



INFORME DE CAPACITACIÓN

**PARTICIPACIÓN EN LOS TRABAJOS FINALES DE
INTERPRETACIÓN DE ISÓTOPOS DE PLOMO DE LOS
PÓRFIDOS DE ORO, COBRE Y MOLIBDENO DEL NORTE DEL
PERÚ – REGIÓN CAJAMARCA**

UNIVERSIDAD DE SAO PAULO – BRASIL

DEL 14 AL 26 DE AGOSTO DEL 2008

PRESENTADO POR: Raymond, RIVERA CORNEJO



LIMA – PERÚ
2008



INDICE

| | Pag. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| OBJETIVOS | 3 |
| INPORTANCIA DE LOS ISÓTOPOS DE PLOMO EN LA EXPLORACIÓN MINERA | 3 |
| RESULTADOS | 4 |
| INTERPRETACIÓN | 6 |
| CONCLUSIONES | 9 |
| BIBLIOGRAFÍA | 12 |
| PROYECTO: ALCANCES DE LA METALOGENIA EN LOS ANDES OCCIDENTALES DEL NORTE DEL PERÚ. | |

INTRODUCCIÓN

El informe de capacitación comprende las actividades desarrolladas durante la visita técnica a los laboratorios de investigaciones geocronológicas de la universidad de Sao Paulo.

La visita se estuvo dirigida principalmente a la interpretación de los resultados de isótopos de plomo de los pórfidos de Au-Cu y Cu-Au-Mo de la región de Cajamarca – norte del Perú.

OBJETIVOS

- Determinar la fuente de mineralización de los Pórfidos Au-Cu y Cu-Au-Mo.
- Estimar la influencia que ejerce la roca caja con respecto a la mineralización en los dos diferentes tipos de depósitos porfiríticos.

IMPORTANCIA DE LOS ISÓTOPOS DE PLOMO EN LA EXPLORACIÓN MINERA

La aplicación de los isótopos de plomo en los depósitos minerales es una herramienta importante para determinar los modelos conceptuales o genéticos relacionados a su mineralización. La composición isotópica del plomo en sulfuros acoplado con rocas asociadas a un depósito mineral suministra criterios contrastantes entre en el origen de los metales y la interacción del fluido en un sistema hidrotermal (Heyl et al., 1996; Stacey et al., 1968; Sanford, 1992). La aplicación de los isótopos de plomo en la exploración minera jugaría un gran papel al comparar los cocientes isotópicos de un depósito importante ya conocido y relacionarlo con los cocientes isotópicos de los prospectos que se encuentre dentro de su mismo marco geológico.

Todas las aplicaciones variadas de los isótopos de plomo permiten entender los procesos relacionados a la génesis de la mena, como por ejemplo:

- El origen del plomo y de otros metales en los depósitos minerales.
- Interacción de los fluidos hidrotermales y la roca caja.
- Influencia de las rocas del basamento y el marco tectónico.

- La aplicación de las variaciones isotópicas a escala de la corteza para entender los controles regionales en los depósitos minerales.

Donde se aplica las composiciones isotópicas de rocas y menas para entender el origen del magma, los metales y la interacción roca – fluido es importante sostener en mente que hay usualmente diferencias en las concentraciones de los orígenes encontrados, debido a que son muchos procesos geológicos que interactúan. En este caso es necesario identificar un origen dominante común que relacione a los depósitos.

RESULTADOS

Las composiciones isotópicas del plomo realizadas en este trabajo sobre la mena y roca caja en los pórfidos miocénicos del norte del Perú (Galeno y Minas Conga), han sido usadas para inferir el origen del metal y la posible interacción de los fluidos con la roca encajonante. Las composiciones isotópicas fueron relacionadas con el mapa de provincias isotópicas de plomo de los Andes Centrales (6°S a 32°S) (Macfarlane et al., 1990; modificado por Tosdal et al., 1999). Este mapa identifica tres principales provincias isotópicas las cuales están relacionada a tres diferentes orígenes.

