

El yacimiento de estaño Vil Achay, Catamarca

Ana S. FOGLIATA¹ y Julio C. AVILA^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, 4000 San Miguel de Tucumán. E-mail: fogliat@csnat.unt.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. E-mail: jcvila@csnat.unt.edu.ar

RESUMEN. El yacimiento de estaño Vil Achay está ubicado en el flanco suroriental de la sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. Las rocas más antiguas aflorantes son anfíbolitas pertenecientes al Gabro Fiambalá de edad ordovícica. Están intruidas por el granito El Salto de posible edad carbonífera. En las cercanías del contacto entre ambas unidades aflora un dique granítico emplazado en las anfíbolitas, portador de la mineralización. La alteración hidrotermal en el dique granítico corresponde a albitización y greisenización. La mineralización (casiterita) se encuentra diseminada en el dique. Existen sectores con mayor concentración de casiterita controlados por fracturas subverticales cerca del contacto oeste del dique. Se identificó la siguiente secuencia mineral: casiterita, magnetita, wolframita (escasa), calcopirita, pirita, covelina, calcosina, hematita, limonita, malaquita y azurita. El granito El Salto es meta a peraluminoso, postectónico, enriquecido en Rb, Nb, Y y Sn. La distribución de las tierras raras muestran fuerte fraccionamiento en tierras raras pesadas y relativo en tierras raras livianas. Tal fraccionamiento es indicativo de la actividad de los aniones de F en los fluidos mineralizantes. La gran actividad del F en los fluidos es responsable de la mineralización de Sn en greisen. Se propone que el depósito forma parte de un sistema tipo greisen abierto rico en F durante el estadio tardío magmático hidrotermal genéticamente relacionado con el granito El Salto.

Palabras clave: *Yacimiento de estaño, Greisen, Catamarca, Argentina.*

ABSTRACT. *The Vil Achay tin deposit of Catamarca, Argentina.* The Vil Achay tin deposit is located on the south-eastern flank of Sierra de Fiambalá in the province of Catamarca. The oldest exposed rocks are amphibolites of the Fiambalá Gabbro (Ordovician), intruded by the El Salto Granite of possible Carboniferous age. Within the amphibolites, near the contact between the two units, is a mineralized granitic dyke, exhibiting hydrothermal alteration (albitization and greisenization). Cassiterite is disseminated in the dyke. Near the western contact of the dyke are zones with cassiterite concentration controlled by subvertical fractures. The following mineral sequence has been identified: cassiterite, magnetite, wolframite (scarce), chalcopirite, pyrite, covellite, chalcosine, hematite, limonite and azurite. El Salto Granite is of post-orogenic, meta- to peraluminous type, enriched in Rb, Nb, Y and Sn. Rare earth element distributions in whole-rock exhibit strong fractionation of HREE relative to LREE. Such fractionation is indicative of the activity of F⁻ anions in the mineralizing fluids. High activity of F in the fluids is responsible for Sn greisen mineralization. It is suggested that the deposit is part of a F-rich open greisen system, formed during the late magmatic hydrothermal stage genetically linked to El Salto Granite.

Key words: *Sn deposit, Greisen, Catamarca, Argentina*

Introducción

El yacimiento de estaño Vil Achay se encuentra ubicado en el sector suroriental de la sierra de Fiambalá en el departamento Tinogasta, al noroeste de la provincia de Catamarca.

El acceso se realiza por una huella minera mal conservada que sale de la antigua ruta 40 aproximadamente 32 kilómetros al norte de la localidad de Tinogasta. El yacimiento está a mitad de camino entre la quebrada El Salto y la quebrada de Tranco Largo (Fig.1).

El yacimiento fue explotado de manera discontinua en la segunda mitad del siglo pasado hasta avanzada la década del ochenta. El mineral minado, casiterita, era concentrado por métodos gravitacionales en una planta ubicada en las cercanías de la localidad de Tinogasta.

Los estudios regionales de la sierra fueron realizados

por Penk (1920), González Bonorino (1972), Grissom (1991), Grissom *et al.* (1991) y Page *et al.* (1992). Estudios específicos en el área fueron realizados por Tezón (1957), Cravero (1974), Tomsic (1979), Avila (1982) y Fogliata y Avila (2002).

El objetivo principal de este trabajo es establecer el origen y la evolución del sistema hidrotermal que generó el yacimiento bajo análisis para lo cual se llevó a cabo el estudio mineralógico, petrológico y geoquímico de la mena, de la roca granítica asociada y de las alteraciones hidrotermales.

Marco geológico regional

La sierra de Fiambalá forma parte de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Occidentales (Ramos

1999), cuyo basamento está estructuralmente conformado por bloques limitados por fallas inversas de alto ángulo y vasculados hacia el este.

El basamento está constituido por esquistos, gneises y migmatitas de edad precámbrica. Estas rocas metasedimentarias están intruidas por el Ortogneis La Puntilla (Penk 1920; González Bonorino 1972) que consiste en granitoides de tipo aluminoso, pretectónicos que afloran al suroeste de la sierra. Su edad es cámbrica (550 Ma) según una datación U/Pb de Grissom (1991).

El Gabro Fiambalá aflora en una franja de 25 km² de posición oblicua al rumbo general de la sierra. Son gabros noríticos, duníticos y lherzolíticos metamorfozados. En el margen oeste y extremo sureste afloran rocas ultramáficas (Villar 1970; Page *et al.* 1992). Estas rocas gábricas, fueron datadas por Grissom (1991) arrojando edades ordovícicas (501 Ma). Un proceso de metamorfismo regional afectó al gabro y dio origen a rocas de la facie anfíbolita, que están ampliamente distribuidas.

