

Diseños y temperaturas de alteración hidrotermal en Mina Ángela, Comarca Nordpatagónica, Argentina

Daniela LAFONT², Leonardo STRAZZERE² y Daniel A. GREGORI^{1,2}

¹ CONICET

² Cátedra de Geología Argentina, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670, 8000 Bahía Blanca, Argentina. tel. 02914595101 int. 3030, E-mail: usgregor@criba.edu.ar

RESUMEN. En el yacimiento Mina Ángela se definieron tres diseños de alteración hidrotermal. El de menor temperatura fue generado por fluidos que circularon en forma paralela al contacto existente entre las andesitas brechosas y las coladas andesíticas. Las fallas y fracturas donde posteriormente se depositará la mena se hallarían cerradas. El segundo diseño, representado por la distribución de los minerales del grupo del caolín, indica una circulación preponderantemente descendente de los fluidos y un aumento en las condiciones de acidez de los mismos. En el diseño de mayor temperatura, ligado a la mineralización principal, la alteración hidrotermal transita de clorítica a potásica con aumento de la temperatura y cambios químicos en los fluidos. La circulación de éstos es típicamente ascendente.

Palabras clave: *Alteración hidrotermal, Temperaturas, Mina Ángela, Argentina*

ABSTRACT. *Hydrothermal alteration temperatures and designs at Mina Angela Mine, North Patagonian Massif, Argentina.* At Mina Angela, three patterns of hydrothermal alteration were defined. A lower temperature type was generated by fluid circulation parallel to the contact between andesitic breccias and lava flows. The faults and fractures where the ore was subsequently deposited would have been closed. The second type, represented by dispersed kaolin group minerals, indicates a preponderantly descending fluid circulation and an increase in acidity. In the higher-temperature type, which is bound up with the main mineralization, the hydrothermal alteration changes from chloritic to potassic with increasing temperature and chemical changes in the fluids. The fluid circulation was typically upward.

Key words: *Hydrothermal alteration, Temperatures, Angela Mine, Argentina*

Introducción

El yacimiento Mina Ángela es un depósito de Cu-Zn-Ag-Au-Pb, que se ubica a unos 100 km en dirección SSE de la localidad de Ing. Jacobacci y a unos 45 km en dirección NNE de la localidad de Gastre en la provincia de Chubut.

Entre los antecedentes sobre este yacimiento se pueden citar los trabajos fundamentales, de índole general, de Angelelli (1941, 1950) y Dessanti (1956) y aquellos más recientes, de naturaleza genética, entre los que se cuentan las publicaciones de Bassi y Rochefort (1979), Domínguez (1981), Bengochea *et al.* (1984), Gregori (1985), Varela (1990, 1994a, b), Varela *et al.* (1990), Wiechowski *et al.* (1990) y Varela y Gregori (1998).

Geologicamente, la zona corresponde al sector SO de la comarca nordpatagónica y se halla ubicada en un campo volcánico asignable a la Formación Taquetrén, de edad jurásica (Nullo y Proserpio 1975; Nullo 1978; Coira 1979).

Desde el punto de vista topográfico se reconocen suaves lomadas sobre las que destacan algunas serranías

de consideración, como el cerro de La Gotera, el cerro La Bandera y la sierra de Pire Mahuida.

En el yacimiento Mina Ángela se ha reconocido, en profundidad, una importante zonación de la alteración hidrotermal (Gregori 1985). Ésta también se desarrolla en superficie, pero con una manifestación menos evidente (Varela 1994a).

El estudio de numerosos campos geotermales activos, así como un gran número de yacimientos hidrotermales en el mundo (Helgeson 1968; Muffler y White 1969; McDowell y Elders 1980, 1983; Bird y Norton 1981) ha permitido establecer una concordancia entre la mineralogía de los filosilicatos y la temperatura, la composición del fluido y la profundidad de los citados sistemas.

En los depósitos hidrotermales y en aquellos de tipo porfírico, las micas y otros filosilicatos son producto de procesos de alteración hidrotermal y conforman fajas de alteración cuyos diseños son ampliamente reconocidos (Jacobs y Parry 1979). El estudio de estos diseños, así como las asociaciones de filosilicatos y sus composiciones, ha llevado a realizar predicciones útiles sobre

los parámetros químicos de los fluidos hidrotermales.

En el caso de los minerales del grupo de las cloritas se ha reconocido la relación entre su composición y las características químicas y mineralógicas de la roca original. Son útiles además por indicar las condiciones de los sistemas hidrotermales (alcalinidad-acidez, fugacidad de oxígeno y azufre).

En este trabajo se realiza un estudio petrológico, mineralógico y químico de los minerales del grupo de las micas y cloritas del yacimiento Mina Ángela con el objeto de evaluar las condiciones fisicoquímicas prevalentes durante la interacción de fluidos-roca de caja de este yacimiento.

Se presentan, además, diagramas ilustrativos de abundancia de minerales de alteración con el propósito de establecer los diseños de alteración hidrotermal y modelizar la circulación de los fluidos mineralizantes. Finalmente, se hacen comparaciones con la abundancia de minerales de mena y con diseños previos de circulación de fluidos.

Geología

Geología regional

La geología y estructura de la región de Gastre, Ingeniero Jacobacci y áreas vecinas fue establecida por Volkheimer (1965), Coira *et al.* (1975), Nullo (1978) y Coira (1979).

La columna se inicia con las rocas del basamento correspondientes a ectinitas, migmatitas y rocas graníticas, granodioríticas y tonalíticas, cuya edad se extiende desde el Precámbrico hasta el Neopaleozoico (Formaciones Cushamen, Mamil Choique y Lipetrén).

Con gran extensión y cubriendo las formaciones anteriores, se ubican las rocas de la Fm. Taquetrén (Nullo y Proserpio 1975) integrada por los miembros sedimentario, piroclástico, hipabisal y volcánico cuya edad fluctúa entre el Caloviano y el Valanginiano.

Sobre este último evento volcánico se depositan rocas de edad cretácica representadas por las Formaciones Angostura Colorada, Paso del Sapo y Lefipán; las dos primeras corresponden a ambientes continentales, mientras que la última representa un ambiente marino.

En el Terciario inferior se desarrolla un importante evento volcánico conocido como Fm. Huitrera cuya litología comprende andesitas, basaltos, riolitas traquitas, y tobas riolíticas.

Durante el Mioceno-Plioceno se depositan las tobas ácidas pertenecientes a la Fm. Collón Curá, diversas formaciones basálticas y niveles de pie de monte.

Geología del área de Mina Ángela

La geología del área de Mina Ángela está basada en los trabajos de Dessanti (1957), Bassi y Rochefort

(1979) y en observaciones propias de los autores.

En este sector se pueden reconocer dos tipos litológicos:

- El primero está constituido por rocas de composición intermedia, del ciclo efusivo de la Formación Taquetrén (Nullo 1978).

Litológica y mineralógicamente es posible diferenciar tres variedades de andesitas (Bassi y Rochefort 1979; Gregori, 1985), que afloran según el mapa adjunto (Fig. 1)

a) Se trata de diques y filones capas andesíticos de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa zonales y maclados según ley de Albita, en una pasta fina con microfenocristales de plagioclasas. Esta roca presenta autolitos de composición dacítica con una textura glomeroporfírica.

La alteración de la roca es muy variable y se observan cloritas, sericita y óxidos de hierro.

b) La segunda variedad se presenta bajo la forma de coladas y mantos. Se trata de una andesita de textura porfírica de grano fino con escasos fenocristales de plagioclasa, y abundante pasta constituida por tablillas de plagioclasas. La misma se altera a sericita, calcita, óxidos de Fe, montmorillonita y clorita. Los escasos fenocristales se encuentran fuertemente corroídos por la pasta y alterados a clorita, calcita y sericita.

c) La tercera variedad corresponde a andesitas brechosas. Estas rocas están conformadas por un componente clástico de hasta 5 cm de diámetro dentro de una matriz de composición andesítica. En la misma se reconocen fenocristales de andesina, alterados a epidoto. Los componentes clásticos son de composición andesítica.

- El segundo grupo se halla constituido por rocas de composición riolítica. El mismo está representado por diques de 5 a 20 m de potencia, que intruyen a las rocas de naturaleza intermedia y presenta un rumbo general NE.