El análisis de la composición isotópica del plomo desde la pirita extraída en Minas Conga (Chailhuagón – El Perol) y El Galeno fue realizado con el propósito de asegurar alguna variación sistemática en el origen de los metales en la zona de estudio.

En el pórfido El Galeno las muestras para estudios de isótopos de plomo fueron tomadas superficialmente en el halo mineralizado de la roca caja (areniscas); mientras que en los pórfidos de Minas Conga (Chailhuagón – El Perol) las muestras fueron tomadas en sondajes desde la alteración potásica en el pórfido principal.

A estos 14 nuevos datos isotópicos de plomo (cuadro 1) se le han sumado tres datos isotópicos de Pb, provenientes respectivamente desde los pórfidos de Michiquillay, El Galeno y una intrusión porfirítica desde el depósito hidrotermal de Yanacocha (Davies, 2002). Todos estos datos han sido comparados con las relaciones isotópicas de plomo desde Hualgayoc (Macfarlane, 1999).

Cuadro 1 Cocientes de isótopos de plomo en las calizas y depósitos minerales de la región de Cajamarca (Rivera, 2008)

| Código de Muestra | Material Analizado | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | Error % (1s) | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | Error % (1s) | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | Error % (1s) |
|-------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| Cha-171007-008 | Pirita | 18.725 | 0.005 | 15.633 | 0.006 | 38.624 | 0.007 |
| Cha-171007-010 | Pirita | 18.723 | 0.049 | 15.636 | 0.048 | 38.678 | 0.065 |
| Per-171007-003 | Pirita | 18.758 | 0.038 | 15.612 | 0.036 | 38.606 | 0.037 |
| Per-171007-004 | Pirita | 18.769 | 0.020 | 15.622 | 0.018 | 38.624 | 0.019 |
| Gal-141007-003 | Pirita | 18.784 | 0.022 | 15.675 | 0.022 | 38.772 | 0.026 |
| Gal-141007-005 | Pirita | 18.831 | 0.080 | 15.728 | 0.061 | 38.942 | 0.073 |
| HI-141007-004 | Pirita | 18.725 | 0.007 | 15.622 | 0.006 | 38.614 | 0.006 |
| Cha-161007-003 | RT- Caliza | 19.831 | 0.007 | 15.738 | 0.007 | 39.079 | 0.007 |
| M1 | RT- Caliza | 20.936 | 0.016 | 15.856 | 0.016 | 39.754 | 0.017 |
| M2 | RT- Caliza | 19.889 | 0.014 | 15.763 | 0.013 | 38.985 | 0.014 |
| Cha-171007-009 | RT-Pórfido | 18.748 | 0.006 | 15.617 | 0.006 | 38.616 | 0.007 |
| Per-171007-002 | RT-Pórfido | 18.785 | 0.006 | 15.619 | 0.007 | 38.651 | 0.008 |
| Gal-141007-001b | RT-Pórfido | 19.004 | 0.008 | 15.627 | 0.008 | 38.633 | 0.008 |
| HI-141007-002 | RT-Pórfido | 18.816 | 0.009 | 15.625 | 0.010 | 38.661 | 0.010 |

INTERPRETACIÓN

Los diagramas esquemáticos (Fig. 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5) indican que los pórfidos miocénicos de la región de Cajamarca están relacionados a un común origen profundo (final menos radiogénico de la provincia II), corroborando finalmente las interpretaciones hechas mediante geoquímica de rocas. Las relaciones isotópicas $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ muestran composiciones isotópicas de Pb muy parecidas para los pórfidos miocénicos del norte del Perú, región Cajamarca.

