

USO DE ^{18}O COMO INDICADOR ESPACIAL EN EL YACIMIENTO AURIFERO PODEROSA - PATAZ

Carlos Oré Sánchez

Compañía Minera Poderosa S.A.

core@poderosa.com.pe

RESUMEN

En el yacimiento de Poderosa-Pataz, el interés por comprender este yacimiento ha llevado a conocer mejor los controles y la metalogénia de la región. En Poderosa-Pataz, la exploración mineral se desarrolla en gran medida por perforación diamantina desde superficie o desde labores subterráneas piloto de posición. Ocasionalmente, desde superficie se realizan secciones eléctricas y las áreas potenciales que resulten de este método son confirmadas con perforación diamantina. Hoy como una herramienta puntual sobre la veta, se usa la geoquímica isotópica ^{18}O para indicar la posición espacial de las vetas.

El reporte de $\delta^{18}\text{O}$ del cuarzo de los filones se encuentran en el rango de +10.31 a +16.53‰. Estos resultados permiten establecer que los segmentos analizados de las vetas que se encuentran al Este corresponden a los niveles superiores del yacimiento, y en contraparte, las porciones dispuestas al Oeste muestran la zona más profunda conocida del distrito. De igual modo, podemos indicar que los filones ubicados hacia el norte de la zona de trabajo muestran los niveles más profundos con respecto a las del sector Sur.

A la luz de los resultados, en el sector sur del yacimiento, el potencial mineral, en su extensión longitudinal y en profundidad es muy grande. Del mismo modo, para la zona norte, considerando la relación isotópica de entre proto-vetas (+12.80‰) y las vetas podemos sugerir la continuidad de estructuras mineralizadas hasta el orden de un kilómetro desde su nivel inferior conocido, debajo del nivel 1457.

ABSTRAC

In The Gold deposit of Poderosa-Pataz, the interest in understanding this deposit has led to know better the controls and metallogeny of the region. In Poderosa-Pataz, the mineral exploration is developed largely by diamond drilling from the surface or from underground pilot positions. Occasionally, electric sections are made from surface and potential resulting from this method are confirmed by diamond drilling. Today is used the isotope geochemistry ^{18}O as a punctual tool on the vein to indicate the spatial position of the veins.

The reports of $\delta^{18}\text{O}$ at quartz of the veins are in the range from +10.31 to +16.53‰. These results allow establishing that the analyzed segments of the veins that are on the east correspond to the upper levels of the deposit, and in contrast, portions arranged in the west show the deepest known area of the district. Similarly, we can indicate that the veins located north of the work area show the lowest levels over (than) the South sector.

With these results, in the southern sector of the deposit, the mineral potential, in its longitudinal extent and depth is very large. Similarly, to the north area, considering the isotopic relationship between proto-veins (+12.80 ‰) and the veins can suggest the continuity of mineralized structures at the order of one kilometer from the lower level known, under the 1457.

INTRODUCCIÓN

El consumo de los recursos minerales es cada vez más grande. En tal sentido, para satisfacer esta demanda creciente, la industria minera recurre a técnicas y métodos desarrollados en diversos campos, con la finalidad de identificar y desarrollar nuevos proyectos mineros. En otros casos

incrementar el volumen de los recursos en zonas de producción.

Las técnicas y los métodos de exploración minera pasa desde el reconocimiento superficial de indicios minerales, por la perforación diamantina hasta las más sofisticados y puntuales. Entre otros, dentro de los métodos geofísicos se emplea comúnmente el magnetismo, electromagnetismo, métodos eléctricos, sísmica, la gravimetría, radiometría, teledetección. Dentro de los métodos geoquímicos se emplea la lito-geoquímica, la geoquímica de las formaciones superficiales, geoquímica MMI (*Mobile Metal Ion*, desarrollado en los últimos cinco años), la mineralogía de exploración, la geoquímica isotópica, la biogeoquímica y la microbiología también que viene desarrollando importantes avances.