Existen en la sierra varios stocks graníticos de tipo posttectónico y epizonal. Los tres cuerpos graníticos principales se ubican de norte a sur, aproximadamente en el sector central de la sierra: Los Ratones, Cuestanzune y La Florida. Grissom (1991) en base a dataciones por el método U-Pb le asigna edad carbonífera (335 Ma) al granito Los Ratones, extrapolando la misma a los otros cuerpos que afloran en la sierra de similares características. Existen asimismo otros cuerpos graníticos de menor tamaño como el granito El Salto y Ayacucho, entre otros, que afloran en la ladera oriental de la sierra de Fiambalá. En general tienen composición granítica y están asociados con elementos tales como Sn, W, U y S. La secuencia estratigráfica continúa con sedimentos terciarios y sedimentos cuaternarios no consolidados.

El yacimiento

Características generales

El basamento metamórfico de la zona de estudio consiste en anfíbolitas pertenecientes al Gabro Fiambalá. La anfíbolita es una roca de color gris verdoso oscuro y de grano medio a fino en general homogénea, aunque también hay sectores que presentan bandeamiento. Tiene textura granoblástica y está compuesta por hornblenda, plagioclasa básica (bitownita) y como minerales accesorios presenta titanita y apatita.

El granito El Salto, de carácter intrusivo y contacto neto con la anfíbolita aflora en el área con forma elongada, rumbo general norte y una extensión aproximada de 7 kilómetros (Avila 1982). En las proximidades del yacimiento el afloramiento del intrusivo tiene un ancho de 170 m, el contacto con las metamorfitas tiene un buzamiento de 75° E.

El granito es de color blanco amarillento, textura equigranular y tamaño de grano medio (1 a 3 mm), cuyo único accesorio observable a simple vista es biotita, la que aumenta considerablemente su contenido en los sectores cercanos al contacto con la anfíbolita. Presenta cuar-

zo, plagioclasa (albita o andesina), ortosa, y escasos accesorios como biotita, apatita y circón. El intercrecimiento de cuarzo con plagioclasa y con feldespato potásico origina texturas mirmequítica y gráfica respectivamente. Puede observarse un cuarzo granular de segunda generación que es intersticial, intensa caolinitización de los feldespatos y cloritización en las biotitas.

El dique granítico que aloja la mineralización aflora en forma subparalela al contacto del granito El Salto y la anfíbolita. El dique mineralizado tiene un rumbo submeridiano y un buzamiento en superficie entre 50° y 60° O y un espesor que varía entre 6 y 9 metros. El afloramiento tiene una corrida de aproximadamente 300 metros. Debido a la topografía del área se pudo reconocer el dique en un desnivel de 90 metros.

El dique fue explotado en seis niveles. El nivel inferior es el nivel cero. La distancia vertical entre cada nivel es variable. En los niveles 0, 1 y 2 se emplearon métodos subterráneos, mientras que en los niveles superiores se explotó a cielo abierto.

Las fracturas (fallas y diaclasas) que afectan al dique y a las anfíbolitas de las cajas tienen en general alto buzamiento a subverticales y las siguientes orientaciones principales: noroeste, nor-noroeste y este-noreste.

En el contacto oeste del dique granítico existen fracturas subverticales de rumbo submeridiano dispuestas *en echelon* y otras con alto buzamiento al oeste que fueron consideradas como fracturas de tipo sigmoide por Avila (1982). Estas fracturas se encuentran limitando sectores del dique granítico con mayor concentración de mineralización.

El dique granítico es una roca de color rojo, textura equigranular y tamaño de grano medio (2 a 3 mm) compuesta por cuarzo, ortosa, albita y fluorita, esta última se encuentra relleno de espacios entre los otros minerales. En algunos sectores se incrementa su coloración rojiza debido a que presenta su superficie impregnada principalmente por hematita y limonita.

Al oeste del dique granítico mineralizado, emplazado en las anfíbolitas, se observa un dique aplítico de composición granítica. El afloramiento tiene una corrida de aproximadamente 80 m y un espesor promedio de 1,5 metros. Tiene rumbo general noroeste inclinación de 50° al SO. No presenta mineralización.

Alteración hidrotermal

En el yacimiento de estaño Vil Achay la alteración hidrotermal afectó principalmente al dique granítico. Es posible distinguir dos tipos: albitización y greisenización.

Albitización: es un fenómeno común en los yacimientos diseminados de estaño asociados a greisen y es el resultado del metasomatismo sódico durante el estadio final de la cristalización magmática (Taylor 1979).

En el caso de Vil Achay, la albitización afecta a la mayor parte del dique granítico y es de tipo pervasiva. A escala microscópica se evidencia por un incremento en el desarrollo de cristales de albita secundaria que se encuentran