Dejando de lado las dos composiciones isotópicas del Pórfido El Galeno (Gal-003 y Gal-005, Anexo I) posiblemente contaminadas por la roca caja, las composiciones isotópicas del plomo en las menas de los pórfidos de Cu-Au.-Mo (El Galeno y Michiquillay; Davies, 2002) y los pórfidos de Au-Cu (El Perol y Chailhuagón), tienen un similar origen para la fuente de mineralización. Las menas de estos pórfidos se encuentran relacionadas al final menos radiogénico de la provincia II (orogénica) con una clara fuerte influencia de la subprovincia Ib (manto enriquecido) (Fig. 7.2 y 7.4).

El hecho de que se encuentren asociados al final menos radiogénico de la provincia II, indica una relativa débil contaminación por parte de la potente corteza andina. La moderada influencia de la subprovincia Ib, indica que este magmatismo es producto de un proceso de subducción, donde el magma ha sido enriquecido por sedimentos en el proceso de subducción.

La débil contaminación isotópica cortical para los pórfidos de la zona de estudio, corroboraría la interpretación geoquímica de elementos traza (As), donde la idea general a todo esto, es que una falla profunda cortical (Punre-Canchis) en un tiempo de régimen de tensión (Mioceno), permitió el ascenso relativamente rápido de los magmas hidratados (Davies, 2002), donde un relativo rápido ascenso no permite una fuerte contaminación cortical.

Los datos de isótopos de plomo desde un pórfido en el depósito de Yanacocha (Davies, 2002), ploteados en los diagramas $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 7.4 y 7.5) también apoyan la interpretación geoquímica de elementos

traza. El pórfido desde Yanacocha tiene muy bajas relaciones isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ con valores de 15.574 y 38.469, respectivamente. Los pórfidos miocénicos relacionados a la falla Punre-Canchis tienen relaciones isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ en un rango de 15.612 a 15.644 y 38.606 a 38.685, respectivamente. Las bajas relaciones isotópicas de Pb encontradas desde el pórfido en Yanacocha no se encuentran dentro o próximo al rango de las relaciones isotópicas de los pórfidos miocénicos, por lo que se argumenta que Yanacocha pertenece a otro sistema magmático totalmente diferente al de los pórfidos asociados a la falla Punre-Canchis.

La interacción entre los fluidos mineralizantes y la roca caja se puede apreciar débilmente en las relaciones isotópicas de los pórfidos de Minas Conga. En los diagramas $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 7.2 y 7.3) que tienen como referencia las provincias isotópicas de Pb (Macfarlane et al., 1990, modificadas por Tosdal et al., 1999) Chailhuagón y El Perol se ven influenciados débilmente por la provincia IIIb. El mejor exponente de la muy débil interacción isotópica de plomo está relacionada al pórfido El Perol, donde la mena muestra cocientes isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 15.612 a 15.622 y 38.606 a 38.624 respectivamente, mientras que una sola muestra desde la zona alterada en el mismo depósito tiene cocientes isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 15.619 y 38.651. Estas relaciones isotópicas son muy parecidas, pero a la vez demuestran una muy débil mayor relación isotópica $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para la roca alterada. Estos pocos datos isotópicos en la roca caja no son suficientes para sugerir una participación importante de la roca caja en los diferentes tipos de mineralización Au-Cu y Cu-Au-Mo. El pórfido El Galeno no muestra una interacción isotópica de fluidos y roca caja.

Los diagramas $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para el modelo plumbotectónico (Zartman & Doe, 1981; Fig. 7.9, 7.10) indican que las relaciones isotópicas de las menas en los depósitos porfiríticos de la región de Cajamarca tienen como principal reservorio el ambiente orogénico. Macfarlane et al., (1990) interpreta al ambiente orogénico como una zona de mezcla. En la Fig. 7.10 se puede apreciar un sesgo de las relaciones isotópicas de la mena hacia la corteza superior, por lo que se sugiere que uno de los principales dominios de la zona de mezcla fue la corteza superior..