Se trata de rocas de tonalidad clara, textura porfírica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa. Los primeros están corroídos por la pasta, presentando extinción ondulosa mientras que los feldespatos se encuentran alterados a sericita. Como mafito, se reconoce hornblenda, que presenta alteración hematítica. La pasta está conformada por cuarzo microcristalino.

Metodología de trabajo

El muestreo del yacimiento Mina Ángela incluyó la revisión completa de las labores subterráneas así como los afloramientos de las vetas y sectores diseminados en superficie. Las muestras fueron estudiadas mediante secciones delgadas y pulidas lo cual permitió caracterizarlas desde el punto de vista textural y mineralógico. Mediante difracción de rayos X se realizó un análisis semicuantitativo de los minerales tanto de alteración como de mena, para poder establecer la abun-

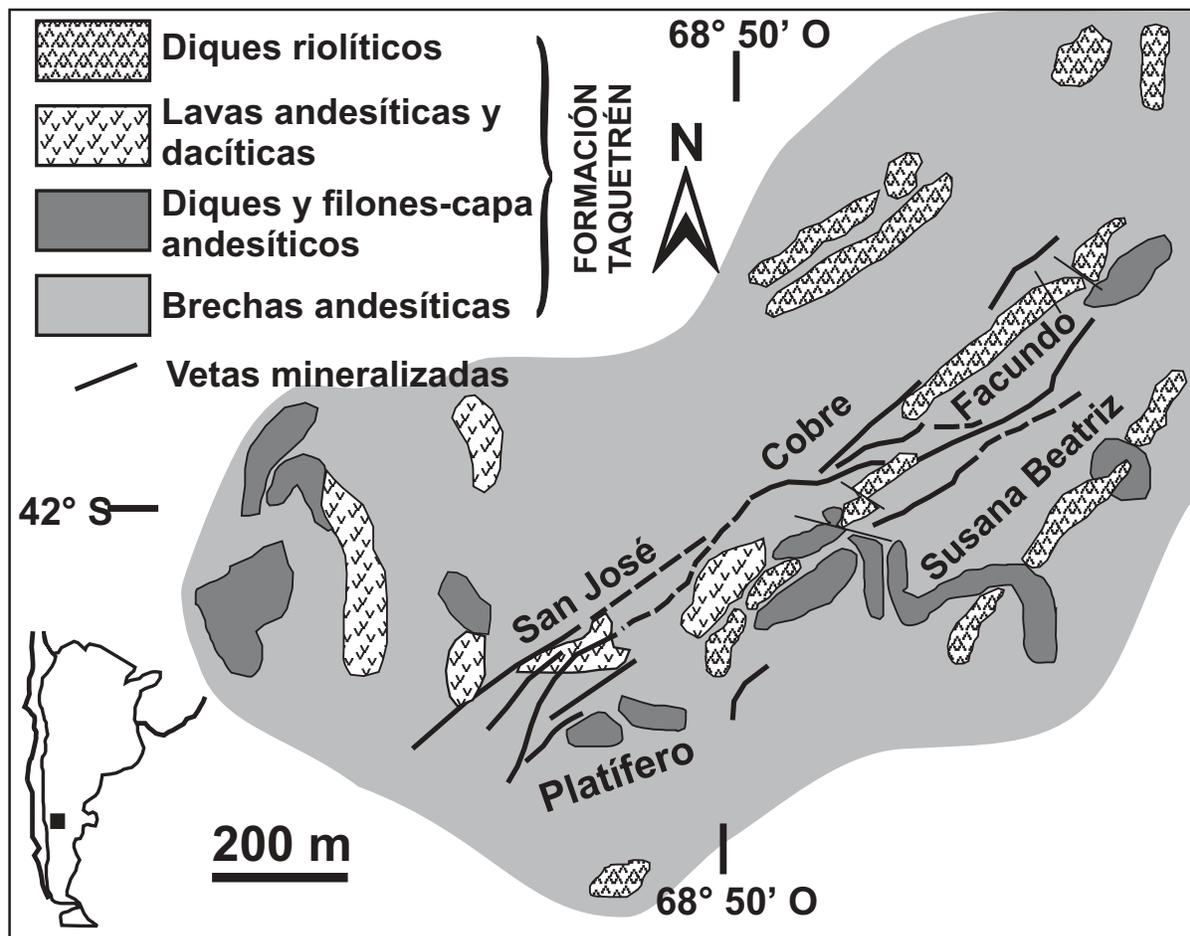


Figura 1: Bosquejo geológico del área de Mina Ángela, provincia del Chubut.

dancia de los mismos y los diseños de alteración. Se utilizó un equipo Rigaku-Denki con radiación de Cu empleándose la metodología de Brindley y Brown (1984).

Los análisis químicos de los minerales se efectuaron mediante microsonda electrónica. Las determinaciones fueron llevadas a cabo en los laboratorios de la Monash University (Victoria, Australia) utilizando condiciones standards de trabajo y patrones minerales internacionales. La relación Fe^{2+}/Fe^{3+} ha sido recalculada de manera tal de satisfacer las cargas catiónicas y aniónicas de la fórmula estructural de cada grupo mineralógico según el procedimiento de Foster (1962).

Resultados y discusión

Grupo de las micas

Características texturales

En el yacimiento Mina Ángela se pueden reconocer cuatro tipos texturales de micas:

I) Laminillas de reducido tamaño ($<10 \mu$) que cristalizan en los fenocristales, microfenocristales de plagioc-

clasa y en la pasta de la facies brechosa. Este tipo de alteración es muy abundante y se reconoce en todo el ámbito del yacimiento. En algunos sectores esta alteración se difunde a través de la roca mediante microvenillas junto con cuarzo microcristalino. Por sus características texturales y su tamaño, este mineral se asigna a sericita. Esta mica se asocia a clorita, ceolitas, pumpellita, pirita euhedral, montmorillonitas y hematita finamente diseminada, conformando el tipo de alteración más desarrollado.

II) Láminas de tamaño medio (entre 20 y 50 μ), que cristalizan junto a cuarzo en venillas ligeramente deformadas. Se asocian a pirrotina, pirita, adularia, apatito, láminas de tamaño medio de hematita y esfalerita con intercrecimiento de calcopirita. Por sus características texturales y su tamaño clasifica como muscovita.

III) Láminas de hasta 40 μ de largo, que presentan un crecimiento perpendicular a la pared de las venillas, donde la mica representa el 80 %. Se encuentran asociadas a cuarzo, epidoto, turmalina y titanita. Su color varía desde el verde pálido a incoloro y corresponderían a muscovita. Además, se reconoce una mica de fuerte pleocroísmo dentro de la gama de los marrones que clasifica como biotita.

IV) Cristales cuyo tamaño oscila entre 50 y 100 μ , distribuidos aleatoriamente en la pasta de la facies brechosa. En general son de forma subhedral a anhedral, y se encuentran fuertemente corroídos por cuarzo microcristalino. Un grupo de estos cristales, presenta características típicas de la muscovita, mientras que otro corresponde a biotitas. Dentro de las características ópticas que permitieron determinar a este último, cabe destacar el notorio pleocroísmo, que varía entre verde oliva y pardo oscuro. Estas micas se asocian a esfalerita, calcopirita, adularia, pirrotina, pirita y cuarzo.

Clasificación química

Con el objeto de realizar una correcta diferenciación entre los minerales del grupo de las micas y de las cloritas se graficaron los datos de análisis químicos en un diagrama AFK donde $A = Al_2O_3 - (K_2O + Na_2O + CaO)$; $F = (FeO + MgO + MnO + TiO_2)$ y $K = K_2O + Na_2O$ de la figura 2.

De la misma se desprende la presencia de tres grupos diferenciados.

El grupo I se ubica en el campo limitado por A: 30-41, F: 40-60 y K: 5-15. Se trata de un campo composicional pequeño, siendo los valores de Fe y Mg relativamente altos mientras que los de K y Na son bajos. La fórmula química de estos minerales indica que se tratan de micas trioctaédricas.

El grupo II está conformado por aquellas muestras que se ubican entre A: 40-60; F: 20-50 y K: 10-40. Este conjunto representa sólo el 17% de las muestras graficadas. Se ubican entre las micas dioctaédricas y las trioctaédricas y mineralógicamente corresponden a micas di-trioctaédricas.

