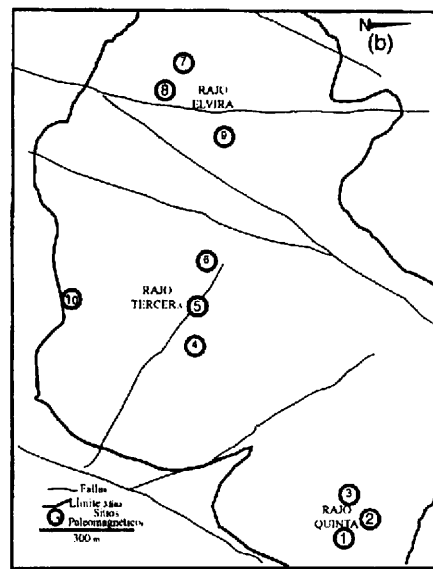
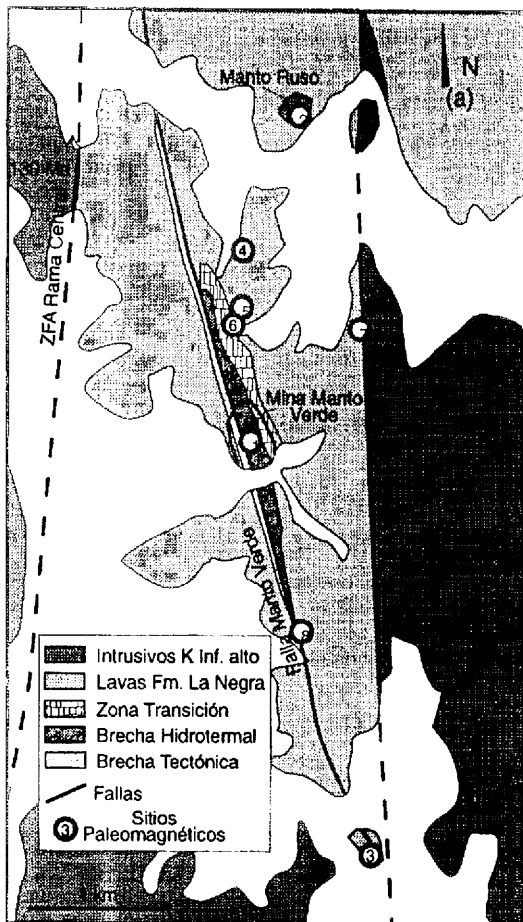


Figura 1: (a) Geología distrital simplificada sector Manto Verde (modificada de [7]) y distribución de sitios paleomagnéticos. (b) Distribución de sitios paleomagnéticos en Mina Mantos Blancos (mapa gentileza del dpto. de Geología de Mina Mantos Blancos)

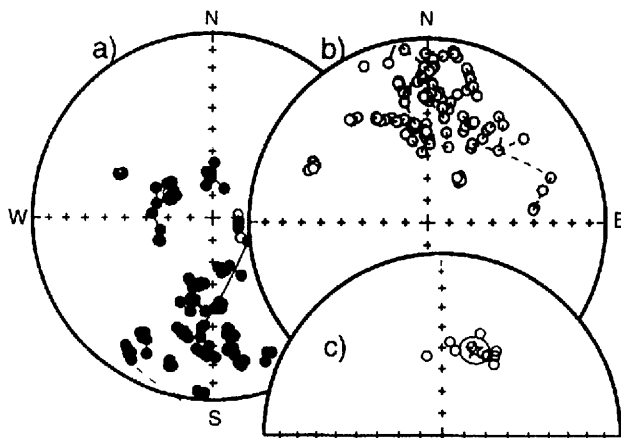


Figura 2: Resultados paleomagnéticos en distrito Manto Verde a) Brechas Especularita Manto Verde, b) Brechas Especularita Manto Ruso, c) Dirección Característica sitio 3; d) Variación de la intensidad de la magnetización durante la demagnetización térmica. Muestras con hematita tienen temperaturas de desbloqueo de la magnetización remanente > a 650°C.