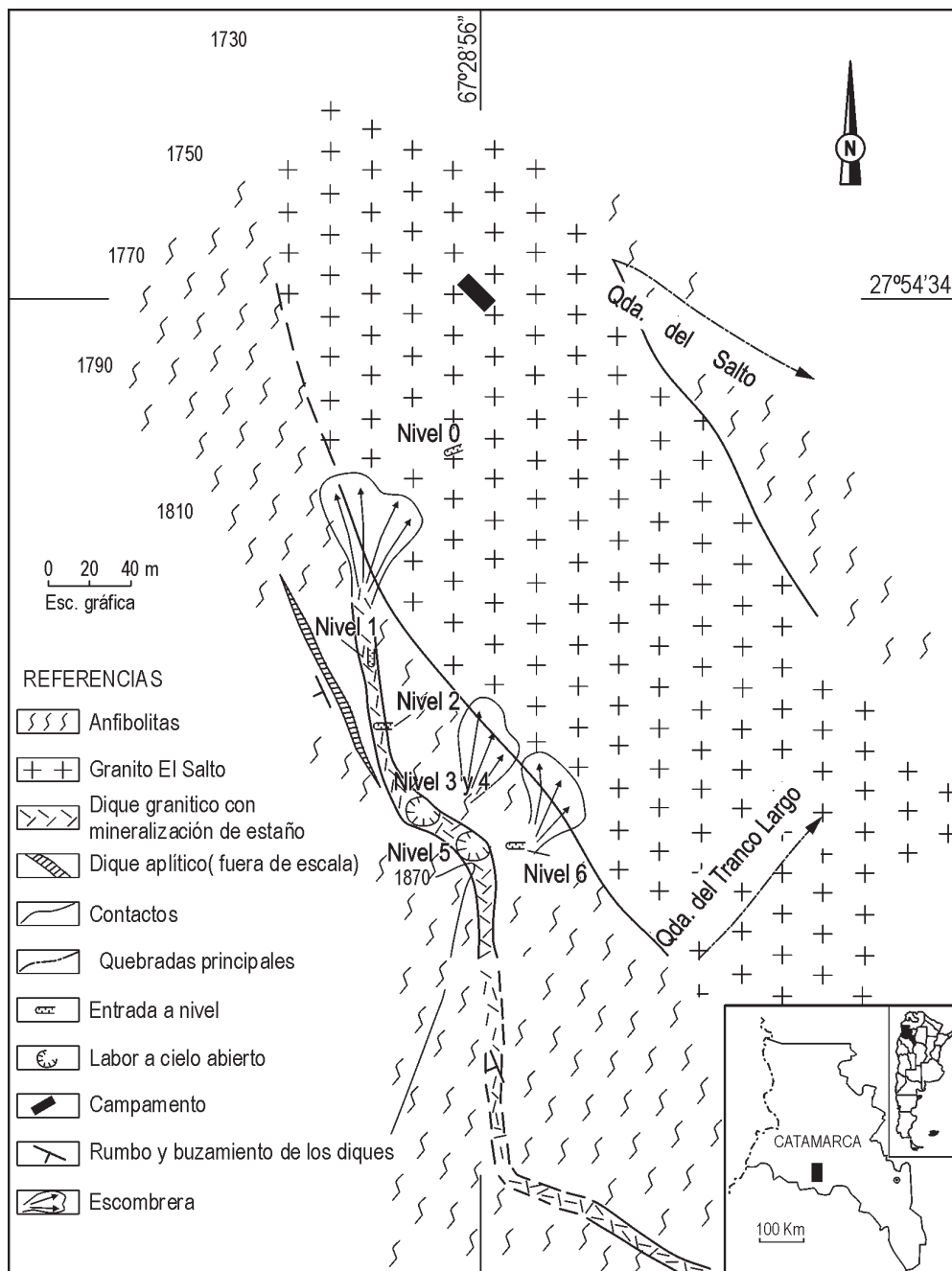


Figura 1: Yacimiento Vil Achay. Geología de Superficie. Modificado de Avila (1982).

alterando a los feldespatos preexistentes en el granito. En estos sectores se observa microscópicamente que la roca tiene textura porfírica constituida por fenocristales de albita maclada rodeada por otros cristales de menor tamaño de la misma composición. Asimismo, el crecimiento de pequeños cristales de albita con sus maclas deformadas dispuestos en venas y en parches sobre el resto de los feldespatos del granito original son una clara evidencia de este tipo de alteración.

Junto a la albita se desarrolla de manera intersticial una mica incolora a amarillenta que podría tratarse de zinwaldita.

Greisenización: se reconoce sobreimpuesta a la albitización en determinados sectores del dique granítico. Su desarrollo es moderado, incrementándose su intensidad en las zonas cercanas al contacto con la anfibolita. Está representada por una roca de color rojo en la que puede observarse que la textura original del granito fue modificada en gran parte. Quedan sólo algunos minerales remanentes del granito albitizado especialmente restos de feldespatos con sus superficies sericitizadas y escasos cuarzos subhedrales.

La paragénesis del greisen desarrollado consiste en: clorita, sericita, fluorita, topacio y escaso cuarzo.

La clorita es uno de los minerales más abundantes. Reemplaza totalmente a las biotitas del granito original. Hay sectores en donde se la observa también formando venas de reemplazo.

La sericita es abundante y está alterando principalmente a los feldespatos aunque también se desarrolla en venillas. La fluorita es anhedral y aparece de manera intergranular generalmente asociada a los minerales de mena. El topacio está presente en menor proporción que los minerales mencionados anteriormente, se lo observa como pequeños cristales anhedrales algo redondeados.

Mineralización

La mineralización se encuentra diseminada en el dique granítico en los sectores greisenizados. Existen zonas con mayor concentración de casiterita que están controladas por fracturas subverticales cerca del contacto oeste del dique con la anfibolita. Se identificó la siguiente secuencia mineral:

Casiterita: se la observa en individuos grandes de hasta 4 mm, maclados y con zonación. Aparece diseminada principalmente en el dique granítico, aunque también se distribuye en menor proporción y diseminada dentro de la anfibolita, pero siempre en las zonas cercanas al contacto con el dique granítico.