El último grupo comprende al conjunto localizado entre A: 50-75, F: 0-20 y K: 20-40. En general los análisis se encuentran bien agrupados con algunos valores que tienden hacia el vértice A. Los altos valores de A indican que este conjunto representa micas dioctaédricas.

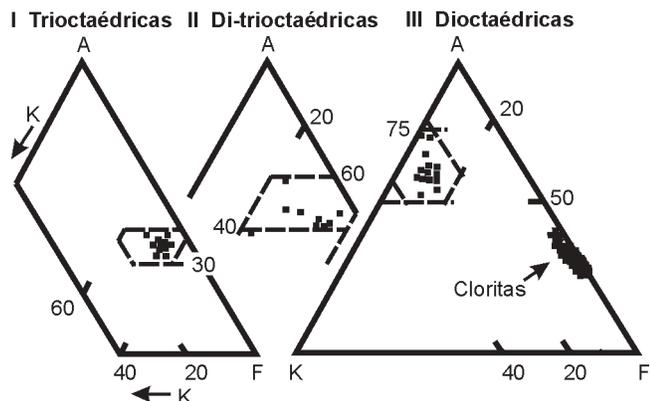


Figura 2: Diagramas AFK que muestran la diferencia entre las micas trioctaédricas, dioctaédricas y cloritas.

Las cloritas se concentran sobre el borde A-F, con valores de A entre 20 y 45.

a) *Micas trioctaédricas*: En el diagrama de Foster (1960) que se utiliza para clasificar biotitas, las muestras de Mina Ángela grafican en el campo de la flogopita y meroxeno (Fig. 3) En este gráfico se reconoce una tendencia al incremento de Fe con el aumento de la profundidad a la cual fueron extraídas las muestras.

Con el propósito de establecer la temperatura de cristalización de estos minerales, se utilizaron los datos de Al^{IV} y las temperaturas de cristalización de las biotitas hidrotermales obtenidas por McDowell y Elders (1980), en el campo geotermal Salton Sea. La relación entre estos parámetros permitió definir una función lineal, que fue empleada para estimar la temperatura de la alteración potásica.

En el caso de Mina Ángela, se dispone de 16 análisis de microsonda, los cuales corresponden a 4 perfiles. Dos de ellos se ubican en el sector Platífero, mientras que los restantes lo hacen en el sector Cobre.

El Perfil 2 se halla en el Sector del rajo 141, Chimenea 139, a unos 10 metros por arriba de P3. Este último se localiza en la unión entre el nivel 20 y la Chimenea 140. El P11 se encuentra en el nivel 30 del Sector Cobre, mientras que el P12 se ubica en la unión entre la Chimenea 201 y el nivel 60.

Las temperaturas medias, calculadas utilizando la función arriba mencionada, junto a los análisis de microsonda, se muestran en el Cuadro 1.

La escasez de datos impide graficar el gradiente térmico en todo el yacimiento, pero a pesar de ello podemos observar un rango de temperaturas, variable entre los 343 y 398 °C.

b) *Micas dioctaédricas*: La muscovita $K(Al^{VI})(Si_3Al^{IV})O_{10}(OH,F)_2$ puede presentar sustituciones del tipo $Al^{VI} + Al^{IV} = (Fe^{2+}, Mg)^{VI} + Si^{IV}$, lo cual se expresa mediante una solución sólida que involucra dos miembros extremos, muscovita ideal y celadonita, $(Fe,Mg)(Si_4)O_{10}OH_2$. Esta solución sólida ha sido deno-

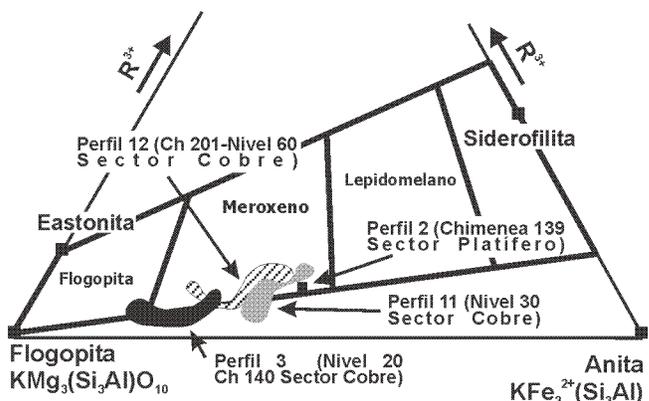


Figura 3: Diagrama de Foster (1960) para la clasificación de las micas trioctaédricas del grupo de las biotitas.

Cuadro 1: Análisis químicos y temperaturas de cristalización de las micas trioctaédricas.

Muestra N	11151-3	16154-11	16154-12	16154-13	16154-9	16154-10	61151-3	61151-7	61152-9	61151-4	6815b1-3	68153-10	68153-9	6815b1	68153-8	6815b1-2
Perfil	2	3	3	3	3	3	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12
SiO ₂	37,27	40,79	39,46	36,27	37,39	43,26	45,22	36,83	42,77	37,12	33,82	35,83	38,96	36,92	40,22	43,39
TiO ₂			0,08				0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,12	0,30			0,11
Al ₂ O ₃	24,85	25,88	25,48	24,57	26,52	26,87	28,76	24,09	27,63	24,39	24,63	25,54	25,29	26,78	22,38	29,90
FeO	22,73	17,53	18,89	23,17	20,46	10,21	8,37	14,56	11,01	12,96	20,53	20,53	13,97	19,68	17,39	13,74
MnO	3,46	2,90	3,57	4,58	3,93	1,60	1,11	2,69	17,30	2,16	3,46	3,13	2,47	3,59	3,15	2,16
MgO	4,88	4,64	4,78	6,09	4,68	1,94	5,49	9,09	53,10	7,78	6,71	5,71	4,67	6,67	6,07	4,61
CaO	0,15	0,12	0,12	0,10	0,09	0,13	0,14	0,17	0,06	0,12	0,10	0,07	3,36	0,07	0,17	0,10
Na ₂ O	0,83	0,24	0,27	0,35	0,37		0,60	0,91	0,61	0,57		0,26	0,36	0,23	0,77	0,18
K ₂ O	2,84	5,90	5,36	3,66	4,73	8,46	6,91	3,41	56,90	4,43	3,62	4,25	5,63	4,24	1,65	6,78
Total	97,01	98,00	98,01	98,79	98,17	92,47	96,69	91,84	94,91	89,63	92,99	95,44	95,01	98,18	91,80	100,97
Si	5,45	5,77	5,64	5,28	5,39	6,25	6,21	5,48	5,98	5,62	5,17	5,31	5,66	5,29	5,97	5,08
Ti			0,01				0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03			0,01
Al	4,28	4,32	4,29	4,22	4,51	4,57	4,58	4,23	4,55	4,35	4,44	4,46	4,33	4,52	3,91	4,70
Fe ²⁺	2,77	2,07	2,25	2,82	2,46	1,23	0,94	1,81	1,28	1,64	2,65	2,54	1,69	2,35	2,15	1,53
Mn	0,43	0,35	0,43	0,57	0,48	0,20	0,13	0,34	0,21	0,28	0,45	0,39	0,30	0,44	0,40	0,25
Mg	1,06	0,97	1,01	1,32	1,00	0,41	1,10	2,01	1,10	1,75	1,52	1,26	1,01	1,42	1,34	0,91
Ca	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,52	0,01	0,03	0,01
Na	0,24	0,07	0,08	0,10	0,10		0,16	0,26	0,17	0,17		0,08	0,10	0,06	0,22	0,05
K	0,53	1,07	0,98	0,68	0,87	1,56	1,19	0,65	1,01	0,86	0,71	0,80	1,04	0,78	0,31	1,16
Sumatoria de cationes	14,79	14,64	14,73	15,00	14,84	14,25	14,26	14,84	14,33	14,70	14,95	14,88	14,71	14,87	14,34	14,44
T °C	381	365	372	389	384	343	344	379	355	373	394	387	371	388	356	398

No se han realizado determinaciones de volátiles

minada genéricamente como fengita (Ernst, 1963).

Una segunda sustitución del tipo $K + Al^{IV} = Si^{IV} +$ vacancias de intercapas, se inscribe como una solución sólida entre muscovita y pirofilita. En general esta solución sólida se denomina illita, haciéndose extensivo este nombre a la solución sólida entre celadonita, muscovita y pirofilita. (Weaver y Pollard 1975; Hower y Mowatt 1966).