Los relaciones isotópicas del plomo $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ desde las menas en Hualgayoc se encuentran en un rango de 15.620 a 15.656 y 38.631 a 38.746, respectivamente, siendo un poco más radiogénicas que la de los pórfidos miocénicos que tienen un rango muy parecido de 15.612 a 15.644 y 38.606 a 38.685, respectivamente (Fig. 8.5). Ambos se encuentran al final menos radiogénico de la provincia isotópica II. La prolongación de la falla Punre-Canchis hacia el NO (fuera de la zona de estudio) también afecta al distrito de Hualgayoc. La evolución geocronológica y la disposición espacial característica de los pórfidos Miocénicos también se sigue cumpliendo en Hualgayoc, por lo tanto se sugiere que la mineralización en Hualgayoc estuvo controlada también por la Falla Punre-Canchis, a pesar de poseer una contaminación cortical un poco más acentuada.

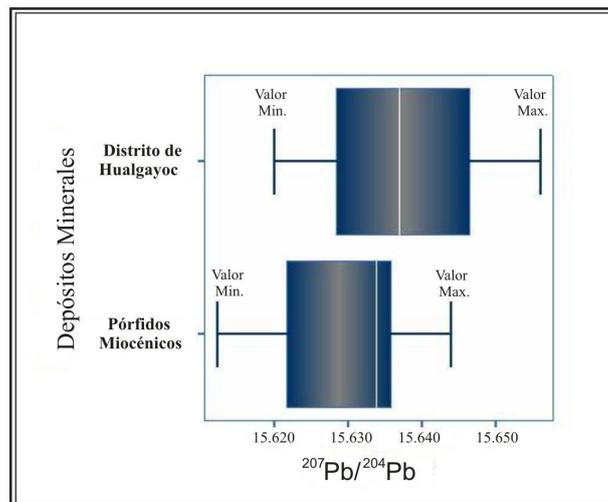


Figura 8.5 Gráficos de Boxplot comparando la relación que existe entre las composiciones isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ en los pórfidos miocénicos y el distrito minero de Hualgayoc.

Donde una vieja anisotropía estructural esta presente, las fallas podrían ser reactivadas y podrían guiar a los magmas desde la cámara original profunda a un cámara en una corteza somera o ambiente volcánico. La reactivación de viejas estructuras es un tema común en algunas regiones porfiríticas ricas en Cu, tales como Arizona (Heidrick y Titley, 1982) y los Andes Centrales (Salfity, 1985; Richards 2000b; Richards et al., 2001).

Ejemplos de fábricas estructurales orientadas que han sido reactivadas durante la intrusión y formación de un pórfido de Cu ocurre en Arizona (Heidrick y Titley, 1982),

La franja de Maricunga de Chile (ejemplo comparado con la geometría convergente subrayada por Pardo-Casas y Molnar, (1987) con orientación de venillas descritas por Vila et al., (1991) y en el Salvador Chile. El alineamiento de los stocks subvolcánicos a lo largo del noreste de la falla de rumbo Paleocena alrededor de el pórfido el Salvador suministra un particular ejemplo bien documentado de este fenómeno (Gustafson y Hunt, 1975; Cornejo et al., 1997).

CONCLUSIONES

- Los resultados isotópicos de plomo en las menas de los depósitos minerales relacionados a la falla Punre-Canchis son muy parecidos, lo cual sugiere un origen común para la fuente de mineralización (manto enriquecido). Las similitudes de las relaciones isotópicas corroboran que la falla se comportó como el principal control estructural, sirviendo como la principal vía de acceso para el emplazamiento de los pórfidos.
- La prolongación de la falla Punre-Canchis hacia el NW afecta también al distrito minero de Hualgayoc. Las similitudes entre las relaciones isotópicas de Hualgayoc y los pórfidos miocénicos de la región de Cajamarca sugieren que Hualgayoc también tuvo como principal control estructural regional la falla Punre Canchis.
- Las relaciones isotópicas de plomo no muestran una clara interacción fluido mineralizante y roca caja. Por lo tanto no se puede asegurar que la roca caja desarrolló un papel predominante en los diferentes tipos de mineralización Au-Cu y Cu-Au-Mo en los pórfidos miocénicos de la región de Cajamarca.

