

Estudio de inclusiones fluidas de las vetas de cuarzo en el granito Rodeo de Los Funes, Sierra de La Ramada, Tucumán

Graciela MAS^{1,2}, Dora L. RUIZ³ y Julio C. AVILA^{3,4}

Resumen: La zona de estudio está ubicada en el faldeo oriental de la Sierra de La Ramada, la cual, junto con las Sierras del Campo, el Nogalito y Medina integran las llamadas Sierras del Noreste de Tucumán, pertenecientes al Sistema de Santa Bárbara. El basamento de la sierra está constituido por filitas y pizarras de la Formación Medina de edad precámbrica – eocámbrica y el stock granítico de Rodeo de Los Funes de posible edad paleozoica. Las rocas graníticas son sienogranitos y monzogranitos con alteración hipogénica y supergénica sobrepuesta. Son portadoras de vetas de cuarzo de hasta 30 cm de espesor. El cuarzo de las vetas presenta gran cantidad de inclusiones fluidas (IF). Se determinaron dos tipos: acuosas y acuosas con dióxido de carbono. Las primeras, bifásicas, son las más abundantes y constituyen aproximadamente el 80% de las IF observadas. Por calentamiento estas inclusiones homogeneizan a fase líquida a temperaturas que varían entre 248° y 265°C, con muy escasa dispersión. Las segundas son inclusiones trifásicas líquidas. Representan aproximadamente el 10 - 20% del total de las inclusiones analizadas. Tienen temperaturas de homogeneización dispersas, pero la mayoría se concentran entre 240° y 320°C. Las características de las IF que se han observado en estas vetas, son rasgos distintivos de las de los depósitos denominados mesotermales de oro o vetas de cuarzo aurífero en rocas metamórficas. Se concluye que las vetas de cuarzo se formaron durante la etapa magmática hidrotermal tardía genéticamente relacionada con el granito Rodeo de Los Funes.

Abstract: *STUDY OF THE FLUID INCLUSIONS OF THE QUARTZ-VEINS FROM THE RODEO DE LOS FUNES GRANITE, SIERRA DE LA RAMADA, TUCUMAN.* The study area is located on the eastern flank of the Sierra de La Ramada, which, together with the sierras del Campo, Nogalito and Medina integrate the Sierras del Noreste de Tucumán, belonging to the Sistema de Santa Bárbara. The basement of the range is formed by phyllites and slates of the Medina Formation of precambrian – eocambrian age and the Rodeo de Los Funes granitic stock of possible palaeozoic age. The granitic rocks are sienogranites and monzogranites with hipogenic and supergenic alteration. Quartz veins up to 30 cm of thick are located in the granitic rocks and present abundant fluid inclusions (FI). Two types of FI have been determined: aqueous and aqueous with carbon dioxide. The first, two-phase, are the most abundant and constitute 80% of the observed FI approximately. These inclusions homogenize to a liquid phase at temperatures that vary between 248° and 265°C, with very scarce dispersion. The second FI are three phase aqueous inclusions. They represent 10 - 20% of the total of the analyzed inclusions approximately. They have dispersed homogenisation temperatures, but most concentrates between 240° and 320°C. The characteristics of the observed FI are distinctive features of FI in mesothermal deposits of gold or veins of auriferous quartz in metamorphic rocks. It is suggested that the quartz veins were formed during a late magmatic hydrothermal stage genetically linked to the Rodeo de Los Funes granite.

Palabras clave: Sierra de La Ramada. Granitos. Vetas de cuarzo. Inclusiones Fluidas.

Key words: Sierra de La Ramada. Granites. Quartz veins. Fluid Inclusions.

¹) Universidad Nacional del Sur.

²) CONICET-INGEOSUR. Dpto. Geología (Universidad Nacional del Sur). San Juan 670, (8000) Bahía Blanca, Argentina. E-mail: gmas@criba.edu.ar.

³) Universidad Nacional de Tucumán.

⁴) CONICET-INSUGEO. Miguel Lillo 205, San Miguel de Tucumán (4000). E-mail: jcvila@csnat.unt.edu.ar.