En el yacimiento de Poderosa-Pataz la mineralización filoniana es conocida desde la época pre-colombina, la misma que se explotaba desde la superficie, sobre exposición directa de las vetas. Posteriormente, en la época de exploración y explotación industrial se entiende mejor la geometría y los arreglos estructurales del yacimiento, se extiende y se ubica nuevos cuerpos minerales con ayuda de la perforación diamantina, esto permite en nuevas áreas combinar la geofísica y la perforación diamantina para probar mineralización económica. Al mismo tiempo, se llega a correlacionar geoquímica de fallas transversales y las vetas. Estos últimos años se viene trabajando sobre la fuente de la mineralización y la isotopía de la región. En este trabajo se pretende emplear el reporte isotópico de ^{18}O como una herramienta de exploración

CUADRO GEOLÓGICO

El yacimiento de Poderosa-Pataz, ubicado en el segmento norte de la Cordillera Oriental de los Andes, es reconocido por sus numerosas vetas auríferas de cuarzo sulfuros. La actividad minera en la región data desde la época precolombina y Compañía Minera Poderosa S.A. ha producido cerca de 70 Tn de oro en los 30 años de operación a partir de una trentena de vetas. Algunas de ellas se extienden sobre los 5 kilómetros que se exponen a lo largo de una sección vertical de 2.5 km otorgado por el elevado relieve de la cordillera de los Andes. Este yacimiento forma parte del cinturón aurífero que se extiende en el paleo-continente Godwana a lo largo de la cordillera Hercínica del paleozoico (figura 1).

El dominio del distrito aurífero de Poderosa-Pataz (figura 2) se extiende sobre los 20 kilómetros. Sobre el plano distrital y regional, la orientación predominante de las vetas es NNW-SSE, con

buzamientos hacia el Este. Se encuentra alojado en el batolito de Pataz, que está compuesta por rocas de afinidad calco-alcalina, dominada por granodioritas y en menor proporción por dioritas^{1, 2}. El batolito de Pataz se encuentra inyectado en los esquistos verdes del pre-cambriano, en las rocas sedimentarias y volcánicas ante carboníferas metamorfasadas.

La composición principal de las vetas es cuarzo, pirita, arsenopirita, galena y en menor proporción carbonatos, chalcopirita, pirrotita y sulfosales. La proporción de los sulfuros en promedio llega a 25%. El contenido de oro está relacionado directamente al porcentaje de sulfuros. La potencia de las vetas en promedio llega a 1 metro y la roca caja presenta alteración pervasiva, fílica y propilitica que se limitan a algunos centímetros.

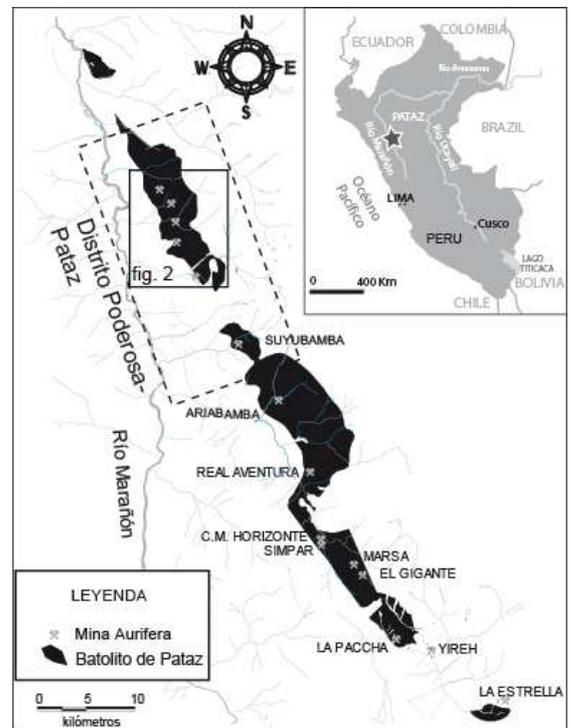


Figura 1. Ubicación del distrito aurífero Poderosa-Pataz.