Cuando los valores de los análisis químicos (Cuadro 2) se grafican en el diagrama de Hower y Mowatt (1966) pueden reconocerse (Fig. 4) como límites extremos Mu: 60-75 Ce: 5-30 y Pi: 45-15. Esta composición indica que gran parte de las muestras analizadas corresponden químicamente a montmorillonitas cuyos valores de capas expandibles oscila entre un 0 y un 20%.

El análisis de la figura 4 muestra una disminución progresiva del porcentaje de capas expandibles (10 %), desde los perfiles 14 (Nivel 60, Platífero) y 9 (Subnivel 201, Cobre) hacia los perfiles 16 (Nivel 90, Cobre) y 3 (Nivel 20, Platífero) donde se reconoce la presencia de sericita pura, pasando por valores intermedios en el perfil 11 (Nivel 30, Cobre) y el perfil 12 (Nivel 60, Cobre) con valores oscilantes entre 0 y 5 % de capas expandibles. Esta tendencia ha sido graficada en la figura 5, donde se representa además la variación del componente muscovítico con respecto a la profundidad.

Una evolución similar pero más marcadas fueron reconocidas por McDowell y Elders (1980) en el campo geotermal Salton Sea, California. En el mismo se observa un cambio sistemática del componente muscovítico con la temperatura y profundidad de cristalización. Diagramados los datos de Mina Ángela en el

gráfico Muscovita-Pirofilita-Celadonita (Fig. 4), donde se volcaron los datos de McDowells y Elders (1980, 1983), se advierten que las micas dioctaédricas cristalizaron a temperaturas fluctuantes entre 230° y 270°C.

Grupo de las cloritas

Características texturales

Dos tipos de texturas principales pueden ser reconocidos en Mina Ángela. El primer tipo, y más abundante corresponde a cloritas ligadas al proceso de alteración hidrotermal, constituyendo una asociación junto a montmorillonita y ocasionalmente minerales del grupo de la serpentina.

Las cloritas aparecen generalmente como grupos arriñonados donde no se pueden identificar láminas individuales. Estas formas subcirculares reemplazan litoclastos de la andesita brechosa de la roca de caja. Los conjuntos tienen color verde oscuro, con fuerte pleocroísmo. Se observan variaciones tanto en el color del mineral como en el pleocroísmo. Gregori (1985) consideró que estos cambios se encuentran relacionados con cambios en la fugacidad de O₂ durante la etapa de alteración, ya que algunas cloritas forman una paragénesis con hematita-pirita y otras con magnetita-pirita.

El segundo tipo textural es menos abundante y se asocia al proceso de mineralización hidrotermal de Mina Ángela. En general se presenta en venillas junto con cuarzo, pirita, esfalerita, galena, etc, bajo formas

Cuadro 2: Análisis químicos de las micas dioctaédricas.

Muestra No.	11151-5	61152-19	6815b1-4	68152-1	68152-2	681522	681523	86151-1	86151-2	86151-3	86151-4	861511	86152-10	86152-11	86152-12	8615-14
Perfil	2	11	12	12	12	12	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16
SiO ₂	45,49	51,03	46,33	51,05	53,05	46,25	52,81	47,51	51,35	51,45	52,21	51,62	51,86	53,64	53,33	52,21
TiO ₂	1,5	0,07	0,18			0,13	0,23	0,24	0,12	0,11	0,09	0,14	0,08	0,14	0,23	0,09
Al ₂ O ₃	25,95	30,88	28,95	33,51	32,51	29,44	32,67	30,65	32,33	33,02	32,78	32,55	34,83	34,2	33,26	32,78
FeO	2,74	2,79	3,24	2,21	2,21	2,31	1,98	2,11	2,19	2,01	2,22	2,54	1,49	2,59	2,92	2,22
MnO	0,1		0,12	0,16	0,16	0,17	0,21		0,09	0,21					0,08	
MgO	2,63	0,85	0,84	0,91	0,91	0,44	0,86	0,59	0,72	0,66	0,72	0,37	0,49	0,38	0,42	0,72
CaO	1,11		0,06			0,22	0,17	0,16					0,07		0,09	
Na ₂ O	1,78		0,28	0,23	0,23	0,78	0,41	0,39	0,41	0,49	0,52	0,15	0,31	0,15		0,51
K ₂ O	9,54	9,66	10,29	9,94	10,94	10,36	10,65	10,37	10,78	10,67	10,69	10,64	10,87	10,84	11,01	10,69
Total	90,84	95,28	90,29	98,01	100,01	90,1	99,99	92,02	97,99	98,62	99,23	98,01	100	101,94	101,34	99,22
Si	6,48	6,74	6,57	6,55	6,7	6,65	6,66	6,55	6,63	6,59	6,64	6,65	6,53	6,63	6,66	6,64
Ti	0,16	0,01	0,02			0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Al	4,35	4,8	4,84	5,07	4,84	4,92	4,86	4,98	4,92	4,99	4,92	4,94	5,16	4,98	4,89	4,92
Al ^{IV}	1,52	1,26	1,43	1,45	1,3	1,35	1,34	1,45	1,37	1,41	1,36	1,35	1,47	1,37	1,34	1,36
Al ^{VI}	2,83	3,54	3,41	3,62	3,54	3,57	3,52	3,53	3,55	3,58	3,56	3,59	3,69	3,61	3,55	3,56
Fe ²⁺	0,3	0,31	0,38	0,24	0,23	0,27	0,21	0,24	0,24	0,22	0,24	0,27	0,16	0,27	0,31	0,24
Mn	0,01		0,01	0,02	0,02	0,02	0,02		0,01	0,02					0,01	
Mg	0,56	0,17	0,18	0,17	0,17	0,09	0,16	0,12	0,14	0,13	0,14	0,07	0,09	0,07	0,08	0,14
Ca	0,17		0,01			0,03	0,02	0,02					0,09		0,01	
Na	0,49		0,08	0,06	0,06	0,22	0,1	0,1	0,1	0,12	0,13	0,04	0,08	0,04		0,13
K	1,73	1,62	1,86	1,62	1,76	1,87	1,71	1,82	1,77	1,74	1,73	1,85	1,74	1,71	1,75	1,73
Sumatoria de cationes	14,29	13,66	13,96	13,75	13,79	14,01	13,79	13,89	13,83	13,83	13,82	13,75	13,79	13,73	13,74	13,81

No se han realizado determinaciones de volátiles

euhedrales a subhedrales. El pleocroísmo es menor que el observado en el primer tipo. Su composición química fue establecida mediante microsonda electrónica.

Clasificación química de las cloritas

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de 39 análisis químicos de cloritas del segundo tipo. Los minerales del primer tipo son de dimensiones tan pequeñas que los valores de sus análisis químicos podrían contaminarse con los minerales vecinos, por lo cual no fueron analizados. Representados en el diagrama de Hey (1954) la composición química varía entre ripidolita y pyncoclorita, ubicándose la mayor parte de los análisis en el primer campo (Fig. 6). En cuanto a las variaciones composicionales, podemos decir que en el caso de las muestras pertenecientes al sector Cobre se reconoce un ligero aumento de Fe^I desde los niveles superficiales hacia los más profundos, lo cual posiblemente se relacione con cambios en la temperatura, fugacidad de O₂ de los fluidos mineralizantes y composición de la roca hospedante.

Por el contrario en el sector Platífero los valores de Fe^I son más altos en los niveles subsuperficiales y disminuyen en profundidad. Una posible explicación es una inversión en los perfiles de la temperatura de cristalización (Varela y Gregori 1998).

Debido a las variaciones químicas de estos minerales y a la posible inversión de la temperatura en el yacimiento se consideró apropiado utilizar las cloritas como geotermómetros.