Introducción

La zona de estudio está ubicada en el faldeo oriental de la sierra de La Ramada. Esta unidad orográfica, de rumbo submeridiano, forma parte de un grupo de serranías ubicadas al noreste de la provincia de Tucumán cuyas alturas máximas no superan los 2400 msnm. Tiene forma asimétrica en sentido transversal con pendiente más suave hacia el este. En el área existe abundante vegetación.

Se accede por la ruta provincial N°305 desde la ciudad de San Miguel de Tucumán hasta el kilómetro 48. A partir de ese punto se continúa aproximadamente ocho kilómetros hacia el este por caminos de tierra y sendas de herradura hasta la cumbre de la sierra desde donde se desciende hacia la quebrada Rodeo de Los Funes donde aflora el granito homónimo, portador de vetas de cuarzo.

Entre los estudios geológicos llevados a cabo en el área se mencionan los de Peirano (1938, 1944), Cetrángolo (1938, 1939), Mon (1971) y Ruiz *et al.* (1993, 2005).

El objetivo del estudio de las inclusiones fluidas (IF) en el cuarzo de las vetas alojadas en el granito Rodeo de Los Funes es determinar las características del fluido responsable de la formación de las vetas y evaluar las condiciones de entrapamiento mediante su estudio petrográfico y termométrico.

Metodología

Para el análisis petrográfico se utilizaron secciones delgadas estándar analizadas bajo microscopio petrográfico Nikon Eclipse E600 Pol, equipado con sistema fotográfico digital.

Los análisis termométricos se realizaron en una platina Linkam MDS 600 de calentamiento-enfriamiento montada en un microscopio Olympus BX50, equipado con sistema de captura de imágenes, utilizando secciones bipulidas de 150 a 200 mm de espesor. Los datos termométricos obtenidos fueron procesados mediante los programas Flicor y PVIX.

La platina fue calibrada con sustancias estándares para el rango 0° a +400°C; el punto triple del CO₂ (-56,6°C) se calibró mediante inclusiones naturales de CO₂ puro (Calanda; Tourey, 1968). Con estos datos se confeccionó la curva de calibración para el equipo que muestra como rasgo más notable una exactitud de 1°C con una precisión de ±0,5°C en el rango comprendido entre -60°C y +120°C.

Marco Geológico Regional

La sierra de La Ramada junto con las del Campo, Nogalito y Medina integran las llamadas Sierras del Noreste de Tucumán (Alderete, 1989). Son cordones montañosos de rumbos submeridiales cuyas alturas máximas no superan los 2400 msnm. Rolleri (1976) las ubica dentro de la unidad morfoestructural Sistema de Santa Bárbara.

El núcleo de la sierra está constituido por rocas metamórficas de bajo grado pertenecientes a la Formación Medina (Bossi, 1969). Estas rocas, junto con otras de distintos nombres formacionales pueden ser incluidas en la "Formación Puncoviscana s.l." de edad neoproterozoica – eocámbrica siguiendo los criterios de Aceñolaza y Aceñolaza (2005).

Las metamorfitas están intruídas en algunos sectores de la sierra por rocas graníticas y riolíticas

de posible edad paleozoica inferior (Peirano, 1938, 1944; Ruiz *et al.*, 2005) correspondiendo la cubierta sedimentaria principal al Subgrupo Pirgua (Reyes y Salfity, 1973) de edad cretácica media a superior. En el sector suroccidental de la sierra, afloran rocas basálticas emplazadas en las sedimentitas cretácicas. Sedimentitas terciarias y acumulaciones cuaternarias completan la columna estratigráfica.

La Sierra de La Ramada corresponde a un anticlinal de rumbo aproximado NE-SO que, junto a la Sierra del Campo, constituyen dos bloques que han sido levantados y basculados hacia el este por un sistema de fallas que se encuentran en el borde occidental de estas sierras. Las fallas principales tienen rumbo N-S a NNE-SSO. Existe un sistema de fallas fuertemente oblicuas que corresponderían a lineaciones antiguas reactivadas por los movimientos ándicos (Mon, 1971).