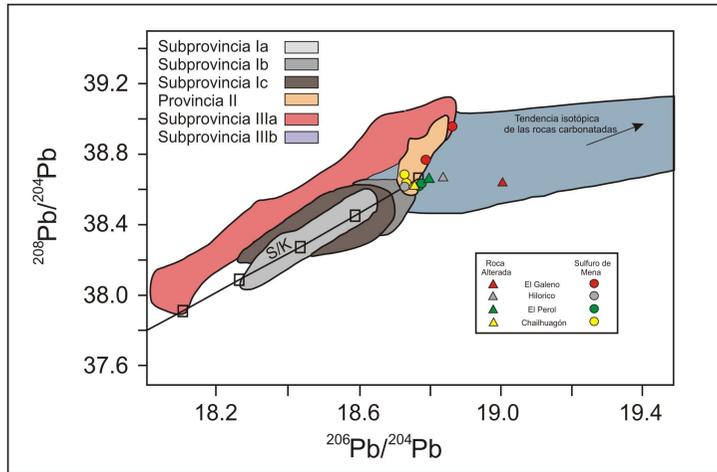


Figura 7.2 Diagrama esquemático $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, para las rocas con alteración hidrotermal y sulfuros de mena ploteados sobre las provincias isotópicas de Pb (Macfarlane et al., 1990; modificado por Tosdal et al., 1999) teniendo como referencia la curva de evolución del Pb (Stacey y Kramers, 1975).

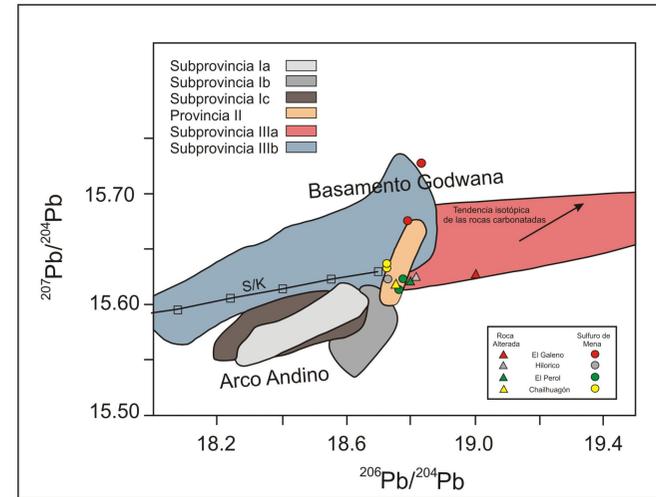


Figura 7.3 Diagrama esquemático $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, para las rocas con alteración hidrotermal y sulfuros de mena ploteados sobre las provincias isotópicas de Pb (Macfarlane et al., 1990; modificado por Tosdal et al., 1999) teniendo como referencia la curva de evolución del Pb (Stacey y Kramers, 1975).