Geotermometría

Con el propósito de establecer las temperaturas de cristalización de las cloritas se usaron los geotermómetros propuestos por Cathelineau (1988) y Jowett (1991). El primer autor estableció la relación existente entre el contenido de Al^{IV} y la temperatura de cristalización de las cloritas, basándose en análisis químicos e inclusiones fluidas de muestras pertenecientes al ya-

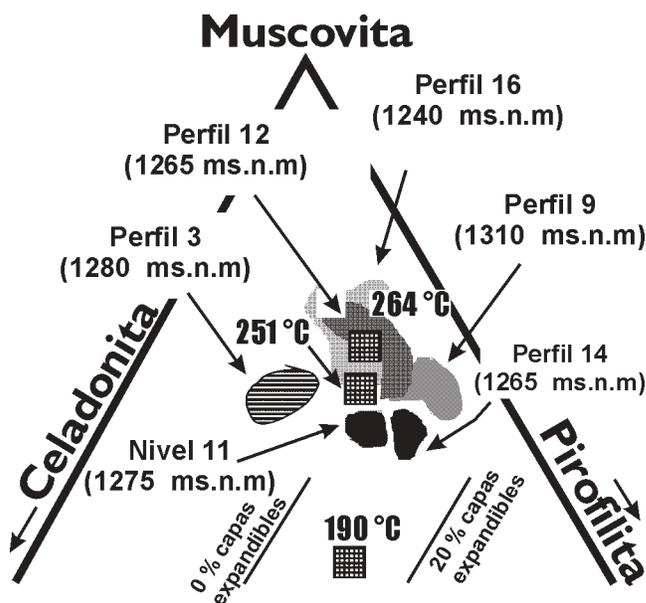


Figura 4: Gráfico de Hoyer y Mowatt (1966) que discrimina entre las sericitas y las micas con cationes de intercapa.

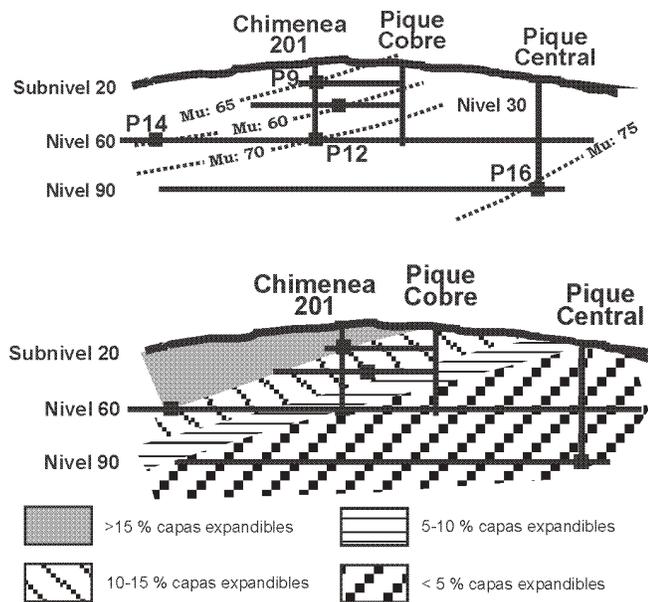


Figura 5: Corte NE-SO del sector norte de Cobre, mostrando las variaciones en profundidad del componente muscovítico y de los porcentajes de capas expandibles de las micas dioctaédricas.

cimiento Los Azufres (México). Esta relación se puede expresar por medio de la ecuación: $T = -61.92 + 321.98 Al^{IV}$.

Varios autores sugirieron modificaciones a la expresión anteriormente mencionada.

Jowett (1991) propuso una corrección de la ecuación arriba indicada, tomando en cuenta la abundancia de Fe y Mg en las posiciones octaédricas. El efecto de esta abundancia sobre el Al^{IV}_c resulta en la siguiente ecuación: $T = 319 Al^{IV}_c - 69$, donde $Al^{IV}_c = Al^{IV} + 0.1 (Fe/[Fe+Mg])$. Se debe destacar que las temperaturas obtenidas con este geotermómetro son sólo de carácter indicativo, ya que parámetros tales como la fugacidad de oxígeno y el pH de las soluciones hidrotermales pueden influir en los valores de Fe/Fe+Mg.

En el Cuadro 3 se presentan las temperaturas obtenidas por los geotermómetros descritos anteriormente, que oscilan entre 231° y 418°C. Los valores se superponen parcialmente con las temperaturas obtenidas a partir de las biotitas y con aquellas obtenidas mediante mediciones de inclusiones fluidas por Varela y Gregori (1998).

Abundancia y distribución de los minerales de alteración

Con el objeto de establecer la abundancia y distribución de los minerales de alteración en el yacimiento Mina Ángela, se analizaron 89 muestras por medio de difracción de rayos X. La abundancia relativa de los mismos fue estimada mediante el método de Brindley y Brown (1984) utilizando para ello mezclas

sintéticas que incluyen caolinita, adularia, beidellita, calcita, cuarzo, etc.

La distribución de la alteración propilítica ha sido parcialmente establecida mediante el análisis de montmorillonita y calcita. En el caso de la montmorillonita (Fig 7a) se nota un aumento del contenido de este mineral en la zona del Pique Cobre, hacia la superficie, alcanzando valores de 5%. Por el contrario, en el sector Platífero se observa una disminución hacia la superficie. Es llamativo, asimismo, el diseño concéntrico ubicado entre el nivel 70 y el nivel 20, con un valor máximo en el nivel 50 a la altura de la chimenea 155.

Este esquema permite inferir que los fluidos se han movilizado en forma pseudo paralela a las coladas andesíticas, con escasa participación de fluidos ascendentes o descendentes a lo largo de las zonas de fallas o vetas.

Las curvas correspondientes a la abundancia de la calcita (Fig. 7b) presentan un diseño similar al de las montmorillonitas en el sector centro-sur, donde los máximos muestran una buena concordancia. En el sector norte se observa un progresivo incremento desde el Pique Central hacia el Pique Cobre. Un máximo importante se ubica en el extremo norte de Cobre y se extiende hacia la conexión con Susana Beatriz. Aquí los valo-

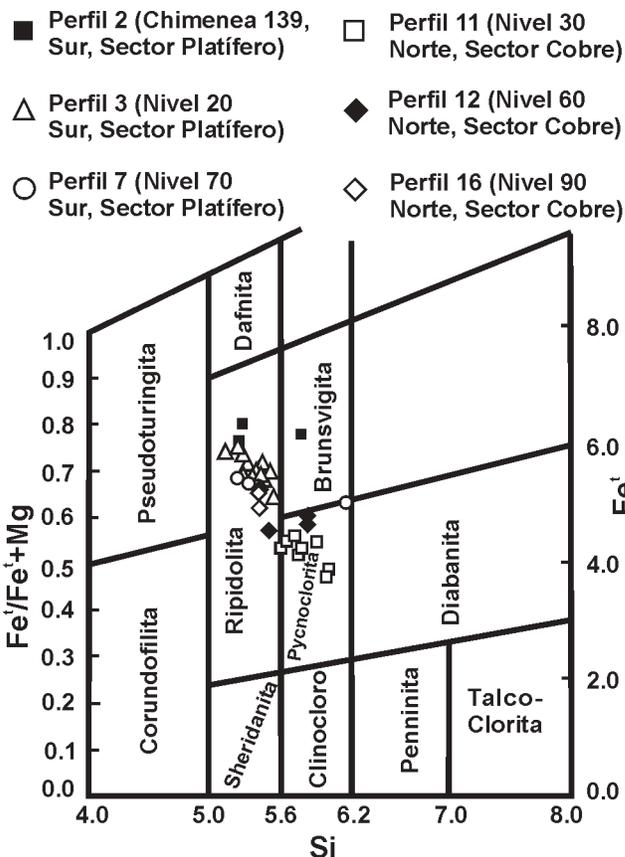


Figura 6: Composición química de las cloritas representadas en un diagrama de Hey (1954).

Cuadro 3: Análisis químicos y temperaturas de cristalización de las cloritas.