TRABAJOS PRECEDENTES DE GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

Numerosos trabajos de geoquímica isotópica en yacimientos auríferos es realizado en el cuarzo y los sulfuros. Los análisis en el cuarzo son dirigidos a conocer el origen de los fluidos, y para trazar el proceso hidrotermal. La compilación de numerosos estudios sobre los isotopos de ^{18}O y de D (deuterio) de los fluidos, ha permitido una clasificación por su génesis. Entre ellos, los fluidos de origen magmático

muestran reportes de ^{18}O en un rango que comprende entre +5 a +7.5‰, +7 a +10‰ por aquellos de naturaleza basáltica y granítica respectivamente. Para las aguas metamórficas de +3 a 26‰^{3,4}.

En el caso particular del yacimiento Poderosa Pataz, las primeras investigaciones sobre los isotopos en la región en el distrito de Buldibuyo-Parcoy, al Sur del yacimiento fueron realizadas por Macfarlane *et al.* (1999)⁵ en el que se muestra una similitud de isotopos de plomo 206, 207 y 208 de la galena de la veta y de la roca caja (serie intrusiva).

Haerberlin *et al.* (2004)⁶ igualmente, muestran información sobre isotopos de ^{34}S de los sulfuros en la región a las que se suman los isotopos de ^{18}O del cuarzo de la veta. Y proponen que el fluido inicial tiene un valor de $7 \pm 0.2\%$ que se encuentra en el campo de los metamórficos y origen magmático.

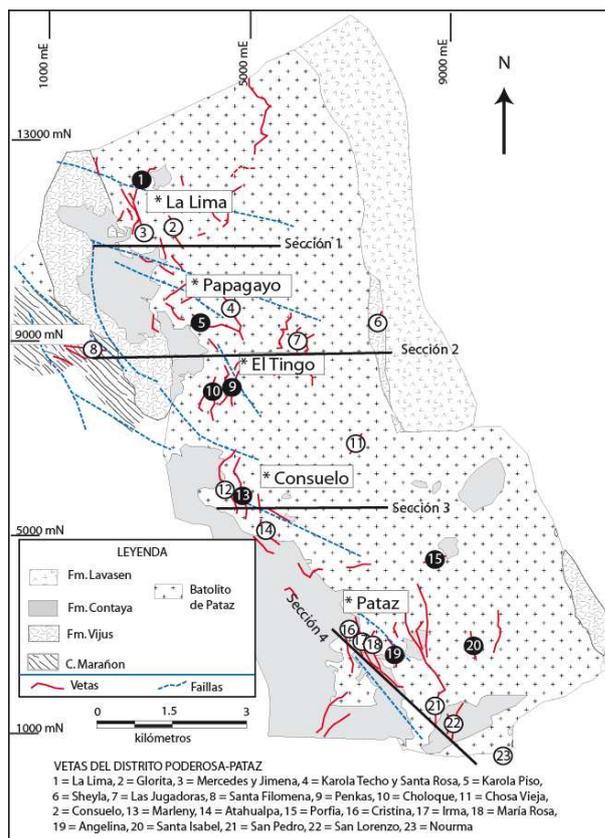


Figura 2. Geología del distrito aurífero Poderosa-Pataz, ubicación de las vetas más representativas y estaciones de muestreo (en círculos blancos) para los análisis isotópicos de las vetas.

Más información sobre los isotopos es realizado por Oré (trabajo de doctorado en curso) para determinar la evolución del fluido hidrotermal que forma la veta y, por consiguiente, en este trabajo se pretende usar los reportes de ^{18}O como herramienta de exploración, donde la misma, permite conocer la ubicación espacial primigenia de los filones y que se resume en una zonación térmica de la zona de trabajo.

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

El cuarzo para los análisis isotópicos se obtiene de las vetas a diferentes niveles en un total de 26 estaciones y de diques ácidos (una de cuarzo pegmatita y 6 de aptitas) y de una protovena.

La preparación de las muestras se realiza en 6 etapas: 1) la disminución del grano, en general menor de los 0.5 cm^3 con martillo y mortero; 2) en el microscopio binocular, la selección manual de los granos, con ayuda de una pinza, 3) preparación de muestras para análisis Micro-XRF; 4) análisis puntual de los granos en el micro-XRF; 5) eliminación manual de impureza, y 6) pulverización final para homogenizar la muestra. En el caso de las muestras de los diques aptíticos se lavaron con agua regia para eliminar algunas impurezas.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio de *GG Hatch Isotope* de la Universidad de Ottawa y a la Universidad de Laval en Quebec, Canadá.

