

Caracterización del greisen asociado a depósitos de estaño y wolframio paleozoicos, Sierra de Mazán (La Rioja, Argentina)

A. S. Fogliata y J. C. Avila

Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Miguel Lillo, 205, 4000 San Miguel de Tucumán, Argentina. E-mail: Fogliat@csnat.unt.edu.ar
E-mail: jcavila@csnat.unt.edu.ar

RESUMEN

Se realizó la caracterización de las rocas de greisen asociadas a los yacimientos de Sn y W de la Sierra de Mazán, La Rioja, Argentina. La greisenización afectó al granito porfídico Mazán de edad Paleozoico inferior, que constituye la roca encajante de los tres yacimientos estudiados en la sierra: La Descubridora (Sn), Yanacoya (W) y Perseverancia (W). La mineralización se desarrolla en venas de cuarzo con moscovita o en vetillas de cuarzo en el greisen de la roca encajante.

El greisen ha sido estudiado principalmente desde el punto de vista petrográfico, determinándose dos tipos de greisen: cuarzo-moscovita y moscovita-cuarzo. El primer tipo se desarrolla en La Descubridora, donde aparecen también turmalina, casiterita y farmacosiderita. El segundo tipo está presente en Yanacoya y Perseverancia, acompañado de turmalina, topacio, scheelita y casiterita. Quedan algunos minerales remanentes de la roca granítica original como restos de fenocristales de microclina, escasas plagioclasas, apatito, circón y rutilo.

Los análisis químicos demostraron que en los greisen hay ganancia de Si y pérdida de Al y K en La Descubridora; y ganancia de Al y K y pérdida de Si y Na en Yanacoya y Perseverancia con respecto a la roca granítica original.

Palabras clave: Argentina, estaño-wolframio, granito, greisen, Sierra de Mazán.

Characterization of the greisen associated to tin and tungsten paleozoic deposits, Mazán Hill (La Rioja, Argentina)

ABSTRACT

It was carried out the characterization of the greisen rocks associated to Sn and W deposits of Mazán hill, La Rioja, Argentina. Greisenization affected to the Mazán porphyric granite of lower Paleozoic age that constitutes the country rock of the three deposits studied: La Descubridora (Sn), Yanacoya (W) and Perseverancia (W). The mineralisation is developed in quartz veins with muscovite or in quartz veinlets in the wall rock's greisen.

Greisen rocks were studied from petrographic and chemical point of view. Two greisen types have been determined: quartz-muscovite and muscovite-quartz. The first type is developed in La Descubridora mine where they also appear tourmaline, cassiterite and pharmacosiderite. The second type is present in Yanacoya and Perseverancia accompanied by tourmaline, topaz, scheelite and casiterite. They are some minerals remainders of the original granitic rock as remains of microcline phenocrysts, scarce plagioclase, apatite, zircon and rutile.

The chemical analyses demonstrated that in the greisen there are gain of Si and loss of Al and K in La Descubridora; and there are gain of Al and K and loss of Si and Na in Yanacoya and Perseverancia with regard to the original granitic rock.

Key words: Argentina, granites, greisen, Sierra de Mazán, tin-tungsten.

INTRODUCCIÓN

La Sierra de Mazán es un cordón montañoso de orientación submeridiana, ubicado en el sector

noreste de la provincia de La Rioja, Argentina. En ella existen depósitos de estaño y wolframio relacionados con rocas graníticas del Paleozoico. La alteración hidrotermal en la roca de caja se mani-

fiesta con el desarrollo de una roca con características particulares conocida con el nombre de greisen. La asociación rocas graníticas – greisen – yacimientos estanno-wolframíferos es muy conocida y fue estudiada desde hace varias décadas. En la Sierra de Mazán el greisen no constituye la mena de los yacimientos, pero puede considerarse a este tipo de roca como una guía de mena o indicio de presencia de la mineralización.

La greisenización fue estudiada y definida por numerosos autores, entre los que se pueden mencionar a Shcherba (1970), Burt (1981), Smirnov (1982) y Pirajno (1992). Es posible definir en forma general a una roca tipo greisen como el resultado de una alteración hidrotermal de alta temperatura de las rocas debido a soluciones ricas en volátiles asociadas con el enfriamiento de un intrusivo granítico.

GEOLOGÍA DEL ÁREA

La Sierra de Mazán forma parte de un conjunto de cordones montañosos con similitudes morfoestructurales ubicados en el sector centro norte de Argentina que se conoce con el nombre de Sierras Pampeanas. Se caracteriza por tener una orientación casi norte-sur y estar limitada por fallas inversas de alto ángulo, sobre todo en su ladera oriental.

La Formación La Cébila (González Bonorino, 1951) representa a las rocas más antiguas de la sierra. Son filitas cuarzo-moscovíticas de color gris verdoso con esquistosidad de orientación predominante noroeste-sudeste e inclinaciones entre 50° y 55° al este, cuyos únicos afloramientos pueden observarse al sur y al oeste de la sierra. Están intruidas por un granito porfídico de edad Ordovícico-Silúrico, denominado granito Mazán por Fogliata y Avila (1997), desarrollándose una faja milonítica en la zona de contacto de ambas unidades. El granito porfídico aflora en toda la extensión de la sierra y constituye la roca de caja de los yacimientos metálicos de esta región. Aflora también otra roca granítica inequigranular de color rosado o gris amarillento que es intrusivo con respecto al granito Mazán, denominado granito La Quebrada (Fogliata y Avila, 1997) del Carbonífero. Existen rocas filonianas

como pegmatitas (algunas con andalucita e ilmenita), diques graníticos, aplitas graníticas y numerosos diques de cuarzo estériles. El Terciario está representado por las areniscas de la Formación Salicas y el Cuaternario por sedimentos de la Formación Coneta del Holoceno inferior y sedimentos fluvio-eólicos del Holoceno superior.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DEPÓSITOS

En los depósitos estudiados, la mineralización se desarrolla en venas de cuarzo con moscovita cuyos espesores varían entre 0,3 y 3 metros, o en venillas de cuarzo con espesores entre 2 y 4 cm en el greisen de la roca de caja.