Sample No.	11151 1 f	11151 2	11151 4	14151-1	14151-2	14151-3	14151-4	14152-5	14152-6	14152-7	14152-8	14152-9	14153-10
Perfil	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SiO ₂	25,17	24,12	29,02	23,13	26,41	26,37	26,71	27,26	26,73	26,54	26,89	26,50	26,27
TiO ₂		0,08			0,15	0,13	0,09	0,08			0,11	0,07	0,11
Al ₂ O ₃	21,04	20,39	19,88	18,46	20,65	21,05	23,04	21,40	21,56	20,41	22,03	21,72	19,97
Fe ₂ O ₃	3,02	0,60		3,33	2,94	2,60			1,03	1,60	1,31	1,49	4,31
FeO	33,94	36,00	35,45	27,08	30,69	32,53	36,79	32,89	33,04	30,86	32,27	29,59	27,65
MnO	4,86	4,41	4,72	5,62	6,36	6,49	5,90	5,47	6,42	6,21	6,50	4,85	5,75
MgO	6,55	5,63	4,53	7,96	9,67	8,55	7,28	8,19	8,73	8,80	8,50	10,73	8,71
CaO	0,17	0,14	0,16	0,09		0,19	0,14	0,09		0,06	0,05		0,15
Na ₂ O	0,54		0,36	0,32	0,22	0,17	0,46	0,56	0,31	0,43	0,54	0,38	1,06
K ₂ O	0,05							0,06					0,18
Total	95,34	91,37	98,84	85,99	97,09	98,08	100,41	96,00	97,82	94,91	98,20	95,33	94,16
Si	5,26	5,30	5,76	5,29	5,34	5,32	5,29	5,55	5,38	5,48	5,37	5,36	5,44
Ti		0,01	0,70		0,02	0,02	0,01	0,01			0,02	0,01	0,02
Al	5,18	5,28	4,66	4,98	4,92	5,00	5,37	5,14	5,11	4,97	5,19	5,18	4,88
Fe ³⁺	0,48	0,10		0,57	0,45	0,39			0,16	0,25	0,20	0,23	0,67
Fe ²⁺	5,93	6,61	5,88	5,18	5,19	5,48	6,09	5,60	5,56	5,33	5,39	5,01	4,79
Mn	0,86	0,82	0,79	1,09	1,09	1,11	0,99	0,94	1,09	1,09	1,10	0,83	1,01
Mg	2,04	1,84	1,34	2,72	2,91	2,57	2,15	2,49	2,62	2,71	2,53	3,24	2,69
Ca	0,04	0,03	0,03	0,02		0,04	0,03	0,02		0,01	0,01		0,03
Na	0,22		0,14	0,14	0,09	0,07	0,18	0,22	0,12	0,17	0,21	0,15	0,43
K	0,01							0,02					0,05
Sumatoria de cationes	20,03	19,99	19,29	20,00	20,00	20,00	20,10	19,99	20,05	20,00	20,02	20,00	20,00
T°C (Cathelineau)	379	374	300	374	368	371	376	333	360	345	361	363	350
T°C (Jowett)	392	388	316	384	377	382	388	344	371	356	372	371	360

Sample No.	14153-11	14153-12	14154-13	14154-14	14154-15	1415-14	34151-4	34154-5	34154-6	34154-7	61152-8	61152-10	61152-11
Perfil	3	3	3	3	3	3	7	7	7	7	11	11	11
SiO ₂	26,91	24,42	26,97	26,87	27,05	25,6	28,02	23,28	25,75	26,41	28,41	28,26	31,22
TiO ₂		0,13	0,09			0,09		0,08		0,07	0,96	0,34	0,52
Al ₂ O ₃	19,88	19,28	21,18	21,07	21,49	23,94	20,47	18,96	21,22	21,2	22,7	21,67	25,74
Fe ₂ O ₃	2,03	3,45	1,47	1,7	0,89	2,29		2,83	2,12	1,45			
FeO	28,9	30,31	31,79	31,69	32,25	33,58	24,47	28,16	30,13	30,04	23,09	23,17	18,91
MnO	4,99	5,77	6,53	6,32	6,2	5,89	4,69	5,51	6,1	5,98	5,05	4,41	4,39
MgO	10,57	7,6	8,54	9,13	8,58	7,25	5,98	7,94	9,1	9,45	11,25	9,79	9,57
CaO	0,12	0,1			0,16	0,14	0,09	0,28	0,13	0,62		0,05	0,54
Na ₂ O	0,51	0,33	0,46	0,32	0,43	0,45		0,18	0,28	0,29	0,47	0,47	1,38
K ₂ O	0,04		0,08				1,85				0,07	0,89	0,19
Total	93,96	91,39	97,11	97,1	97,05	99,23	85,57	87,22	94,83	95,51	92	89,05	92,46
Si	5,54	5,3	5,45	5,43	5,46	5,09	6,19	5,26	5,31	5,39	5,71	5,9	6,05
Ti		0,02	0,01			0,01		0,01		0,01	0,15	0,05	0,08
Al	4,82	4,93	5,05	5,01	5,11	5,62	5,33	5,05	5,16	5,1	5,38	5,33	5,88
Fe ³⁺	0,31	0,56	0,22	0,26	0,14	0,34		0,48	0,33	0,22			
Fe ²⁺	4,97	5,5	5,37	5,35	5,44	5,59	4,52	5,32	5,2	5,12	3,88	4,05	3,06
Mn	0,87	1,06	1,12	1,08	1,06	0,99	0,88	1,05	1,07	1,03	0,86	0,78	0,72
Mg	3,24	2,46	2,57	2,75	2,58	2,15	1,97	2,67	2,8	2,87	3,37	3,05	2,76
Ca	0,03	0,02			0,04	0,03	0,02	0,07	0,03	0,14		0,01	0,11
Na	0,2	0,14	0,18	0,13	0,17	0,17		0,08	0,11	0,12	0,18	0,19	0,52
K	0,01		0,02				0,52				0,02	0,24	0,05
Sumatoria de cationes	20	20	20	20	19,99	20	19,41	20	20	19,99	19,55	19,59	19,22
T°C (Cathelineau)	328	373	349	353	347	407	231	379	371	360	307	276	254
T°C (Jowett)	336	384	359	364	358	418	244	389	381	369	313	284	260

No se han realizado determinaciones de volátiles.

Cuadro 3: Continuación.

Sample No.	61152-12	61152-13	61152-14	61152-15	61152-16	68153-5	68153-6	68153-7	86151-8	86151-9	86153-13	86153-14	86153-15
Perfil	11	11	11	11	11	12	12	12	16	16	16	16	16
SiO ₂	29,96	25,03	25,22	24,22	26,14	29,84	25,00	25,69	26,94	25,56	25,37	26,76	25,87
TiO ₂	0,49	0,46	0,25	0,40	0,57	0,12	0,23	0,07					
Al ₂ O ₃	23,19	17,58	19,35	16,89	19,40	23,37	20,33	20,70	22,17	21,24	20,35	21,49	21,04
Fe ₂ O ₃		0,75									2,39	1,53	1,30
FeO	20,31	23,09	22,91	23,84	22,30	27,19	22,04	26,36	29,83	29,71	27,32	28,04	30,00
MnO	4,15	5,48	5,52	5,30	5,78	4,73	3,74	5,10	7,17	7,00	5,67	5,68	6,51
MgO	9,49	12,00	10,72	10,51	10,50	9,13	7,83	10,33	9,02	8,16	7,86	10,32	8,40
CaO	0,20	0,17	0,21	0,13	0,12		0,14	0,07	0,07	0,05	0,05	0,10	0,07
Na ₂ O	0,77	0,33	0,43	0,25	0,36	0,30	0,32	0,31	0,35	0,19	0,96	0,69	0,40
K ₂ O	1,14	0,07	0,19	0,09	0,66	1,44	0,96				0,30		0,10
Total	89,70	84,96	84,80	81,63	85,83	96,12	80,59	88,63	95,55	91,91	90,27	94,61	93,69
Si	6,08	5,60	5,62	5,68	5,74	5,85	5,80	5,52	5,47	5,43	5,47	5,44	5,40
Ti	0,08	0,08	0,04	0,07	0,09	0,02	0,04	0,01					
Al	5,55	4,64	5,08	4,67	5,02	5,40	5,56	5,25	5,30	5,32	5,17	5,15	5,18
Fe ³⁺		0,13									0,39	0,23	0,20
Fe ²⁺	3,45	4,32	4,27	4,67	4,09	4,46	4,28	4,74	5,06	5,28	4,92	4,77	5,24
Mn	0,71	1,04	1,04	1,05	1,08	0,79	0,74	0,93	1,23	1,26	1,04	0,98	1,15
Mg	2,87	4,01	3,56	3,67	3,44	2,67	2,71	3,31	2,73	2,58	2,52	3,13	2,62
Ca	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03		0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
Na	0,30	0,14	0,19	0,11	0,15	0,11	0,14	0,13	0,14	0,08	0,40	0,27	0,16
K	0,30	0,02	0,05	0,03	0,19	0,36	0,28				0,08		0,03
Sumatoria de cationes	19,37	20,02	19,91	19,99	19,83	19,66	19,59	19,91	19,95	19,95	19,99	20,00	19,99
T°C (Cathelineau)	247	324	321	313	302	284	292	337	347	353	347	350	357
T°C (Jowett)	255	330	328	320	309	294	301	345	357	364	357	359	367

No se han realizado determinaciones de volátiles.

res alcanzan a un máximo del 10%. Hacia el extremo sur del yacimiento, la abundancia de calcita se hace más relevante. El diseño indica, al igual que en el caso de la montmorillonita, circulación de fluidos a lo largo de un plano pseudohorizontal, localizado en las inmediaciones del nivel 50, según una dirección perpendicular al gráfico. Hay que destacar que en la zona de Mina Ángela las coladas y niveles tobáceos de la Formación Taquetrén prácticamente no han sido disturbados tectónicamente.