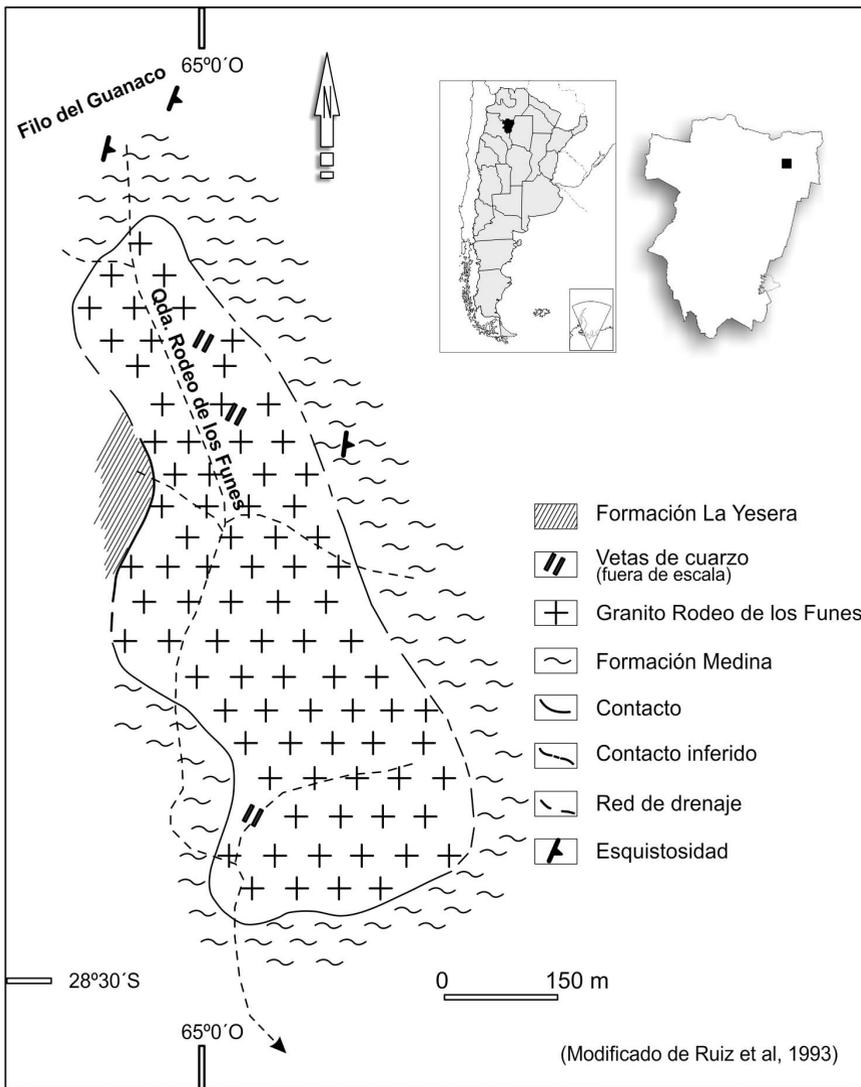


Figura 1. Bosquejo geológico del Granito Rodeo de Los Funes, sierra de La Ramada, Tucumán.

Geología del área de estudio

Dentro del área de estudio afloran metamorfitas, rocas graníticas con vetas de cuarzo asociados, areniscas continentales mesozoicas y depósitos fluviales recientes (*Figura 1*).

FORMACIÓN MEDINA. Las rocas metamórficas pertenecientes a la Formación Medina afloran en forma discontinua en ambos márgenes de la quebrada Rodeo de Los Funes y en los tramos superiores de sus quebradas afluentes. Al sur de la misma los afloramientos son de mayor extensión.

Todos los afloramientos presenta una marcada esquistosidad con rumbos generales NE-SO con inclinaciones entre 40° y 45°E.

Las rocas son de color gris a gris oscuro, en algunos casos atravesadas por vetas de cuarzo de 2 a 3 cm de espesor. Los minerales principales que se observan a simple vista son cuarzo y micas. En algunas muestras hay alternancia de capas cuarzosas y micáceas. Se observan abundantes óxidos en las vetas de cuarzo de tipo lechoso.