La roca encajante es el granito Mazán (Fig. 1). Es un granito porfídico con megacrístales de feldespato potásico peritítico de color rosado claro a blanco-rosado. Macroscópicamente pueden distinguirse cuarzo, microclina, plagioclasa, biotita, moscovita y cordierita.

Sus minerales esenciales son cuarzo, microclina y albita. La microclina está intercrecida con la plagioclasa dando lugar a la textura peritítica. Las perititas son abundantes y gruesas, y corresponden a la textura principal desarrollada en el granito.

Los accesorios son, en orden de abundancia, biotita, moscovita, apatito, cordierita, y circón y opacos en forma subordinada.

La caracterización geoquímica del granito Mazán indica que son peraluminosos, ricos en potasio y con bajos contenidos en calcio; estas características corresponden a "granitos colisionales". Según la clasificación de Chappell y White (1984) corresponderían a granitos Tipo S, generalmente asociados a mineralización de estaño y wolframio.

En cuanto al nivel de emplazamiento corresponden a niveles corticales altos y carácter posttectónico.

En La Descubridora las venas se desarrollan en el contacto del granito Mazán con el granito La

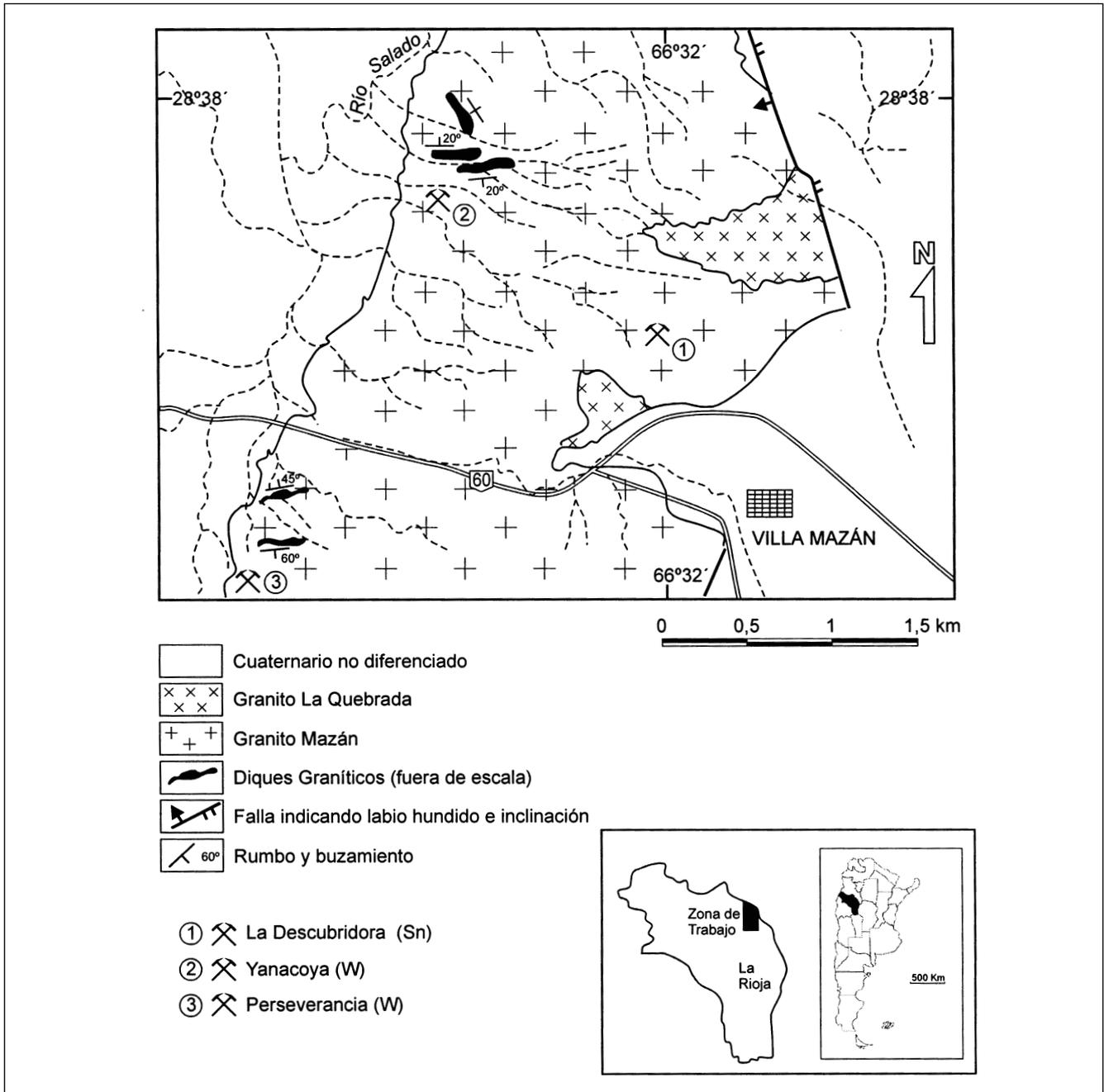


Fig. 1: Depósitos de estaño y wolframio de la Sierra de Mazán (La Rioja, Argentina)

Fig. 1: Tin-tungsten deposits of the Sierra de Mazán (La Rioja, Argentina)

Quebrada, mientras que en los otros depósitos afloran en las cercanías en forma de diques.

En La Descubridora y Yanacoya la mineralización se ubica en filones de cuarzo blanco-grisáceos

con tintes ferruginosos y escasa moscovita. En la Descubridora, los filones, cuya potencia varía entre 0,3 m y 3 m, poseen dirección general ONO-ESE e inclinaciones variables con preferencia al norte, encontrándose fracturados y desplazados.