RESULTADOS

El reporte de los análisis isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ en las tablas 1 y 2 es en partes por mil bajo la norma SMOW (*Standard Mean Oceanic Water*).

Tabla 1. Valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ en ‰ de cuarzo de algunas vetas en el distrito aurífero de Poderosa-Pataz.

Muestra	Veta	Elevación	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ w	Caja
145002	Glorita	2414,35	+14.71 +14.60	Monzogranito/ granodiorita
145005	Santa Rosa	2366,70	+13.23	Monzogranito/ granodiorita
152018	Cristina	2343,34	+15.37	Granodiorita/ Corneana
152033	Maria Rosa	2511,00	+12.79	Granodiorita/ diorita
152038	Irma	2512,00	+14.58	Corneana
152052	Sheyla	3070,00	+14.35	Meta-andesita

152057	Las Jugadoras	2423,00	+14.42	Granodiorita
152060	Karola T	1776,89	+13.75	Monzogranito/ granodiorita
152074	Karola T	1659,46	+13.51	Monzogranito/ granodiorita
152082	Karola T	1492,83	+13.60	Monzogranita/ granodiorita
152094	Santa Filomena	1567,90	+10.31	Meta-basalto
156033	Nourma	4002,00	+16.50 +16.53	Meta-basalto
EC1-13	Consuelo	2449,10	+13.42	Diorita/ hornblenda
EC4-09	Consuelo	2539,12	+15.87	Diorita
EC6-04	Consuelo	2478,10	+13.44	Diorita
JCORE-1	Jimena	1805,00	+12.38 +14.36 +12.50	Granodiorita
JCORE-1a	Jimena	1805,00	+12.8	Granodiorita
ORJIM1	Jimena	1920,51	+13.18	Monzogranita/ granodiorita/ enclave
ORJIM2	Jimena	1891,92	+13.64	Monzogranito/ granodiorita
152006	San Pedro	3402,35	+13.60	Granodiorita
152009	San Pedro	3648,20	+14.50	Granodiorita
152015	San Lorenzo	3770,98	+15.40	Granodiorita
152042	Chosa Vieja	3076,00	+16.00	Granodiorita
AT2475	Atahualpa	2470,00	+14.50	Diorita/ granodiorita
AT006	Atahualpa	2743,19	+14.80	Diorita/ granodiorita

Tabla 2. Valores $\delta^{18}O_{SMOW}$ en ‰ (cuarzo) de diques en el distrito aurífero de Poderosa-Pataz.

Muestra	Zona	Elevación	$\delta^{18}O_{SMOW}$	Observation
138256	Glorita	2816,77	+12,80	Veta-Dique
138260	Santa Rosa	2420,38	+8,90	Pegmatita
AT001	Atahualpa	2675,00	+10,70	Aplita
CH010	Choloque	1650,00	+10,50	Dique silicificado (falla)
PE011	Pencas	1800,00	+9,90	Aplita

PE012	Pencas	1800,00	+10,10	Aplita silicificada
QH007	Jimena	1660,00	+10,8	Dique silicificado (falla-Corihuarmi)

En Poderosa-Pataz, los valores isotópicos de $\delta^{18}O$ en el cuarzo (n=21) de los filones emplazados en rocas intrusivas caen en un rango de +12.38 a +16.00‰. De este grupo, los valores más bajos (+12.38‰) provienen de la veta Jimena, una estructura de buzamiento bajo (23°) diferente a las de buzamiento moderado (~45°) a elevado (65°). Sin embargo, el valor más bajo de $\delta^{18}O$ se encuentra en los cuarzos de la veta Santa Filomena, a una elevación de 1567 metros sobre el nivel del mar. El valor más alto (+16.50‰) es reportado en la parte más alta de la zona de estudio a 4002 metros sobre el nivel del mar.

La veta Santa Filomena se encuentra encajada en rocas metamórficas de origen sedimentario. Y la veta Nourma en roca metamórfica de origen volcánico. Además, los valores bajos se encuentran al Oeste de la zona de estudio, y los valores altos en el sector Este de la zona.