También se observa a la casiterita formando agregados de pequeños cristales en venillas tipo *stockworks* en las zonas del dique granítico con greisenización lo cual evidencia que la mineralización es posterior a la greisenización.

Wolframita: en una muestra del dique granítico, Avila (1982) describe un individuo prismático de wolframita asociado íntimamente a casiterita.

Magnetita: constituye el segundo mineral de mena en orden de abundancia. Se desarrolla en cristales idiomórficos cuyos tamaños varían entre 300 micrones y 1 mm. Su distribución es irregular y acompaña a la casiterita tanto en el dique granítico como en las zonas de contacto dique granítico-anfibolita. Algunos cristales de magnetita fueron alterados parcialmente a hematita, indicando un proceso secundario de martitización zonal.

Pirita: muy escasa. Se la observó en pequeños cristales junto a calcopirita incluida en cristales de magnetita. Generalmente aparece como relictos, ya que fue reemplazada por hematita.

Calcopirita: es muy escasa. En algunas muestras se observaron diminutos granos de calcopirita parcialmente alterados a limonita, calcosina y covelina. La calcopirita aparece como inclusiones en la magnetita.

Covelina-calcosina: en las muestras estudiadas ambos minerales son supergénicos. Se las observa como laminitas dispersas de escaso desarrollo.

Hematita: este mineral es supergénico. Presenta hábito fibroso. Tiene una distribución irregular y se la observa alterando parcialmente a la magnetita.

Limonita: este mineral supergénico sólo fue observado en finas venillas en el dique granítico. En algunos

Minerales	Etapas			
	I	II	III	IV
Albita	—			
Zinwaldita	—			
Fluorita		—		
Clorita		—		
Cuarzo			
Sericita		—		
Topacio		—		
Casiterita			—	
Wolframita			
Magnetita			—	
Calcopirita			—	
Pirita			—	
Covelina			
Calcosina			
Hematita				—
Limonita			
Malaquita			
Azurita			
Natrojarosita			

Figura 2: Diagrama paragenético del yacimiento de estaño Vil Achay (Fogliata y Avila 2002).

sectores está alterando parcialmente a la calcopirita.

Malaquita-Azurita: ambos minerales supergénicos fueron observados con mayor desarrollo en el contacto entre el dique granítico y la roca de caja. Aparecen formando impregnaciones o pátinas verde azuladas.

Natrojarosita: mineral supergénico citado por Dristas y Montes (1981) como finas venillas distribuidas en el dique granítico greisenizado. La figura 2 ilustra el diagrama paragenético del depósito.

Caracterización geoquímica de las rocas graníticas

El muestreo para análisis químico se llevó a cabo en el granito El Salto en afloramientos cercanos al yacimiento y en sectores representativos a lo largo del dique granítico mineralizado.

Los análisis geoquímicos fueron realizados en Canadá por Acme Analytical Laboratories S. A. Los elementos mayoritarios, trazas y tierras raras se analizaron por ICP-MS. También se analizó F y B en las rocas graníticas. En el caso del B se utilizó el método por digestión ácida ICP. El F fue analizado por fusión con electrodo de ión-específico. Los elementos metálicos y trazas analizados para exploración (Au+33) se determinaron por ICP-ES.

En el diagrama de aluminosidad de Maniar y Piccoli (1989) de la figura 3, se observa que las muestras del granito El Salto corresponden a un granito metaluminoso a peraluminoso, mientras que las del dique granítico caen

Cuadro 1: Composición química de elementos mayores (%), trazas y tierras raras (ppm).