Minerales	Etapa		
	Greisen	Hidrotermal	Oxidación
Cuarzo	————	————— ······	
Muscovita	————	————— ······	
Casiterita	—	————— ······	
Wolframita (1)		————— ······	
Scheelita		————— ······	
Pirita		————— ······	
Calcopirita		————— ······	
Arsenopirita (2)		————— ······	
Ilmenorutilo		······	
Turmalina	—		
Hematites reemplaza a (1)			————
Escorodita reemplaza a (2)			—
Yeso			—
Farmacosiderita	—		

Fig. 2a: Diagrama paragenético del depósito La Descubridora

Fig. 2a: Paragenetic diagram of La Descubridora deposit

Minerales	Etapa		
	Greisen	Hidrotermal	Oxidación
Cuarzo	————	————— ······	
Muscovita	————	————— ······	
Casiterita		————— ······	
Wolframita (1)		————— ······	
Scheelita	—		
Pirita		————— ······	
Turmalina	————		
Topacio	————		
Hematites reemplaza a (1)			————

Fig. 2b: Diagrama paragenético del yacimiento Yanacoya

Fig. 2b: Paragenetic diagram of Yanacoya deposit

Minerales	Etapa		
	Greisen	Hidrotermal	Oxidación
Cuarzo	————	————— ······	
Muscovita	————	————— ······	
Wolframita (1)		————— ······	
Scheelita		————— ······	
Arsenopirita		————— ······	
Esfalerita		————— ······	
Pirita		————— ······	
Calcopirita		————— ······	
Topacio	————		
Turmalina	————		
Hematites reemplaza a (1)			————
Limonita			————

Fig. 2c: Diagrama paragenético del Yacimiento Perseverancia

Fig. 2c: Paragenetic diagram of Perseverancia deposit

Según su orientación se los ha dividido en tres grupos: rumbo N110° a 130° e inclinaciones de 30°N; rumbo N130° a 150° e inclinaciones 30° a 40° N; rumbo N150° a 170° e inclinaciones de 60° a 70°E.

La estructura general del yacimiento indica una correspondencia entre la orientación de los filones mineralizados y las fallas, que son estructuras de orientación N130° a N150° e inclinaciones entre 35° y 60° al N y NE (Fogliata, 1999). Se considera a las fallas como las estructuras a través de las cuales se produjo el ascenso de los fluidos hidrotermales responsables de la mineralización.

Las fallas post-mineralización de rumbo casi perpendiculares al sistema de fracturas principal y con inclinaciones de 30° al NW serían las responsables del desplazamiento de algunos filones.

La mineralización consiste en casiterita parda inmersa en el cuarzo de los filones. Su tamaño oscila entre 0,2 cm y 3 cm. Es idiomórfica, zonada y a veces maclada. Está acompañada por pirita, wolframita, scheelita, calcopirita, arsenopirita, ilmenorutilo y minerales secundarios como hematita, escorodita y yeso.

En Yanacoya, Fogliata y Avila (1997) describen dos venas de cuarzo blanco grisáceo de estructura maciza con escasa moscovita intruyendo al granito Mazán. Poseen una corrida del orden de los 100 metros y 2 metros de espesor promedio. Se encuentran ubicadas a ambos lados de una quebrada de orientación aproximada este-oeste.

Sobre el flanco septentrional de dicha quebrada se emplaza la veta denominada Norte, de rumbo N265° y buzamiento 16° N, mientras que sobre el flanco austral se emplaza la llamada veta Sur de rumbo N280° y buzamiento de 26° S.

El mineral de mena es wolframita y aparece distribuida en forma irregular dentro de las vetas de cuarzo. Tiene generalmente hábito tabular, color negro y brillo submetálico. Su tamaño varía entre 0,2 y 4 cm. La wolframita está acompañada por casiterita, también de distribución irregular dentro de las vetas pero siempre asociada a moscovita, es parda clara y aparece en cristales aislados

o formando agregados. Su tamaño varía entre 0,5 y 2,5 cm.

La paragénesis se completa con la presencia de pirita muy subordinada y hematites generalmente reemplazando a wolframita o en agregados coliformes dentro de las vetas.

El depósito wolframífero denominado Perseverancia consiste en una zona o faja de greisen que contiene a la mineralización y se desarrolla a ambos lados de un dique de cuarzo con moscovita subordinada cuyo espesor oscila entre 1,5 y 2 metros. El dique tiene rumbo N50° y buzamiento 45° NO, correspondiéndose con uno de los juegos de diaclasas medidos en el granito Mazán.

El mineral de mena es wolframita y se desarrolla en venillas de cuarzo de 2 a 4 cm de espesor en el greisen de las rocas encajantes. La wolframita en Perseverancia es de hábito tabular o prismático, color gris a negro, brillo submetálico y sus tamaños son variados entre 0,5 y 7 cm.

Se observó la presencia junto a wolframita de scheelita (a veces reemplazando a wolframita), arsenopirita, esfalerita, pirita y calcopirita. También se observa hematites de desarrollo secundario y limonita.

TIPOS DE GREISEN

El estudio del greisen de la Sierra de Mazán se llevó a cabo fundamentalmente a través de láminas delgadas y de análisis químicos. Complementariamente se realizaron estudios de inclusiones fluidas de las venas de cuarzo relacionadas con la mineralización.

Petrografía

Se estudió la composición mineralógica y las texturas tanto del greisen como de la roca granítica sin alterar con el objeto de establecer una comparación entre ambos.

El contacto de las fajas de greisen con la roca encajante (granito Mazán) es neto.

De acuerdo a la composición mineralógica y a los porcentajes modales relativos de los minerales se han definido dos tipos de greisen asociados con los yacimientos de la zona de estudio. Son los siguientes:

greisen de cuarzo – moscovita
greisen de moscovita – cuarzo

El greisen tipo cuarzo-moscovita se manifiesta en el yacimiento de estaño de La Descubridora. En el afloramiento se observan “fajas” discontinuas de pocos centímetros de espesor, que se desarrollan principalmente en las salbandas de las venas de cuarzo con casiterita y en el contacto del granito Mazán con el granito La Quebrada. También fueron observadas en menor proporción cerca de los cuerpos pegmatíticos y en zonas más alejadas.

Es una roca de color amarillo-verdoso de grano fino a medio (2 a 2,5 milímetros). Se determinó la presencia de cuarzo hipidiomórfico, de color blanco a blanco-amarillento acompañado por abundante mica cuyo color varía entre blanco y blanco-verdoso. También se encuentran agregados de casiterita pardo oscura, con tamaños entre 0,5 y 2 milímetros. Algunas muestras del greisen de La Descubridora presentan como accesorio menor pharmacosiderita (Fogliata, 1999) desarrollada en pequeños cristales cúbicos semitraslúcidos de color amarillo verdoso que no exceden el milímetro.