Para mostrar la ubicación espacial de las muestras y los valores se realiza una sección transversal, con la ubicación actual de las estructuras mineralizadas. En estas secciones se observa una diferencia en los reportes de ^{18}O , ascienden hacia el Este y hacia niveles superiores, en condiciones homogéneas, esto puede representar el descenso de la temperatura hacia estas direcciones.

Los valores isotópicos (+8.90 a +10.80‰) del cuarzo de los diques aplíticos es menor al reportado para el cuarzo de los filones. A estos valores se adiciona el reporte ($\delta^{18}O = +12.80‰$) de una muestra de cuarzo obtenido de un dique transicional, una transición entre dique y veta (proto-veta).

DISCUSIÓN

Los reportes obtenidos permiten proponer el mecanismo de transporte y evolución de los fluidos. Interpretando la distribución y los valores es posible de sugerir un fraccionamiento controlado por la temperatura.

En Poderosa-Pataz, el mecanismo de transporte de los fluidos, pasa controlado por la arquitectura del arreglo estructural. Entonces, si los fluidos se desplazan a través de fallas regionales profundas de orientación NNW, como es sugerido por Haeblerlin *et al.* (2004)⁷ será posible de encontrar variaciones hacia las estructuras subsidiarias, las

mismas que son reconocidas como estructuras de segundo y tercer orden. Otra posibilidad, es que los fluidos sean transportadas a través de las fallas secantes de orientación NNW a E-W, y distribuidas en estructuras de orientación NNW con buzamientos de bajo a moderado, tal como es sugerido por Oré (2006)⁸. En este segundo caso, existe una zonación vertical y lateral.

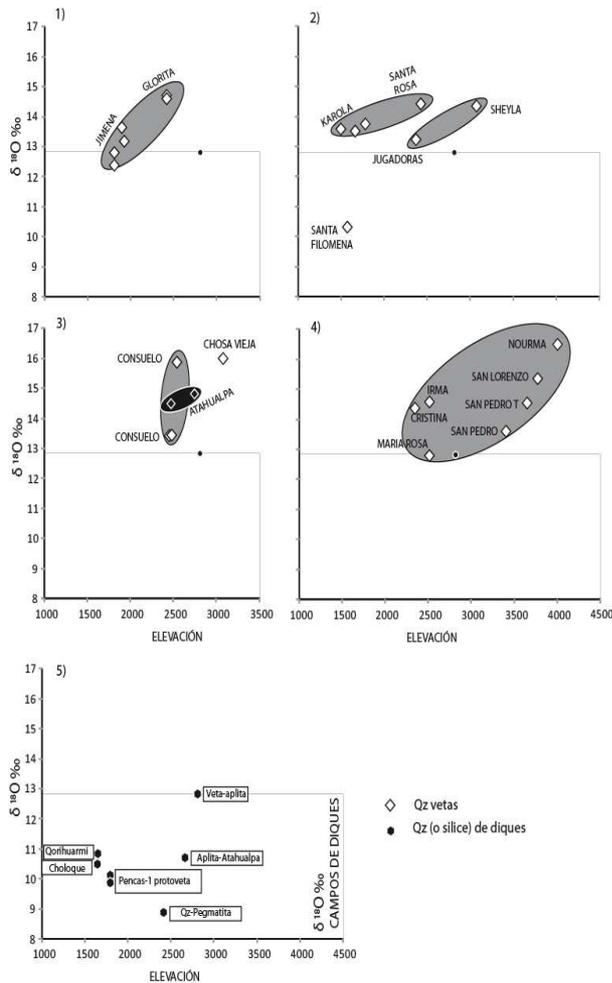


Figura 3. Sección esquemática de la ubicación de las muestras y sus respectivos reportes isotópicos, la figura 3.5 representa una sección generalizada de reportes isotópicos del cuarzo de diques y protovetas.

De acuerdo a Haerberlin *et al.* (2004)⁹, los fluidos primarios se superponen en la ventana de los de origen magmático y de origen metamórfico, comparando este valor primario de $\delta^{18}\text{O}$ de $+7\pm 2\text{‰}$ con los valores obtenidos en este estudio, se determina lo siguiente: a) una evolución vertical de los fluidos primarios, b) poca o nula interrelación de

los fluidos primarios con las aguas meteóricas, c) un enriquecimiento de los valores en $\delta^{18}\text{O}$ producto de la disminución de la temperatura, y d) influencia de roca caja metamórfica puede alterar la evolución "normal" de los fluidos en una zona neta de intrusivos.