	F8	F12	F9	E2	F4	F10	D	F5	A	B	C	Granito El Salto	Granito	Granito Especializado
SiO ₂	74,64	76,02	75,77	75,74	75,17	67,58	54,41	55,94	47,91	54,15	41,39	77,47	71,42	74,30±1,39
Al ₂ O ₃	12,44	12,73	12,62	12,98	13,09	16,43	15,8	16,49	11,59	17,62	12,33	12,77	14,45	14,45±1,07
Fe ₂ O ₃	1,91	1,84	1,71	1,42	1,97	3,09	14,76	6,71	15,29	10,74	18,22	1,77	1,32	0,81±0,47
MgO	0,06	0,15	0,06	0,05	0,04	0,08	0,13	3,83	0,06	0,11	0,09	0,07	0,82	0,48±0,56
CaO	0,82	0,88	0,51	0,36	0,54	1,09	3,3	7,51	6,14	3,14	5,31	0,62	1,91	0,76±0,41
Na ₂ O	4,93	0,2	3,51	4,11	3,62	8,82	7,76	3,19	5,77	7,2	5,5	3,27	3,47	3,24±0,61
K ₂ O	3,63	4,86	5,05	4,66	4,67	1,00	0,77	1,55	0,38	1,03	0,5	4,57	4,38	4,75±0,68
TiO ₂	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,85	0,06	0,02	0,04	0,04	0,34	0,16±0,10
P ₂ O ₅	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,01	0,01	0,53	0,02	0,03	0,02	-	-	-
MnO	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,09	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,05±0,04
Cr ₂ O ₃	0,015	0,021	0,027	0,047	0,027	0,011	0,009	0,016	<0,01	0,01	<0,01	-	-	-
LOI	1,5	3,2	1,1	1	1,2	2,2	2,7	3,2	3,1	5,6	4,2	-	-	-
Ba	7	15	8	13	6	22	23	105	13	23	27	9,8	250	-
Co	2	1,8	1,3	1,3	2,5	1,7	8,2	25,5	10,1	4,5	15	1,8	1	-
Cs	5,3	8	8,6	9,7	8,3	3,9	11,1	9,5	14,6	3,4	7,2	7,9	5	-
Ga	39,5	37,3	40,4	42,1	41,3	37,1	42,2	33,5	41,1	50,5	40,4	40,1	-	-
Hf	10	7,7	7,6	12,9	8,1	7,5	7,6	2,2	3,9	10,6	9,8	9,2	4	-
Nb	71	69,4	67,4	67,8	66,5	64	21,7	23,1	35,9	73,3	109,8	68,4	20	-
Rb	581,4	939,7	1023	936	942,5	263,5	211,5	446,3	80,9	268,4	153,3	884,5	150	550±200
Sn	22	22	430	296	143	79	1415	553	32050	1856	74150	182,6	3	30±15
Sr	14,2	13,2	10,3	3,3	12,4	86,8	130,6	153,4	79,4	106,8	167,3	10,7	285	40±20
Ta	18,2	17,9	15,4	10,8	15,6	13,2	4,7	16,7	3,4	15,7	12,3	15,6	-	-
Th	41,7	54,4	58,9	49,4	40,3	55,9	43,2	5,5	25,8	70,3	45,3	48,9	17	-
Tl	3,4	4	3,4	2,7	2,5	1,9	0,8	1,8	0,9	1,1	0,7	3,2	-	-
U	8,1	19,4	8,2	7,8	5,8	11,3	9,7	1,9	7,2	23,5	10,8	9,8	4,8	-
V	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	166	<5	7	<5	-	20	-
W	10	9	58	6	5	13	12	11	82	23	269	17,6	2	7±3
Zr	107	103,4	99,1	121,1	84,4	104,4	81,7	26,6	47,2	113,8	107,6	103	-	-
Y	114,2	149,9	130,7	103,6	125,6	130,5	143	28,1	63,5	138,5	85,8	124,8	40	-
La	21	28,2	25,5	24	21,7	37,5	40,8	12,8	8,4	10,9	42	20,1	55	-
Ce	55,5	75	62,1	62,9	46	93,7	80,4	32,6	19,8	22,8	89	60,3	104	-
Pr	7,09	9,48	8,15	8,5	6,38	11,57	9,79	4,65	2,72	3,34	11,17	7,9	-	-
Nd	27,7	38,2	36,3	35,9	26,7	45,6	41,4	23,9	13	15,9	46,2	32,9	47	-
Sm	9,8	12,3	12,1	11,7	9,1	14	14,2	6,3	5	7,3	13,1	11	8	-
Eu	0,08	0,09	0,03	0,03	0,03	0,09	0,09	0,95	0,08	0,06	0,1	0,05	1,1	-
Gd	10,19	12,7	13,6	12,38	9,52	13,69	15,18	5,59	5,75	9,04	8,89	11,7	7,4	-
Tb	2,39	2,97	2,65	2,46	2,1	3,14	2,91	0,89	1,02	2,39	1,64	2,5	1,1	-
Dy	15,18	18,81	18,1	15,44	14,18	18,84	18,87	5,55	6,06	18,24	9,82	16,3	6,2	-
Ho	3,43	4,22	3,61	2,86	2,98	4,02	3,77	0,94	1,17	4,24	1,93	3,4	-	-
Er	11,19	13,94	11,2	8,63	9,41	12,43	11,77	2,74	3,64	13,8	5,91	10,8	-	-
Tm	1,96	2,27	2,07	1,66	1,91	2,08	2,21	0,44	0,72	2,78	1,17	1,97	0,69	-
Yb	12,47	15,29	14,51	11,33	14,78	13,31	15,58	3,1	5,72	20,61	9,2	13,67	4,3	-
Lu	1,94	2,3	1,94	1,58	2,1	1,99	2,18	0,36	0,93	2,87	1,34	1,97	0,68	-

Columna 1 a 5 granito El Salto; columna 6 a 11 dique granítico mineralizado; columna 12 granito El Salto (promedio); columna 13 granito según Krauskopf (1967, en Kamilli y Criss 1996), los valores de tierras raras son de Wedepohl (1995); columna 14 granito especializado según Tischendorf (1977).

todas en el campo metaluminoso. La agrupación de las muestras del dique mineralizado en el campo metaluminoso se interpreta como una variación en el contenido de los cationes Ca, Na y K por los procesos de alteración hidrotermal que afectan al mismo.

En el Cuadro 1 se presenta la composición química de los elementos mayores, trazas y tierras raras correspondientes al granito El Salto y al dique granítico mineraliza-

do. En el mismo se incluyó los valores promedio del granito El Salto, los promedios de un granito según Krauskopf (1967 en Kamilli y Criss 1996) y de un granito especializado según Tischendorf (1977).

El granito El Salto está enriquecido con respecto a los valores promedios de un granito en Si₂O, K₂O, Fe₂O₃ y en trazas como Cs, Ga, Hf, Ta, Th, U, y W. Presenta un enriquecimiento aún mayor en Nb, Rb, Y y Sn. Este último