Se observa abundante cuarzo anhedral, que es el principal constituyente acompañado por moscovita (Fig. 3 a) y como minerales accesorios subordinados turmalina y casiterita.

Hay sectores con fenocristales subhedrales de microclinas pertíticas y algunas plagioclasas (albitas) subhedrales, macladas y de buen desarrollo.

Asociadas al cuarzo secundario aparecen pequeñas albitas macladas, pero la relación no es clara como para definir texturalmente si se trata de albita secundaria.

La asociación cuarzo-moscovita secundaria está alterando a los feldespatos, la microclina fue totalmente reemplazada, conservándose sola-

mente los fenocristales pertíticos que tienen escasos parches de albita.

Existen minerales magmáticos remanentes del granito y minerales que son el resultado de los efectos de la greisenización. Entre los primeros hay fenocristales de microclina pertítica y escasas plagioclasas macladas.

Entre los minerales resultantes del proceso de greisenización, en orden de abundancia, se observa: cuarzo II, moscovita II, turmalina y, muy subordinada, casiterita.

El greisen tipo moscovita-cuarzo está presente en los yacimientos de wolframio de Yanacoya y Perseverancia. Está restringido a “fajas” delgadas y discontinuas, limitadas a las salbandas de las vetas de cuarzo con wolframita en Yanacoya, mientras que en Perseverancia se desarrolla como una zona de mayor espesor (2 metros aproximadamente) en donde se observan las venillas de cuarzo con mineralización wolframífera.

Se diferencia notablemente del greisen de La Descubridora ya que el principal constituyente es moscovita y además, el feldespato potásico original del granito fue destruido casi totalmente. De los minerales esenciales originales del granito sólo quedan restos de plagioclasas de origen magmático.

En Yanacoya este tipo de greisen consiste en una roca de color gris claro de grano medio compuesta por abundantes micas (moscovita). En menor proporción aparecen algunos cuarzoes xenomórficos y turmalina de color negro, hábito columnar y tamaño variable entre 1 y 3 cm, aunque hay algunos agregados que llegan a tener hasta 5 cm. También hay scheelita idiomórfica de color amarillo en forma subordinada con respecto a los otros constituyentes del greisen.

Al microscopio, la roca está compuesta esencialmente por moscovita en láminas de buen desarrollo como también en agregados de láminas más finas incoloras y de fuerte birrefringencia. En menor proporción se observa cuarzo anhedral de pequeño tamaño.

Como accesorios asociados a moscovita se observó turmalina (Fig. 3 b) y topacio. La pri-