La alteración arcillosa está representada por los minerales del grupo del caolín (Fig. 7c).

En el sector norte, en la conexión Cobre-Susana Beatriz los máximos se localizan cerca de la superficie. Algo más al sur aparecen bajo la forma de una cuña que se extiende desde los niveles más profundos, en el Pique Central hacia los niveles más superiores, en la Chimenea 201.

En el sector Platífero se reconoce un máximo que cruza diagonalmente el yacimiento desde los niveles más profundos (SO) hacia la superficie (NE).

La alteración potásica, representada por la abundancia de adularia (Fig. 7d) evidencia la existencia de un máximo, con valores de hasta el 20 % que se extiende en forma diagonal desde el nivel 90 hasta el nivel 30, entre el Pique Central y el Pique Cobre. Desde allí los valores decrecen tanto hacia el norte como hacia el sur.

Conclusiones

Del análisis de las temperaturas de cristalización de las micas y cloritas, obtenidas mediante los geotermómetros y su comparación con los valores de cristalización de los minerales arcillosos en el campo geotermal de Salton Sea se puede reconocer la presencia de tres etapas térmicas, parcialmente sobreimpuestas, en la evolución del proceso de alteración hidrotermal en Mina Ángela.

-La etapa de menor temperatura fue registrada por las fengitas y corresponde a temperaturas que varían entre 230-270 °C.

-La etapa marcada por la cristalización de las cloritas con un promedio de temperatura de 330°C.

-Finalmente una etapa de mayor temperatura, correspondiente a la cristalización de las biotitas, con temperaturas que se extienden entre los 343° y 398°C.

Las temperaturas medias y altas de cristalización abarcan rangos térmicos similares. Esto permite suponer la existencia de un proceso continuo que se desarrollaría desde la etapa 2 a la 3 con un cambio en la composición química del fluido mineralizante. Ello produciría variaciones en las composiciones químicas que cambian desde relativamente ricas en Al, Fe y Mg (cloritas) a aquéllas donde prevalecen los componentes potásicos (biotita-adularia).

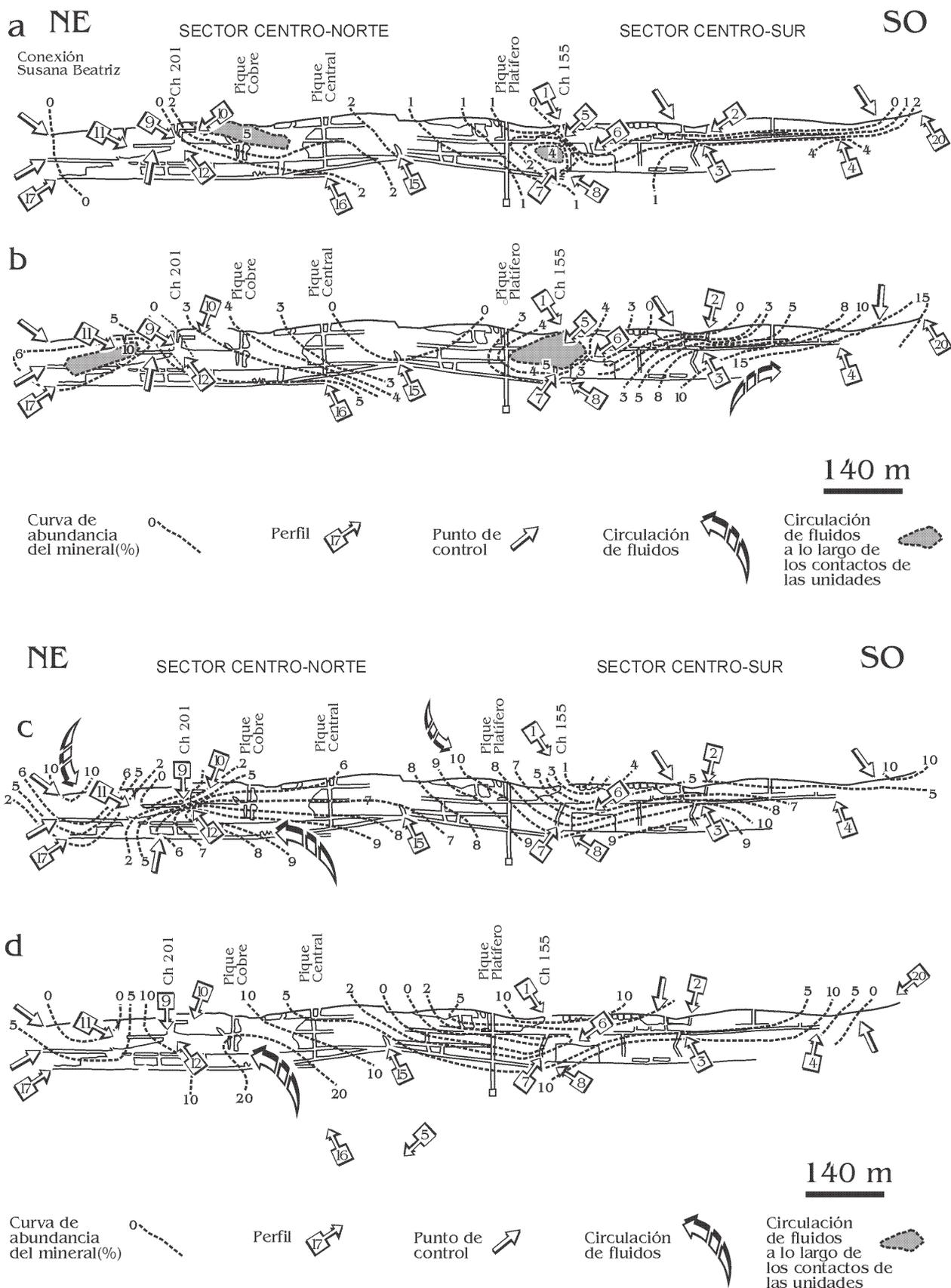


Figura 7: Diseños de abundancia de minerales de alteración y circulación de fluidos hidrotermales. **a**, Montmorillonita; **b**, Calcita; **c**, Grupo de Caolín y **d**, Adularia.

Los minerales de alteración asociados a las mayores temperaturas se encuentran vinculados al proceso de mineralización principal. Sus temperaturas concuerdan con aquellas determinadas por Varela (1994 b) y Varela y Gregori (1998) mediante inclusiones fluidas.

Se definieron asimismo tres diseños distintivos en cuanto a la distribución de los minerales de alteración (Fig. 7):

1) Diseño basado en la distribución de los minerales montmorilloníticos y calcita, los cuales, junto con la fengita (Fig. 7a y b) son considerados representantes de la alteración arcillosa intermedia (Meyer y Hemley 1967).

Este conjunto representa el primer evento de alteración hidrotermal. La circulación de los fluidos se realizó en forma paralela al contacto que existe entre las andesitas brechosas y las coladas de andesitas masivas que se observan a lo largo del nivel 50 del yacimiento. Es posible que, en esta etapa del desarrollo del mismo, las fallas y fracturas que sirvieron para el emplazamiento de los diques riolíticos y las vetas aún no se encontrasen activas.

2) Diseño marcado por los minerales del grupo del caolín (Fig. 7c). Se puede observar un sentido ascendente de los fluidos en la zona del Pique Cobre y descendentes en la zona del Pique Platífero y en la conexión con Susana Beatriz. Este cambio en el diseño de la alteración puede adjudicarse a la mezcla de aguas magmáticas con aguas descendentes de menor temperaturas tal como fue demostrado por Varela y Gregori (1998).