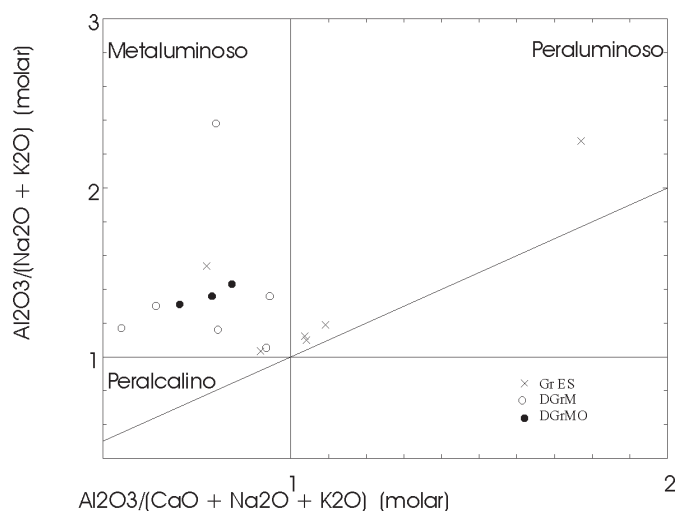


Figura 3: Diagrama de Maniar y Piccoli (1989). GrES: granito El Salto, DGrM: dique granítico mineralizado, DgrMO: Dique granítico mineralizado de zonas más oxidadas.

elemento llega a tener valores entre 20 y 400 ppm, contenidos éstos muy superiores a los de un granito. Se aprecia además una disminución en el contenido de MgO, CaO, TiO₂ y trazas como Ba y Sr.

Presenta enriquecimiento en tierras raras pesadas (HREE) y un decrecimiento en las tierras raras livianas (LREE).

Asimismo se observa que el granito El Salto tiene tenores similares al granito especializado en lo que respecta a los elementos mayores y menores. En lo que respecta a los valores comparables de trazas hay mayores contenidos en Rb y W y aún más en Sn.

De la comparación entre el granito El Salto y las muestras correspondientes al dique granítico (afectado por albitización, greisenización y oxidación) se observó en el dique una considerable disminución en el contenido de SiO₂ y un enriquecimiento en Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, Na₂O y en trazas como Sn, Sr y W. En lo que respecta al Sn alcanza valores que oscilan entre 0,1 % y 7,4 %.

Además hay decrecimiento en el contenido de K₂O. Los valores de tierras raras livianas (LREE) disminuyen y se incrementan los de tierras raras pesadas (HREE).

Esta variación en el contenido de los elementos trazas también está representada en un diagrama de elementos trazas normalizados a condritos (Fig. 4) según Thompson (1982).

Se realizaron análisis por F y B en el granito El Salto y en el dique mineralizado (Cuadro 2). Ambas facies tienen un elevado contenido en F. El B en la mayoría de las muestras analizadas no llega al límite de detección.

La figura 5 corresponde a un diagrama de tierras raras normalizado a condritos según la normalización de Sun (1980) y evidencia el fuerte fraccionamiento que presentan las tierras raras pesadas (HREE) tanto en las rocas graníticas sin alteración como en las asociadas a alteración hidrotermal de la zona de estudio.

En el Cuadro 3 están expresados los valores de algunos

Cuadro 2: Análisis de boro y flúor

Muestras	B	F
F7	<1	16940
F8	<1	5720
F12	5	7740
F10	<1	5940

Valores expresados en ppm. Granito El Salto (F7, F8 y F12). Dique granítico (F10).

elementos metálicos y trazas analizados para exploración. Las muestras corresponden al dique granítico y pueden observarse contenidos elevados de Cu, Pb, Zn, Fe y Bi. Algunas muestras arrojan llamativos valores anómalos de Ag y Au (la Ag con valores entre 0,4 y 16 ppm y las anomalías de Au oscilan entre 2 y 3 ppm).

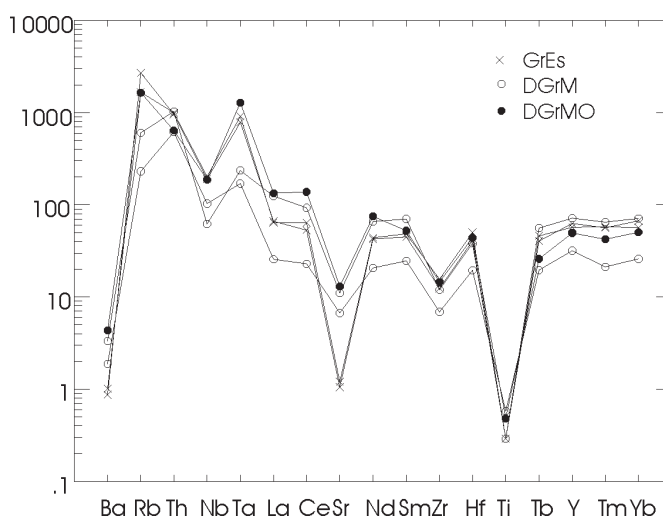


Figura 4: Diagrama de elementos trazas normalizado a condritos de Thompson (1982). Referencias: como en la figura 3

Discusión y conclusiones

El yacimiento Vil Achay consiste en un depósito de estaño en donde la mineralización, principalmente casiterita, se encuentra diseminada dentro de un dique de composición granítica vinculado espacialmente a un cuerpo granítico de posible edad carbonífera denominado granito El Salto. Este cuerpo tiene carácter meta a peraluminoso y posttectónico.

Las evidencias mineralógicas y texturales indican que la alteración hidrotermal presente en este depósito comienza con un proceso de metasomatismo sódico en el dique granítico durante el estadio final de cristalización magmática. Este proceso se manifiesta bajo la forma de albitización y los efectos del mismo pueden evidenciarse también en el quimismo de la roca, a través de un incremento en el contenido de Na₂O.

La albitización que resulta de un enriquecimiento en el fundido residual de Na y F, es común en las zonas más

Cuadro 3: Análisis químicos del dique granítico mineralizado.