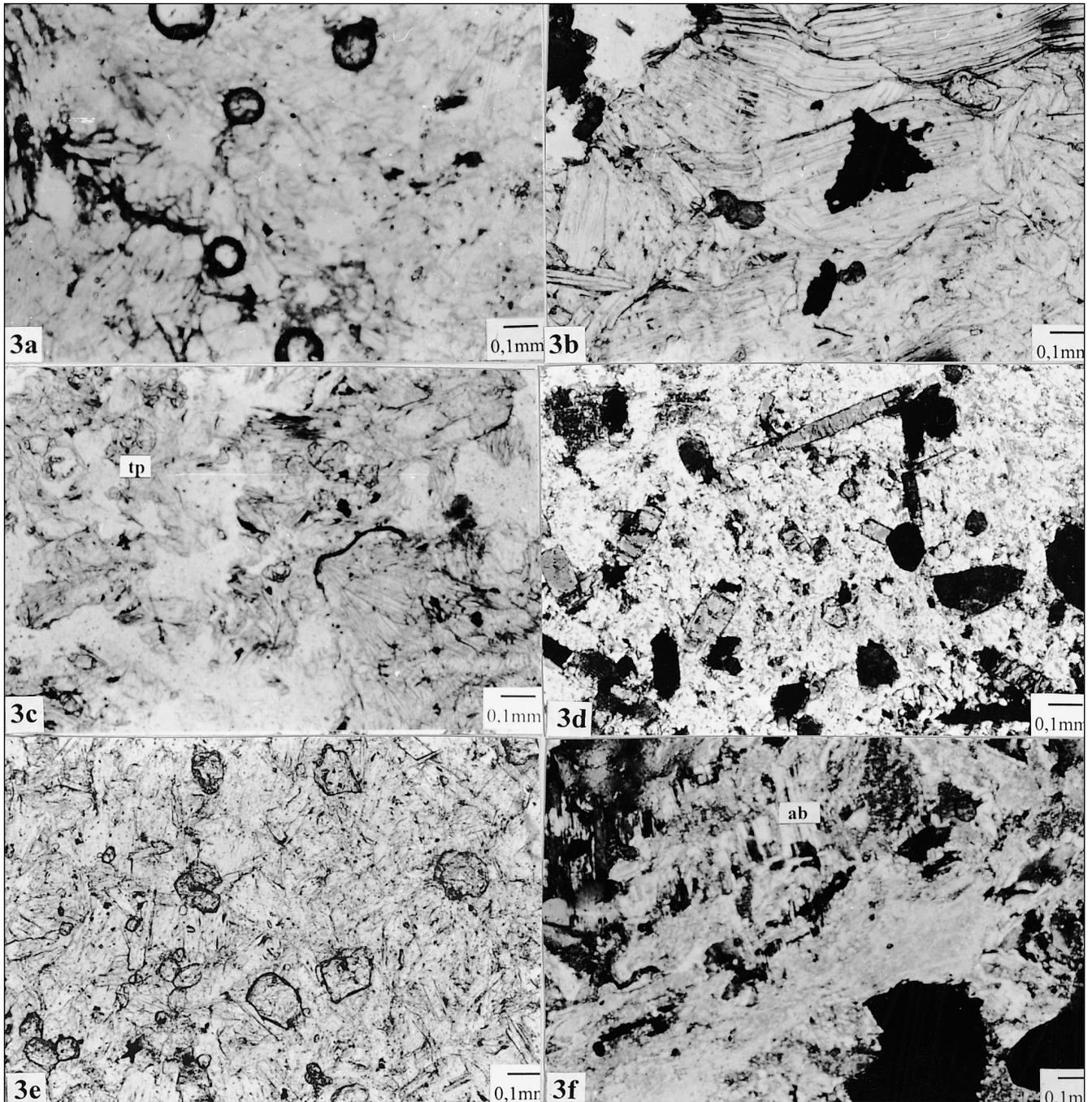


Fig. 3a.: Textura del greisen de cuarzo-moscovita. Mina La Descubridora. Nícoles paralelos. 3b. Greisen de moscovita-cuarzo con turmalina y topacio. Mina Yanacoya. Nícoles paralelos. 3c. Textura del greisen de moscovita-cuarzo con topacio anhedral entre láminas de moscovita. Mina Yanacoya. Nícoles paralelos. 3d. Textura del greisen de moscovita-cuarzo. Mina Perseverancia. Nícoles cruzados. 3e. Moscovita, topacio y turmalina. Mina Perseverancia. Nícoles paralelos. 3f. Albitización en el greisen de moscovita-cuarzo. Mina Perseverancia

Fig. 3a.: Texture of quartz-muscovite greisen. La Descubridora Mine. Parallel nicols. 3b. Muscovite-quartz greisen with tourmaline and topaz. Yanacoya Mine. Parallel nicols. 3c. Texture of muscovite-quartz greisen with anhedral topaz within muscovite sheets. Yanacoya Mine. Parallel nicols. 3d. Texture of muscovite-quartz greisen. Perseverancia Mine. Crossed nicols. 3e. Topaz and tourmaline between muscovite sheets. Perseverancia Mine. Parallel nicols. 3f. Albitization in muscovite-quartz greisen. Perseverancia Mine. Crossed nicols

mera, de color pardo, tiene birrefringencia moderada a fuerte y aparece en cristales prismáticos como también en secciones transversales. Algunas presentan fracturación. El topacio es también abundante, incoloro y aparece en granos anhedrales de alto relieve (Fig. 3 c).

Se observaron también individuos pequeños, escasos, de color pardo y alto relieve con fuerte birrefringencia. Podría tratarse de rutilo, el cual se consideraría en este caso un mineral tardío magmático.

En Perseverancia, el greisen consiste en una roca de color gris de grano medio (2 a 3 mm) que enmascara totalmente a la roca granítica original. El constituyente mayoritario corresponde a moscovita con desarrollo de turmalina negra de hábito prismático y en menor proporción cuarzo xenomórfico a hipidiomórfico blanco transparente. Como mineral de mena en el greisen, a simple vista, se observa la presencia de wolframita y scheelita en menor proporción. Estos minerales de mena aparecen siempre asociados a las venillas de cuarzo.

El mineral más abundante es moscovita incolora y tiene tamaños variados, ya que se desarrollan láminas grandes y en otros sectores agregados con láminas muy finas. Junto a moscovita se observa también topacio, incoloro, de relieve alto y aparece siempre en individuos anhedrales. La cantidad de turmalina es también importante, tiene color azul y formas tabulares euhédricas o secciones transversales algo redondeadas y fracturadas. Las turmalinas azules, generalmente alcalinas, son frecuentes en los procesos de greisenización, cuando ya se lixivió todo el hierro de las biotitas (Fig. 3 d y 3 e).

El cuarzo es escaso, anhedral con extinción ondulada discontinua, presentándose en pequeños agregados.

Hay que destacar la presencia de restos de albita magmática, desarrollada como pequeños cristales rodeados a su vez por albita secundaria de menor tamaño. También hay sectores con filas de albita secundaria atravesando a los cuarzos (Fig. 3 f).

También se determinó microscópicamente circón

en cristales limpios y elongados, y pequeños bastoncitos de apatito que podrían tener origen magmático.

Los minerales remanentes de la roca granítica original en el greisen tipo moscovita-cuarzo son albita, circón y apatito. Entre los minerales formados como resultado de la greisenización se observaron: moscovita II, cuarzo II, turmalina, topacio, casiterita y scheelita en menor proporción.

La presencia de albita secundaria se interpreta como resultado de procesos de albitización que tuvieron lugar en una etapa posterior a la greisenización.

Composición

En la tabla 1 se muestra la composición modal promedio de los distintos tipos de greisen desarrollados en los tres yacimientos de estaño y wolframio y del granito Mazán. Existen diferencias en sus composiciones mineralógicas, lo que se refleja en el aumento considerable de cuarzo y moscovita en la roca alterada del yacimiento La Descubridora con respecto al granito original, como así también en la desaparición total o parcial (en algunos casos) del feldespatos potásico y la biotita del granito Mazán, con la consecuente formación de los nuevos constituyentes de los distintos tipos de greisen.

Los análisis químicos de elementos mayores, menores y algunos trazas considerados de interés permiten realizar también una comparación entre los dos tipos de greisen definidos en Mazán.

La SiO_2 sufre un aumento en el greisen de La Descubridora con respecto a la roca de caja, mientras que en el greisen de los otros dos yacimientos se aprecia una disminución general, salvo en una muestra tomada muy cerca de la veta de cuarzo. Esto podría explicarse por la migración y precipitación tardía de SiO_2 , produciéndose como consecuencia la disminución en su contenido y la formación de una asociación más rica en silicatos de aluminio.

El valor de Al_2O_3 disminuye en el caso del greisen

Mineral	Roca de caja	Greisen cuarzo-moscovita	Greisen moscovita-cuarzo	
	Granito Mazán		La Descubridora	Yanacoya
Cuarzo	35,1	-	-	-
Feldespatos K	38,8	19,4	-	3,1
Plagioclasa	11,5	7,4	-	X
Biotita	4,3	-	-	-
Moscovita	X	-	-	-
Cordierita	X	-	-	-
Apatita	X	-	-	X
Turmalina	X	-	-	-
Circón	X	-	-	X
Rutilo	-	-	X	-
Cuarzo II	-	53,5	12,3	21,4
Moscovita II	X	19,6	78,2	70,9
Turmalina II	-	X	4,3	3,4
Topacio	-	-	4,2	5,8
Casiterita	-	X	X	-
Scheelita	-	-	X	-
Pharmacosiderita	-	X	-	-
Albita II (1)	-	-	-	X

Tabla 1: Composición modal (%)

Clave: X presente, pero no entra en el % de la composición modal
 - No está presente
 (1) albitización posterior a la greisenización

Table 1: Modal composition (%)

Key: X present but not included in the % modal composition
 - No present
 (1) albitization later than greisenization

de La Descubridora, mientras que en Yanacoya y Perseverancia, hay un incremento considerable.