A título de comparación, en el distrito de Poderosa-Pataz, el reporte isotópico de la veta Mercedes es muy próximo, ligeramente superior a los valores mostrados del cuarzo de los diques aplíticos, el de la proto-vena, a la vez próximos a los valores de zonas silicificadas de las fallas transversales. Considerando la partición isotópica controlada por la temperatura. Los reportes muestran una evolución de los fluidos desde magmáticos hasta formar las venas a diferentes niveles de la fuente que, además, se aleja de la estructura principal.

En el campo filoniano de Val d'Or. Como lo documentan Beaudoin y Pitre (2005)¹⁰, se observa un efecto inverso, los valores de los reportes isotópicos son mayores hacia la falla principal y son menores conforme se alejan de la falla regional. Esto es interpretado como la influencia de aguas meteóricas que se mezclan con los fluidos primarios y que estos son encaminados y migran hacia la falla principal.

GUIAS PARA LA EXPLORACIÓN

Para conocer la ubicación espacial primigenia de la vetas se genera una serie de secciones esquemáticas que a continuación se detallan (figura 4).

Sección 1. La veta Jimena se encuentra por debajo y subparalela de la veta Glorita, ella es concordante con los valores isotópicos de ^{18}O encontrados.

Sección 2. Se observa una incongruencia con respecto a la veta Santa Rosa, igualmente hacia el Este, en el nivel de la toma de la muestra. La veta Las jugadoras posee valores más altos que la veta Sheila que se encuentra aflorando en un nivel más alto. En este caso, la geología estructural muestra una falla post-mineral, de colapso hacia el Oeste que se desplaza al nivel superior de la veta Sheila, y mostrarla como la veta las Jugadoras.

Sección 3, íntegramente analizado en la zona de vectores mineralizados de la veta Consuelo, hay un fraccionamiento isotópico hacia cotas superiores, la veta Chosa Vieja, hacia el este en los niveles superiores, sugiere una gran continuidad hacia los niveles inferiores. Las perspectivas de profundización en el área elevan el potencial en la región.