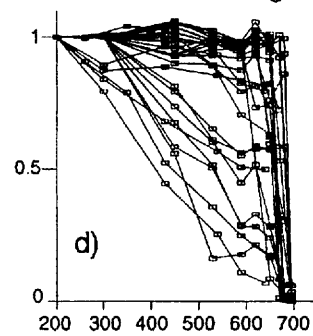
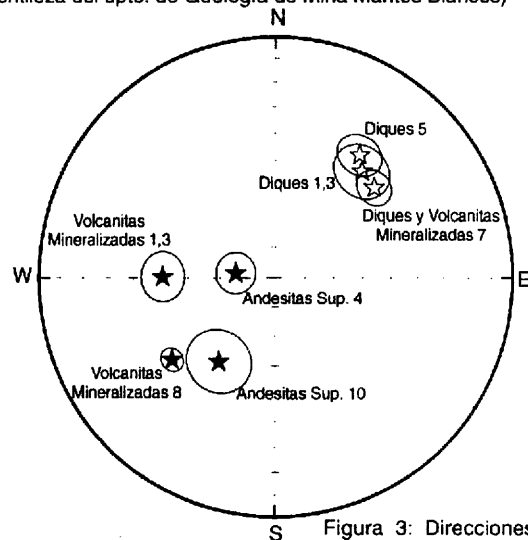


Figura 3: Direcciones paleomagnéticas características en mina Mantos Blancos. Promedio por sitio.

AGRADECIMIENTOS

A Vicente Irarrazaval y Alvaro Tobar de Anglo American Chile Ltda. por permitir la publicación de estos resultados. Se agradece el apoyo en terreno de los colegas Richard Zamora (Manto Verde) y Jorge Pizarro (Mantos Blancos) de la Empresa Minera de Mantos Blancos, grupo Anglo American plc.

REFERENCIAS

1. Tassara, A.; Roperch, P.; Townley, B.; Pavez, A.; Sepúlveda, P. 2000. Modificación de las Propiedades Magnéticas de las Rocas en Ambientes Hidrotermales: 3 Ejemplos en la Franja Metalogénica de la Costa, Norte de Chile. *Este Congreso*.
2. Beck, M. 1998. On the Mechanism of Crustal Block Rotations in the Central Andes. *Tectonophysics*, Vol. 299, special issue 'Paleomagnetism and Tectonic Rotations', Morris, A y M. Anderson eds, p. 75 – 92.
3. Arriagada, C; Roperch, P.; Mpodozis, C. 2000. Rotaciones Tectónicas en la región de Antofagasta: Implicancias para la evolución geodinámica de los Andes Centrales durante el Paleógeno. *Este Congreso*.
4. Vila, T.; Lindsay, N.; Zamora, R. 1996. Geology of the Manto Verde Copper Deposit, Northern Chile: A Specularite-Rich, Hydrothermal-Tectonic Breccia Related to the Atacama Fault Zone. *In 'Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny'*, Soc. Econ. Geologist Special Publication No 5, Camus, F., Sillitoe, R. and Petersen, R., eds, p. 157 – 170.
5. Boric, R.; Díaz, F.; MaksaeV, V. 1990. Geología y Yacimientos Metalíferos de la Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín No. 40, 246 p.
6. Naranjo, J.A. 1987. Interpretación de la Actividad Cenozoica a lo Largo de la Zona de Falla de Atacama, Norte de Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 31, p. 43 - 54.
7. Lara, L.; Godoy, E. 1998. Hoja Quebrada Salitrosa, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos No. 4. 1 mapa escala 1:100.000.
8. Gelcich, S. 1999. Fe and Cu-Fe±Au Mineralization in the Coastal Cordillera of Chañaral, Northern Chile. *In Fourth International Symposium on Andean Geodynamics*, Actas, p. 261 - 264, Goettingen, Germany.
9. Randall, D.; Taylor, G.; Grocott, J. 1996. Major Crustal Rotations in the Andean Margin: Paleomagnetic Results from Coastal Cordillera of Northern Chile. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, No. B7, p. 15.783 – 15.789.
10. Espinoza, S.; Véliz, H.; Esquivel, J.; Arias, J.; Moraga, A. 1996. The Cupriferous Province of the Coastal Range, Northern Chile. *In 'Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny'*, Soc. Econ. Geologist Special Publication No 5, Camus, F., Sillitoe, R. and Petersen, R., eds., p.19 - 32.
11. Tassinari, C.; Munizaga, F.; Ramirez, R. 1993. Edad y Geoquímica Isotópica Rb-Sr del Yacimiento de Cobre Mantos Blancos: Relación Temporal con el Magmatismo Jurásico. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 20, No. 2, p. 193 - 205.