En cuanto a los álcalis, el Na₂O prácticamente no sufre cambios significativos en el greisen de La Descubridora, pero en el caso del greisen de

moscovita-cuarzo se aprecia una marcada disminución. El K₂O disminuye en La Descubridora y aumenta notablemente en los otros dos yacimientos.

Los dos tipos de greisen presentan enriqueci-

Muestras	GrM	LD77	LD77M	Y97	P46a	P89
SiO ₂ (%)	69,03	78,7	80,67	43,8	52,94	55,09
TiO ₂ (%)	0,61	0,15	0,12	0,38	0,79	0,63
Al ₂ O ₃ (%)	15,04	10,17	10,4	29,36	21,5	18,58
Fe ₂ O ₃ * (%)	4,08	2,84	1,24	3,48	4,59	7,19
MnO (%)	0,12	0,01	0,02	0,13	0,29	0,12
MgO (%)	0,67	0,37	0,37	2,01	2,2	1,96
CaO (%)	1,95	0,31	0,43	3,33	1,93	2,62
Na ₂ O (%)	1,97	2,78	2,94	0,42	0,79	0,65
K ₂ O (%)	3,99	1,85	1,91	8,54	7,41	5,99
P ₂ O ₅ (%)	0,31	0,55	0,32	1,77	1,21	0,81
LOI (%)	2,58	2,51	1,33	4,16	3,85	3,89
Total	100,36	100,23	99,75	97,37	97,52	97,48
Sn (ppm)	5,5	2818	90	2530	-	320
B (ppm)	120	52	79	3796	-	2210
F (ppm)	1819	2500	2000	5728	-	6269

Tabla 2: Análisis químicos de elementos mayores, menores y algunos trazas en las rocas de greisen de la Sierra de Mazán
GrM: granito Mazán; LD: greisen de cuarzo-moscovita de La Descubridora; Y: greisen de moscovita-cuarzo de Yanacoya; P: greisen de moscovita-cuarzo de Perseverancia. *Fe total

Table 2: Chemical analysis of major, minor and trace elements in the greisen rocks of the Sierra de Mazán
GrM: Mazán granite; LD: quartz-muscovite greisen from La Descubridora; Y: muscovite-quartz greisen from Yanacoya; P: muscovite-quartz greisen from Perseverancia. * total Fe

miento en F, B y Sn en comparación con la roca encajante, contribuyendo a la formación de topacio, turmalina y casiterita respectivamente.

Existen ejemplos de correlación positiva entre F y Sn-W, como en el depósito de Sn de Yambei, al Sur de China estudiado por Xiao-Lin Xiong *et al.* (1999). En él la casiterita también constituye el mineral de mena y la alteración hidrotermal en la roca encajante un granito porfídico es intensa, distinguiéndose zonas de topacio-cuarzo, clorí-

tica y sericítica. En este depósito la alteración hidrotermal causa disminución de K y Na e incremento de Al, Fe, Ca, Sn, W y Cu.

Inclusiones fluidas

El estudio de inclusiones fluidas en los depósitos de la Sierra de Mazán se llevó a cabo en el cuarzo de las vetas y vetillas mineralizadas reacionadas espacialmente con ambos tipos de greisen.

En la Fig. 4 se observa un histograma con las temperaturas de homogeneización obtenidas del estudio termométrico de inclusiones fluidas en cuarzo. El mismo, a modo comparativo muestra una distribución regular de las temperaturas de homogeneización, con una tendencia bimodal en 230°C y 330°C. Las menores temperaturas corresponden a inclusiones fluidas secundarias, mientras que las temperaturas mayores son coincidentes con las poblaciones de inclusiones fluidas primarias y pseudosecundarias de los depósitos estudiados.

La salinidad calculada para las inclusiones de los tres depósitos es moderada y bastante regular con valores entre 4% y 7% en peso equivalente de NaCl.

Las temperaturas medias de homogeneización encontradas en inclusiones primarias para estos depósitos deben considerarse como temperaturas mínimas de atrapamiento del fluido mineralizador ya que no es posible efectuar hasta el presente la corrección por efectos de presión.

Las características geoquímicas hidrotermales de depósitos de W relacionados con ambientes graníticos fueron estudiadas recientemente por Wood y Samson (2000). Las temperaturas de homogeneización de las inclusiones acuosas y acuocarbónicas varían entre 200°C y 450°C. Muchos de los datos obtenidos de las inclusiones corresponden al mineral cuarzo al igual que en nuestro estudio, correspondiendo las mayores temperaturas al estadio de deposición de óxidos. La presión estimada para la precipitación de W es según los autores citados entre 200 y 1.500 bar. La salinidad es generalmente menor al 15% en peso, pero mencionan casos con salinidades mayores.

En el depósito de Sn de Cleveland, al Oeste de Tasmania, Jackson *et al.* (2000) definen tres estilos de mineralización correspondiendo uno de ellos a la greisenización de un dique de cuarzo porfídico. Reconocen varios tipos de greisen entre los que incluyen greisen de cuarzo-moscovita y greisen de cuarzo-moscovita-topacio entre otros. El estudio de inclusiones fluidas realizado