	D	F5	A	B	C	72552	72556	72553	72558	RN1	N4
Mo	6	3	5	12	4	12	7	8	28	4	17
Cu	1086	72	23724	1218	1201	1209	923	926	2204	631	7313
Pb	12	10	18	409	45	47	17	33	571	23	27
Zn	71	73	87	349	99	44	118	183	302	12	131
Ag	0,4	<0,3	5,4	5,2	2,3	2,1	4,4	<0,3	16,6	<0,3	1,4
Ni	4	16	3	4	5	3	5	3	3	3	3
Co	6	18	6	2	11	40	27	27	4	4	11
Mn	185	429	102	82	179	240	473	751	47	60	344
Fe	8,85	2,66	10,06	6,83	11,91	1,21	16,23	9,28	4,24	0,4	4,95
As	<2	<2	<2	6	<2	<2	8	<2	15	<2	5
U	<8	<8	<8	22	8	<8	<8	<8	<2	<8	<8
Au	<2	<2	3	3	<2	<2	2	2	<2	<2	<2
Th	40	5	25	60	41	31	7	4	48	14	21
Sr	72	92	47	35	95	48	68	146	44	37	69
Cd	0,4	0,3	0,3	0,2	0,9	0,2	1,1	1,2	<2	<0,2	<0,2
Sb	<3	<3	<3	4	<3	<3	<3	<3	3	<3	3
Bi	29	<3	43	242	106	77	255	20	372	211	14
V	2	102	6	5	4	1	24	36	1	1	5
Ca	2,31	3,59	4,36	2,19	3,85	4,11	8,39	5,7	3,58	1,84	3,68
P	<0,001	0,241	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	0,007	<0,001	<0,001	<0,001
La	38	12	9	10	40	6	56	5	15	14	28
Cr	17	58	28	45	16	29	33	40	24	47	11
Mg	0,04	1,2	0,04	0,02	0,07	0,04	0,23	0,42	0,04	<0,01	0,06
Ba	15	48	9	14	20	7	26	27	14	4	14
Ti	0,01	0,14	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,11	0,07	<0,1	<0,01	0,01
B	6	12	12	26	12	4	37	6	17	<3	16
Al	2,2	3,92	3,04	2,53	3,01	3,64	3,11	4,2	3,55	1,2	3,62
Na	1,39	0,39	1,9	0,99	1,49	1,85	1,46	1,37	1,17	0,97	1,56
K	0,4	0,53	0,2	0,53	0,28	0,41	0,66	0,68	0,78	0,08	0,86
W	10	5	20	8	104	7	11	41	8	7	6
Tl	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Los valores de los elementos están expresados en su mayoría en ppm, (Fe, Ca, P, Mg, Ti, Al, Na y K) se expresan en %. Las muestras correspondientes a las 6 últimas columnas presentan mayor grado de alteración hidrotermal y mayor oxidación.

altas de las cúpulas graníticas y en fracturas (Pirajno 1992).

Este proceso es seguido por greisenización en donde los fluidos hidrotermales se caracterizan por un enriquecimiento en la a_F y la a_{HF} y la destrucción de los minerales graníticos para formar una paragénesis nueva que en el caso de Vil Achay es: clorita, sericita, fluorita, topacio, escaso cuarzo.

Según Bilal *et al.* (1979 en Taylor y Fryer 1983) la distribución de las tierras raras en las rocas de caja y en muestras de greisen asociados con mineralización de Sn, W y Mo presentan un fuerte fraccionamiento en las tierras raras pesadas y relativo en las tierras raras livianas. Este fraccionamiento es un indicativo importante de la actividad de aniones como el F^- en los fluidos responsables de la mineralización de Sn en greisen, y la estabilidad de REE-F crece desde el La al Yb. Esto se evidencia con la presencia de minerales ricos en F, como la ocurrencia de fluorita en el caso de Vil Achay.

Según Pirajno (1992) la sílice liberada por las reacciones de formación de greisen precipita para formar agregados de cuarzo granular y vetas de cuarzo. Es probable que en Vil Achay las vetas se hayan formado en niveles superiores actualmente erosionados.

En el estadio final de la greisenización se produce la depositación mineral comenzando por la depositación de casiterita, seguida por wolframita, magnetita, calcopirita y pirita. Existe en Vil Achay un fuerte proceso posterior de oxidación, sobre todo en el dique granítico. La alteración supergénica se manifiesta con el desarrollo de los siguientes minerales: calcosina, covelina, hematita, limonita, malaquita, azurita y natrojarosita.

El hecho de que la alteración y la mineralización estén alojadas en el dique está indicando que se trata de un sistema hidrotermal abierto que excedió la cúpula granítica (Pirajno 1992).

El Granito El Salto tiene en su formación un contenido de Sn que es superior a los de un granito. El transporte

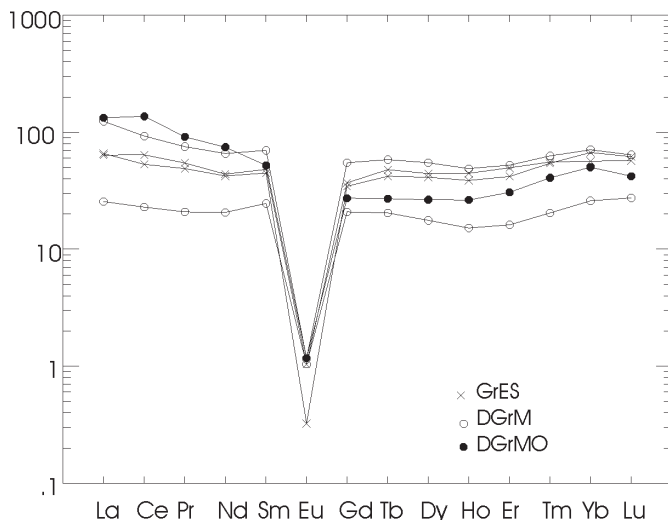


Figura 5: Diagrama de tierras raras normalizado a condritos de Sun (1980). Referencias: como en la figura 3

del Sn podría haber ocurrido como complejo de F y su actividad en los fluidos hidrotermales puede ser comprobada por la movilización y el fraccionamiento de las tierras raras pesadas (Taylor y Fryer 1983). Las rocas graníticas con mineralización de Sn y asociadas a greisenización muestran enriquecimiento en tierras raras pesadas y evidencia la importancia del F⁻ en el transporte de ese elemento.