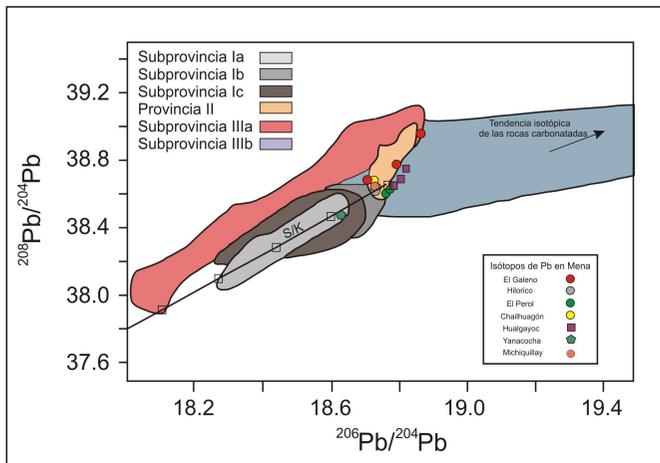


Figura 7.4 Diagrama esquemático $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para los sulfuros de mena de los depósitos de la zona de estudio y su comparación con las relaciones isotópicas de Hualgayoc (Macfarlane, 1990), Michiquillay, El Galeno y Yanacocha (Davies, 2002). Se toma referencia las provincias isotópicas de Pb (Macfarlane et al., 1990 y Petersen et al., 1993) y la curva de evolución del Pb (Stacey y Kramers, 1975).

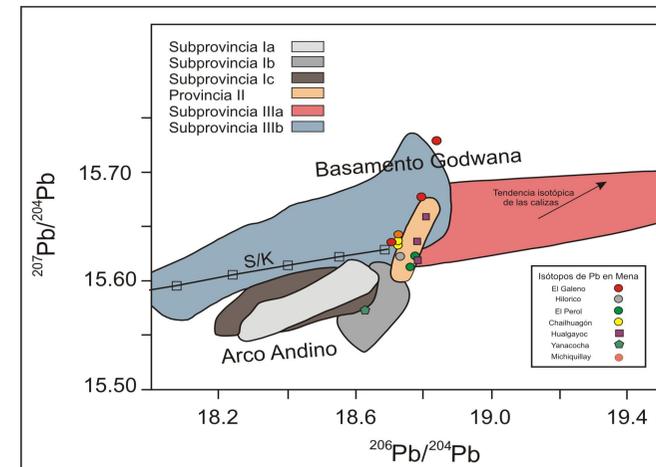


Figura 7.5 Diagrama esquemático $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para los sulfuros de mena de los depósitos de la zona de estudio y su comparación con las relaciones isotópicas de Hualgayoc (Macfarlane, 1990), Michiquillay, El Galeno y Yanacocha (Davies, 2002). Se toma referencia las provincias isotópicas de Pb (Macfarlane et al., 1990 y Petersen et al., 1993) y la curva de evolución del Pb (Stacey y Kramers, 1975).

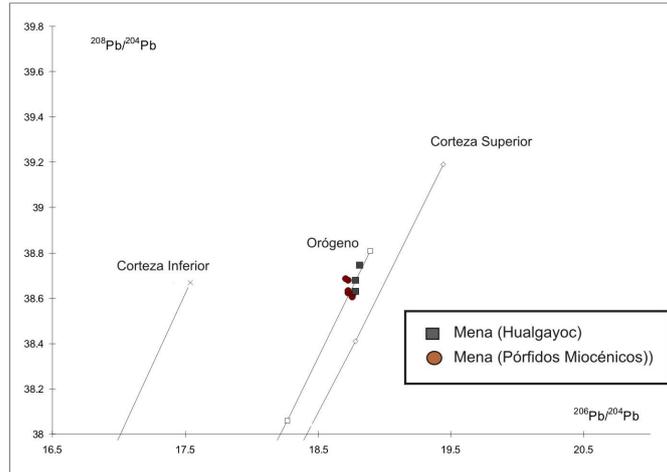


Figura 7.9 Diagrama $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ comparando las menas de los pórfidos miocénicos de la zona de estudio con las menas del distrito minero de Hualgayoc (Macfarlane, 1999). Son ploteados como referencia la curva de evolución isotópica del Pb establecida por el modelo la plumbotectónica (Zartman y Doe, 1981).