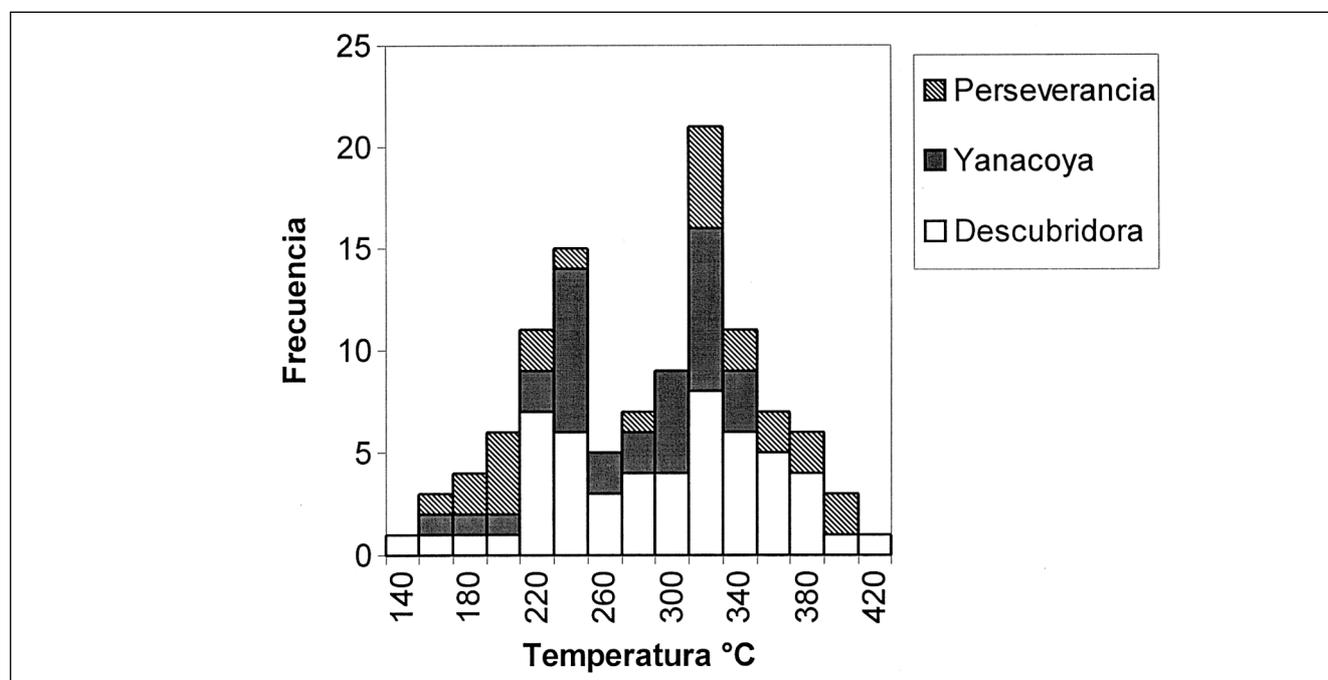


Fig. 4: Temperatura de homogeneización de inclusiones fluidas en La Descubridora, Yanacoya y Perseverancia

Fig. 4: Homogenisation temperature of fluid inclusions of La Descubridora, Yanacoya and Perseverancia

en las venas mineralizadas y en los greisens dieron como resultado temperaturas de homogeneización de 300°C y salinidades entre 6% y 14% en peso de NaCl equivalente, aumentando las temperaturas de homogeneización hacia el estadio de greisen con un máximo de 410°C, del mismo orden de magnitud que los datos obtenidos en nuestra zona de estudio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Regiones asociadas a mineralización de Sn-W están a menudo enriquecidas en ciertos componentes. Generalmente se reconocen dos tipos principales, ambientes ricos en F y ambientes ricos en B, lo que puede ocurrir a escala regional o a menor escala. El enriquecimiento en F y B puede expresarse en el estadio magmático por la cristalización de topacio, fluorita, turmalina y micas de Li y/o en el estadio postmagmático por el desarrollo de una suite similar de minerales hidrotermales (Pollard *et al.*, 1987). Los sistemas de greisen ricos en F se caracterizan por la presencia de fluorita y/o topacio, así como también de micas ricas en Li. Los sistemas de greisen ricos en B en cambio, por la presencia de abundante turmalina. Según Pollard *et al.* (1987) pueden ocurrir situaciones mixtas, es decir un ambiente de greisen enriquecido en ambos constituyentes.

En el caso de los tipos de greisen desarrollados en la Sierra de Mazán, se trataría de un sistema mixto, ya que hay presencia de minerales ricos en F (topacio) y minerales ricos en B (turmalina), y abierto, con formación de venas y de stock-works.

En cuanto a la composición mineralógica resultante de la greisenización en los tres yacimientos, existen diferencias a destacar entre los minerales principales y accesorios. Se determinaron dos tipos de greisen de acuerdo a la composición mineralógica y modal: cuarzo-moscovita y moscovita-cuarzo. El primero con mayor desarrollo en La Descubridora. Está compuesto en orden de abundancia por: cuarzo, moscovita, turmalina, casiterita y farmacosiderita subordinada. El segundo se desarrolla en los otros dos yacimientos.

En Yanacoya, el greisen está compuesto por moscovita-cuarzo-turmalina-topacio y, en mucha menor proporción, scheelita y casiterita.

En Perseverancia el greisen se compone de moscovita-cuarzo-topacio-turmalina. El contenido de topacio aumenta con respecto al greisen de Yanacoya. La presencia de albita postmagmática indicaría un proceso de albitización II tardía (Pollard, 1983, en Pirajno, 1992).

De los análisis químicos del greisen de La Descubridora se concluye que hay un incremento en el contenido de SiO₂ y disminución de Al₂O₃ y K₂O, mientras que el Na₂O no evidencia cambios significativos.

En Yanacoya y Perseverancia existe disminución de SiO₂ y Na₂O, mientras que aumentan Al₂O₃ y K₂O.

Se ha comprobado que los elementos traza en los dos tipos de greisen de Mazán muestran enriquecimiento en Sn, F y B.

Por último, se ha verificado en la zona de estudio que los greisen de cuarzo-moscovita están relacionados con mineralización predominantemente estannífera, mientras que los de moscovita-cuarzo se asocian principalmente a wolframita.

En la Sierra de Mazán habría ocurrido un evento hidrotermal que comenzaría con la greisenización de la roca de caja granítica. En los estadios finales de este proceso comenzó el aporte de los minerales de mena. Las características físico químicas de los fluidos mineralizadores obtenidas del estudio de inclusiones fluidas indican una temperatura mínima comprendida entre 328°C y 338°C con salinidades entre 4% y 7% en peso equivalente de NaCl, lo que indica un fluido acuo-carbónico de baja a moderada salinidad.