La precipitación de casiterita en el dique granítico podría ocurrir por un aumento en la f_{O_2} , aumento de pH, disminución de la temperatura o por una combinación de estos factores. Asimismo la reacción con la roca de caja suada a los factores estructurales también contribuyeron a la acumulación económica de casiterita.

En base a la paragénesis mineral, las texturas, el tipo de alteración y el quimismo, se concluye que este yacimiento es hidrotermal tipo greisen abierto rico en F vinculado genéticamente al granito El Salto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Tucumán y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por el apoyo económico para la realización del presente trabajo. Asimismo agradecen a los árbitros por las correcciones y sugerencias realizadas.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Avila, J.C., 1982. Estructura y mineralización del yacimiento de estaño Vil Achay, provincia de Catamarca, Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología (Buenos Aires), Actas 2: 633-651.
 Cravero, O.V., 1974. Estudio geológico minero mina Vil Achay. Plan NOA Geológico Minero (Inédito).

- Dristas, J.A. y Montes, M., 1981. Natrojarosita en la mina Vil Achay, provincia de Catamarca. VIII Congreso Geológico Argentino (San Luis), Actas IV: 373-382.
 Fogliata, A.S. y Avila, J.C., 2002. Alteración hidrotermal en el depósito de estaño Vil Achay, Catamarca, Argentina. En: M. K. de Brodtkord, M. Koukharsky y P. R. Leal (Eds.). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.B.A. Mineralogía y Metalogía 2002: 139-142, Buenos Aires.
 González Bonorino, F., 1972. Descripción geológica de la Hoja 13c, Fiambalá, provincia de Catamarca. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 127: 1-73, Buenos Aires.
 Grissom, G.C., 1991. Empirical constraints on thermal processes in the deep crust of magmatic arcs: sierra de Fiambalá, northwestern. Stanford University, Ph.D. Thesis. 262 pp (inédita).
 Grissom, G.C., De Bari, S.M., Page, S., Page R.F.N., Villar, L.M., Coleman, R.G. y Viruel de Ramírez, M., 1991. The deep crust of an Early Paleozoic Arc; the Sierra Fiambalá, Northwestern Argentina. En: Harmon R.S. y Rapela C.W. (Eds.): Andean Magmatism and its Tectonic Setting. Geological Society of America, Special Paper 265: 189-200.
 Kamilli, R.J. y Criss, R.E., 1996. Genesis of the Silsilah Tin Deposit, Kingdom of Saudi Arabia. Economic Geology 91:1414-1434.
 Maniar, P. y Piccoli, C., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geology Society of American, Bulletin 101: 635-643.
 Page, S., Page, R. y Viruel de Ramírez, M., 1992. El basamento de la Sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. Revista Asociación Geológica Argentina 47(4): 373-388. Buenos Aires.
 Penk, W., 1920. Der Südrand der Puna de Atacama (NW-Argentinien). Ein Beitrag zur Kenntnis des Andinen Gebirgstypus und der Frage der Gebirgsbildung. Der Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, 1: 3-420. Leipzig.
 Pirajno, F., 1992. Hydrothermal mineral deposits. Principles and fundamental concepts for the exploration geologist. Springer-Verlag, 709 p., Berlin-Heidelberg-New York.
 Ramos, V., 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos, R. (Ed.): Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 41-96, Buenos Aires.
 Sun, S.S., 1980. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean island and island arcs. Philosophical Transaction of the Royal Society of London A297: 409-445.
 Taylor, R., 1979. Geology of tin deposits. Elsevier Scientific Publishing Company. 543 pp Amsterdam, Oxford, New York.
 Taylor, R.P. y Fryer, B.J., 1983. Rare earth element lithogeochemistry of granitoid mineral deposits. Canadian Institute of Mineralogy and Metallurgy, Bulletin 76: 74-84.
 Tezón, R.V., 1957. Minería de la Hoja 13c, Fiambalá. Provincia de Catamarca., Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales 5: 127, Buenos Aires.
 Thompson, R.N., 1982. British tertiary volcanic province. Scottish Geology 18: 49-107.
 Tischendorf, G., 1977. Geological and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks with rare element mineralization. In: Stemprok, M., Burnol, L. and Tischendorf, G. (Eds.): Metalization associated with acid magmatism. Geological Survey, 2: 41-96. Prague
 Tomsic, S.G., 1979. Estudio geológico económico del sector sur-oriental de la Sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán 81 p. (Inédito).
 Villar, L.M., 1970. La Faja Ultrabásica de la sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca, República Argentina. Simposio sobre los resultados de Investigaciones del Manto Superior con énfasis en América Latina, 2: 399-409, Buenos Aires.
 Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta 59(7): 1217-1232.

Recibido: 28 de febrero, 2002

Aceptado: 16 de diciembre, 2003