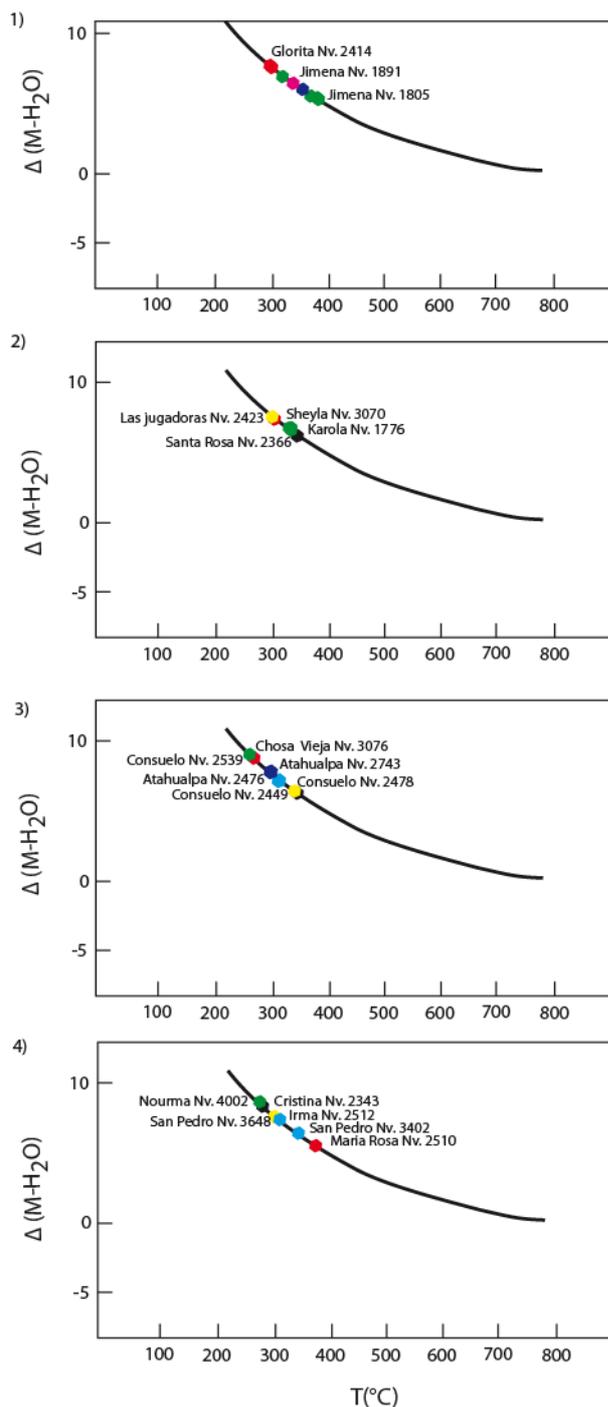


Figura 4. Sección ilustrativa de la evolución vertical de los fluidos, usando la partición isotópica (‰) de H_2O y el cuarzo, empleado por O'Neil (1986)¹¹.

Sección 4. En lo que corresponde a los niveles estudiados, hay una incongruencia con los valores mostrados en la zona oeste, esta es distorsionada por la roca caja. Hacia el Este dentro de una litología casi uniforme (diorita-tonalita) la evolución vertical de

los fluidos es muy notoria. Esto sugiere una gran profundización de órdenes kilométricas en el sector. Y a la fecha, en el nivel 2550 se viene interceptando la proyección de la veta San Pedro que aflora entre los 3400 a 3650 de cota.

CONCLUSIONES

El aporte de este estudio para el desarrollo de las exploraciones se manifiesta en lo siguiente:

- Modelar el yacimiento desde un punto de vista de origen magmático y extender las zonas de exploración a lo largo de la franja magmática del Permo-Carbomífero.
- Los filones se forman en estructuras de segundo, tercer orden y se prevé encontrar filones en las fallas longitudinales NNW y W-E,
- Se prevé una profundización de las estructuras por lo menos 1 km desde el límite inferior conocido,
- Con análisis eventuales de isótopos se controlaría el nivel de las estructuras y sus proyecciones,
- Al sur, al norte y al oeste del yacimiento los afloramientos permiten establecer la profundización de las estructuras por debajo de los niveles conocidos.

REFERENCIAS

1. C. Oré Sánchez, *Caractérisation et rôle des failles (E-W) sécantes dans le contrôle de la minéralisation aurifère à la mine Poderosa, Pataz, Pérou [Mémoire de Maîtrise]*, p.197 Québec, UQAC (2006)
2. D.W. Schreiber, L. Fontboté and D. Lochmann, *Economic Geology*, 85, 1328-1347 (1990)
3. S.M.F. Sheppard, *Geological Society, London, Special Publications*, 7, 25-41 (1977)
4. H.P. Jr. Taylor, *Economic Geology*, 69, 843-883 (1974)
5. A.W. Macfarlane, R.M. Tosdal, C.E. Vidal, and J. Paredes, *Economic Geology*, 7, 267-279. (1999)
6. Y. Haeberlin, R. Moritz, L. Fonbote and M. Cosca, *Economic Geology*, 99, 73-112 (2004)
7. Y. Haeberlin, R. Moritz, L. Fonbote and M. Cosca, *Economic Geology*, 99, 73-112 (2004)

8. C. Oré Sánchez, *Caractérisation et rôle des failles (E-W) sécantes dans le contrôle de la minéralisation aurifère à la mine Poderosa, Pataz, Pérou [Mémoire de Maîtrise]*, p.197 Québec, UQAC (2006)
 9. Y. Haeberlin, R. Moritz, L. Fonbote and M. Cosca, *Economic Geology*, 99, 73-112 (2004)
 10. G. Beaudoin and D. Pitre, *Mineralium Deposita*, 40, 59-75 (2005)
 11. J.R. O'Neil, *Review of Mineralogy*, 16, 1-40 (1986)
-