La secuencia paragenética corresponde a casiterita, wolframita, seguida de una etapa de sulfuros (pirita, calcopirita, arsenopirita y esfalerita), finalizando con óxidos de menor temperatura.

Por la paragénesis mineral, tipo de alteración y características de los fluidos responsables de la mineralización, se postula para los depósitos de

estaño y wolframio de la Sierra de Mazán un modelo hidrotermal de alta temperatura asociado a fluidos tardí-magmáticos provenientes de rocas graníticas peraluminosas, postectónicas, de alto nivel de emplazamiento. El evento metalogénico tendría relación con el granito La Quebrada, sin poder precisar hasta el momento la edad de la metalogénesis al no estar definida la edad de este granito. Si resultara carbonífero coincidiría con otros plutones graníticos ubicados en las Sierras Pampeanas del centro-oeste de Argentina, como el granito Los Ratonés en la Sierra de Fiambalá con el cual se asocia una metalogénesis similar a la de la Sierra de Mazán.

En el contexto internacional, según Linnen (1998), en depósitos de Sn-W asociados con intrusivos de alto nivel de emplazamiento y presencia de rocas volcánicas, la casiterita se asocia o procede de fluidos hipersalinos de alta temperatura como es el caso de los yacimientos de estaño porfírico de Bolivia. En cambio, en los cinturones plutónicos más profundos, sin vulcanismo, los depósitos de Sn-W asociados están relacionados a soluciones acucarbónicas de salinidad baja a moderada, características que coinciden en los depósitos de nuestra zona de estudio. Ejemplos de este tipo de depósitos son los cinturones plutónicos de la zona Central Ibérica en España y Portugal, Main Range en Malasia y los depósitos del Oeste de Tailandia.

Asimismo, se destaca que algunas de las características de los yacimientos estudiados en la Sierra de Mazán (zona centro-oeste de Argentina) como la disposición filoniana, las rocas encajantes, la alteración (greisenización) y paragénesis mineral podrían considerarse similares a los yacimientos de Sn-W asociados a granitoides hercínicos del Macizo Hespérico, como por ejemplo El Tráquilón y San Nicolás en Extremadura, Gumiel (1981, 1984), Gumiel y Arribas (1990), aunque debe tenerse en cuenta que el marco geotectónico de ambas regiones es diferente así como también las edades de los granitoides asociados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer especialmente al Dr. Julio Saavedra Alonso por sus oportunas

sugerencias. Asimismo agradecen al Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina por el apoyo económico para la realización de este trabajo.

También se agradece a los revisores por las correcciones y sugerencias realizadas.

REFERENCIAS

- Burt, D. M., 1981. Acidity-salinity diagrams – Application to greisen and porphyry deposits. *Economic Geology* 76:832-843.
- Chappell B. W. y A. J. Withe, 1984. I- and S- Type granites in the Lachlan fold belt, south eastern Australia. *International Symposium Geology of Granites and Their Metallogenic Relations*, Nanjing, China, October 26-30, 1982, *Proceedings*, 87-101 pp.
- Fogliata, A. S. y J. C. Avila, 1997. Manifestaciones minerales de la ladera occidental del Cerro Mazán, provincia de La Rioja, Argentina. *VIII Congreso Geológico Chileno II*: 961-965.
- Fogliata, A. S., G. Mas y J. C. Avila, 1998. Las wolframitas de Mazán, La Rioja: Caracteres Mineralógicos y Composicionales. *IV Reunión de Mineralogía y Metalogenia*: 75-81. Bahía Blanca.
- Fogliata, A. S., 1999. Estudio geológico económico de los recursos mineros de la Sierra de Mazán. Tesis Doctoral. Inédito. Facultad de Ciencias Naturales e I. M. Lillo, *Universidad Nacional de Tucumán*. 203 pp.
- Linnen, R. L. 1998. Depth of emplacement, fluid provenance and metallogeny in granitic terranes: a comparison of western Thailand with other tin belts. *Mineralium Deposita*, Volumen 33, 5: 461-476.
- González Bonorino, F. 1951. Una nueva formación Precámbrica en el Noroeste argentino. *Comunicaciones Científicas Museo*, La Plata, 5.
- Gumiel, P. 1981. Essai sur la classification typologique des principaux de Sn-W d'Extremadure (Espagne). *Chronique de la Rech. Minière*, 463, 5-26.
- Gumiel, P. 1984. Tipología de los yacimientos de estaño y wolframio del Macizo Ibérico. *I Congreso Español de Geología*, Tomo V, 183-216.
- Gumiel, P. y Arribas, A. 1990. Metallogeny of the Spanish Central Iberian Zone. 212-219 p., en *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. R.D. Dallmeyer y E. Martínez García Eds. IGCP project 233. *Springer-Verlag*, 416 p.
- Jackson, P.; Changkakoti, A.; Krouse, H. R. and Gray J. 2000.

The origin of greisen fluids of the Foley's Zone, Cleveland Tin Deposit, Tasmania, Australia. *Economic Geology*, 95, 227-236.

Pirajno, F. 1992. Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and Fundamental Concepts for the Explorator Geologist. *Springer-Verlag*. 709 pp.

Pollard, P. J.; M. Pichavant and V. Charoy, 1987. Contrasting evolution of fluorine – and boron-rich tin systems. *Mineralium Deposita* 22:315-332.

Shcherba, G. N., 1970. Greisen. *International Geology Review* 12: 114-255.

Smirnov, V. I., 1982. Geología de yacimientos minerales. *MIR*. Moscú. 654 pp.

Wood, S. A. And Samson, I. M. 2000. The hydrothermal geochemistry of tungsten in granitoid environments: I relative solubilities of Ferberite and Scheelite as a function of T, P, pH and m_{NaCl} . *Economic Geology* 95, 143-182.

Xiao-Lin Xiong; Wei-Zhou Shen; De-Zi Wang; Xiao-Long Huang and Ru-Cheng Wang 1999. An F-rich, Sn-bearing Volcanic-Intrusive Complex in Yambei, South China. *Economic Geology* 94, 325-342.

Original recibido: Noviembre de 2000.

Original aceptado: Marzo de 2001.