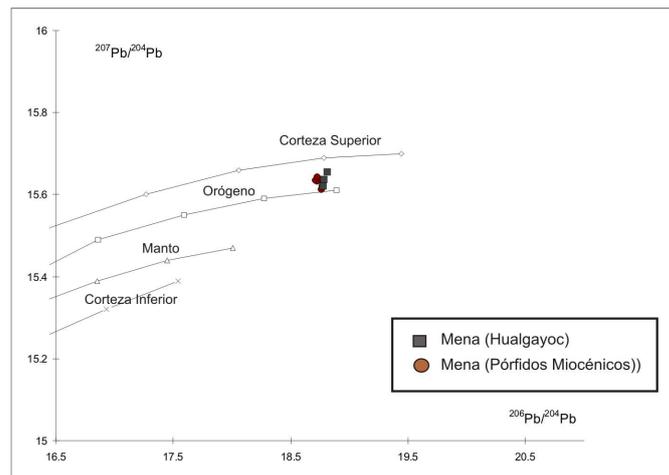


Figura 7.10 Diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ comparando las menas de los pórfidos miocénicos de la zona de estudio con las menas del distrito minero de Hualgayoc (Macfarlane, 1999). Son ploteados como referencia la curva de evolución isotópica del Pb establecida por el modelo la plumbotectónica (Zartman y Doe, 1981).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cornejo, P., Tosdal, R. M., Mpodozis, C., Tomlinson, A. J., Rivera, O., and Fanning, C. M. (1997) El Salvador, Chile, porphyry copper deposits revisited: Geologic and geochronologic framework: *International Geology review*, vol. 39, pp. 22 - 54.
- Davies, C. (2002) Tectonic, magmatic and metallogenic evolution of the Cajamarca mining district, northern Peru. Unpub PhD. Thesis, James Cook University, Australia.
- Heidrick, T. L. and Titley, S. R. (1982) Fracture and diques patterns in Laramide plutons and their structural and tectonic implications: American southwest, in Titley, S. R., rd., *Advances in geology of the porphyry copper deposits: Tucson, University of Arizona press*, pp. 73 – 91.
- Gustafson, L. B. y Hunt, J. P. (1975) The porphyry copper deposits at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, vol. 70, pp. 857 – 912.
- Macfarlane A.W., Marcel, P., LeHuray, A.P. y Petersen U., (1990) Lead isotope provinces of the central Andes inferred from ores and crustal rocks. En: *Economic Geology*, vol. 85, pp. 1857 – 1880.
- Macfarlane, A. W. (1999) Isotopic studies of northern andean crustal evolution and ore metal source. En: *Economic Geology, special publication*, v. 7, pp. 195 – 217.
- Pardo-Cassa, F. y Molnar, P. (1987) Relative motion of the Nazca (Farallón) y South American plate since late Cretaceous time. *Tectonic*, v. 6, pp. 233-248.
- Richards, J. P., Boyce, A. J. and Pringle, M. S. (2001) Geological evolution of the Escondida area, northern Chile: A model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization: *Economic Geology*, in press.
- Richards, J. P. (2000b) Lineaments revisited: *Society of economic geologists newsletter* N° 42, pp. 1, 14 – 20.
- Salfity, J. A. (1985) Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino: Antofagasta, August 1985, IV congreso geológico chileno, part 2, pp. 119 – 137.
- Tosdal, R. M., Wooden, J. L., Bouse, R. M. (1999) Pb isotopes, ore deposits, and metallogenic terranes. *Reviews in Economic Geology*, N° 12, pp. 1 – 28.
Pb isotopes, ore deposits, and metallogenic terranes. *Reviews in Economic Geology*, N° 12, pp. 1 – 28.
- Vila, T., Sillitoe, R. H., Betzhold, J., and Viteri, E., (1991) The porphyry gold deposit at Marte, northern Chile: *Economic Geology*, Vol. 86, pp. 1271 – 1286.

Zartman R. E. & Doe, B. R. (1981). Plumbotectonic - the model. En: Tectonophysics, v. 75, pp. 135 -162.