3) Diseño de alteración potásica en el cual se alcanzan las máximas temperaturas.

Los diseños de la alteración potásica indican una circulación ascendente de los fluidos, posiblemente condicionada por la presencia de fracturas y fallas donde simultáneamente se depositaba la mena (Fig. 7d).

El conjunto de observaciones nos permite indicar la existencia de una etapa de alteración, premineralización, donde los fluidos hidrotermales, de relativamente baja temperatura y pH neutro a alcalino se movilizaron mayoritariamente aprovechando la diferencia de porosidad entre las coladas, tobas y niveles brechosos de la Formación Taquetrén, resultando en un diseño que sigue, aproximadamente, los contactos entre las diferentes facies. Se debe notar que en algunos sectores puede reconocerse la existencia, aunque limitada, de flujos ascendentes.

Durante esta etapa es conveniente resaltar la existencia de cambios en la circulación de los fluidos, los cuales se hacen preponderantemente descendentes. Al mismo tiempo se observan variaciones en el pH, que pasa hacia condiciones ácidas, precipitando minerales del grupo del caolín.

Finalmente se advierte un incremento en la temperatura y un retorno a las condiciones de pH neutro, ello debido a la importante circulación de fluidos hidrotermales ascendentes a través del sistema de fallas.

Agradecimientos

Al Dr. Alejandro Losada por las determinaciones de microsonda efectuadas en Monash University. A la Dra. M. E. Varela y al Dr. J. Dristas de la UNS por la lectura y revisión crítica del manuscrito. A los árbitros designados por la revista, gracias a los cuales se ha mejorado la calidad del trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Angelelli, V., 1941. Los yacimientos de minerales y rocas de aplicación de la República Argentina. Ministerio de Agricultura. Dirección Nacional de Minería. 100 pp. Buenos Aires.
- Angelelli, V., 1950. Recursos minerales de la república Argentina. Yacimientos metalíferos. Revista del Instituto Nacional de Investigaciones de Ciencias Naturales. Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Buenos Aires.
- Bassi, H. y Rochefort, G., 1979. Estudios geológicos de la Mina Ángela, con énfasis en sus características estructurales. Actas II Congreso Geológico Chileno, C419-C435. Antofagasta.
- Bengochea, A. L., Mas, G. R., Maiza, P. J. y Varela, M. E., 1984. Petrografía y termometría de las inclusiones fluidas de la veta Platífero W, Mina Ángela, Provincia del Chubut. Actas Congreso Geológico Argentino, 7: 430-442. Bariloche.
- Bird, D. K. and Norton, D. L., 1981. Theoretical predictions of phase relations among aqueous solutions and minerals: Salton Sea Geothermal system. *Geochemical and Cosmochemical Acta*, 45: 1479-1493.
- Brindley G. W. and Brown G., 1984. [Eds.] Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification, Mineralogical Society Monograph no. 5, London, 1-495
- Cathelineau, M., 1988. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Mineralogy*, 23: 471-485.
- Coira, B., 1979. Descripción geológica de la Hoja 40d Ingeniero Jacobacci. Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional, Boletín 168: 1-104.
- Coira, B., Nullo, F., Proserpio, C. y Ramos, V., 1975. Tectónica de basamento de la región occidental del Macizo Nordpatagónico (Prov. de Río Negro y Chubut), República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30; (3): 365-383.
- Dessanti, R. N., 1957. Vetas metalíferas y fracturas en la Mina Ángela, Departamento Gastre, Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 11; 116-141.
- Domínguez, E., 1981. Génesis y geoquímica de la mineralización y los yacimientos Los Manantiales y Lago Fontana, provincia de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36, 2:123-142.
- Ernst, W. G., 1963. Significance of phengitic micas from low-grade schists. *American Mineralogist*, 48: 1357-1373.
- Foster, M. D., 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. U.S. Geological Survey Professional Paper. 354-B: 11-49.
- Foster, M. D., 1962. Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. U.S. Geological Survey Professional Paper. 414A: 27 pp.
- Gregori, D. A., 1985. Evaluación de las condiciones genéticas de los yacimientos de origen hidrotermal a través del estudio químico, mineralógico y estructural de las cloritas. Tesis doctoral. 107 pp. Biblioteca Central. Universidad Nacional del Sur.
- Helgeson, H. C., 1968. Geologic and thermodynamic characteristics of the Salton Sea geothermal system. *American Journal of Science*, 266, 129-166.
- Hey, M. H., 1954. A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine*, 30: 277-292.

- Hower, J. and Mowatt, T. C., 1966. The Mineralogy of Illites and Mixed-layer Illite/Montmorillonites). *American mineralogist*, 51: 825-854.
- Jacobs, D. C. and Parry, W. T., 1979. Geochemistry of Biotite in the Santa Rita Porphyry Copper Deposit, New Mexico. *Economic Geology*, 74: 860-887.
- Jowett, E. C., 1991. Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto, May 27-29, 1991). Program with Abstracts. 16: A62.
- McDowell, S. D. and Elders, W. A., 1980. Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton Sea Geothermal Field, California, USA. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 74: 293-310.
- McDowell, S. D. and Elders, W. A., 1983. Allogenic layer silicate minerals in borehole Elmore #1, Salton Sea Geothermal Field, California. *American Mineralogist*, 68: 1146-1159.
- Meyer, C. and Hemley, J. J., 1967. Wall rock alteration: In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Barnes, H. L. (Ed) 166-235. Holt, Rinehart and Winston, Nueva York.
- Muffler, L. P. J. and White, D. E., 1969. Active metamorphism of Upper Cenozoic sediments in the Salton Sea Geothermal Field and the Salton Trough, southeastern California. *Geological Society of America Bulletin*, 80: 157-182.
- Nullo, F., 1978. Descripción geológica de la Hoja 41d Lipetrén, Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional, Boletín 158: 1-88.
- Nullo, F. y Proserpio, C., 1975. La Formación Taquetrén en Cañadón del Zaino (Chubut) y sus relaciones estratigráficas en el ámbito de la Patagonia, de acuerdo a la flora. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30 (2): 133-150.
- Varela, M. E., 1990. Las inclusiones fluidas en el Distrito Minero Los manantiales, (Chubut) y su aplicación como guía de exploración en yacimientos polimetálicos. Tesis Doctoral Universidad Nacional del sur. Biblioteca Central, Bahía Blanca, 198 pp.
- Varela, M. E., 1994a. Surface alteration and lithogeochemical indicators in the Ángela mine District, Chubut Province. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49 (3-4): 206-210.
- Varela, M. E., 1994b. Silicated melt and fluid inclusions in rhyolitic dykes, Los Manantiales Mining District, Argentina. *European Journal of Mineralogy*, 6: 837-854.
- Varela, M. E. and Gregori, D. A., 1998. A model for fluid circulation in a polymetallic deposit: Angel Mine, Somoncuro Massif, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53(3): 306-316.
- Varela, M. E., Bengochea, A. L. y Mas, G. R., 1990. Gradiente termal en el Sector Susana Beatriz, Mina Ángela, provincia del Chubut, Rep. Argentina, mediante el análisis de las temperaturas de las inclusiones fluidas. In: *Contribución al conocimiento de la Mineralogía y Geología Económica de la República Argentina*, 100-106. Publicación especial. Asociación Argentina Geólogos Economistas. Olavarría.
- Volkheimer, W., 1965. Bosquejo Geológico del Noroeste del Chubut Extrandino (Zona Gastre-Gualjaina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20, (3): 326-350.
- Weaver, C. E. and Pollard, L. D., 1975. *The Chemistry of Clay Minerals*. Elsevier, Amsterdam. 213 pp.
- Wiechowski, A., Arizmendi, A. y Brodtkorb, M. K., 1990. Estudio analítico de dos sulfosales de la Mina Ángela, Dpto. Gastre, Provincia del Chubut, Argentina. In: *Contribución al conocimiento de la Mineralogía y Geología Económica de la República Argentina*, 41-43. Publicación especial. Asociación Argentina Geólogos Economistas. Olavarría.

Recibido: 10 de junio, 2002

Aceptado: 13 de agosto, 2003