Microscópicamente la roca presenta textura lepidoblástica, en donde hay alternancia de minerales micáceos (muscovita y biotita) con blastos de cuarzo anhedral, siendo estos tres minerales los principales constituyentes. Además, aparecen en poca cantidad algunos óxidos dispersos.

En base a las observaciones macro y microscópicas se pueden definir las metamorfitas de la quebrada Rodeo de Los Funes como un esquistos de bajo grado (facies esquistos verdes).

GRANITO RODEO DE LOS FUNES. Aflora principalmente en la quebrada Rodeo de Los Funes (*Figura 1*) y en algunas quebradas menores que desembocan en ella. Hacia el sur de la misma, puede observarse el contacto neto con las rocas metamórficas de la Formación Medina. El afloramiento del cuerpo granítico, de forma elongada en sentido NNO-SSE, tiene aproximadamente 950m de largo y un ancho máximo de 400m.

Ruiz *et al.* (1993) distinguen cuatro facies graníticas en esta zona. La facies granítica predominante corresponde a sienos y monzogranitos aflorantes en el sector medio de la quebrada Rodeo de Los Funes. Consiste en una roca de color rojizo, grano medio y textura inequigranular. Al microscopio se determinó alteración hidrotermal (sericitización y caolinitización) del tipo pervasiva selectiva de intensidad débil.

La segunda facies granítica es un monzogranito que aflora en pequeña proporción en el sector medio y sur de la quebrada Rodeo de Los Funes. Es una roca de color rosado claro, grano medio y textura inequigranular. La alteración hidrotermal es muy escasa, solo algo de sericitización en los centros de algunas plagioclasas.

La tercera facies es un monzogranito que aflora al sureste de la quebrada Rodeo de Los Funes. Corresponde a una roca de color rosado claro y de grano muy fino (granito aplítico). La alteración hidrotermal, avanzada, es principalmente muscovitización.

La última facies aflora en un sector reducido sobre la margen izquierda del sector sur de la quebrada Rodeo de Los Funes. Es una roca de color gris claro y de grano medio. La alteración se restringe a sericitización y caolinitización en las plagioclasas.

Ruiz *et al.* (1993) definen que el granito Rodeo de Los Funes, en sus diferentes facies, ha sufrido procesos de alteración hipogénica, observando también alteración supergénica sobreimpuesta. La primera correspondería a la acción de fluidos hidrotermales de composición ácida, con gran participación de volátiles.

Las rocas graníticas están atravesadas por vetas de cuarzo lechoso portadoras de óxidos de hierro cuyos espesores no superan los 30 cm. Se observa que existe mayor densidad de vetas en las quebradas ubicadas en el norte y sur del cuerpo granítico. Al parecer tienen rumbo

predominante NO-SE, aunque no se pudo medir su corrida debido a la espesa cobertura vegetal. En las salbandas de las vetas se observan fajas de mayor alteración cuyos espesores varían de 0,2 a 3 cm, compuestas mineralógicamente por muscovita, cuarzo y óxidos de hierro.

Debido a la intensa alteración supergénica, en las vetas de cuarzo se observan sólo óxidos de hierro y limonitas. Difractogramas de rayos X indican presencia de hematita y goethita, encontrándose algunos valores que evidenciarían la presencia de arcilla (montmorillonita o clorita ferrífera?) y de moscovita (Ruiz *et al.*, 1993).

FORMACIÓN LA YESERA. Constituida por sedimentitas continentales de edad cretácica (Reyes y Salfity, 1973). Esta unidad, a nivel regional, rodea por el oeste, sur y este el basamento metamórfico de la sierra aunque en el área estudiada existe sólo un reducido afloramiento en el límite occidental del granito (*Figura 1*). Está compuesta principalmente por areniscas rojas y friables cuya base es una brecha rojiza con clastos angulosos de filitas y cuarzo, con una matriz arenosa de color rojo. La estratificación está poco marcada en bancos de más de 1 m de espesor. Tienen un rumbo submeridiano y suaves buzamientos al este y oeste.

Petrografía y Termometría de las Inclusiones fluidas

Bajo microscopio petrográfico se pudo observar que el cuarzo presenta gran cantidad de inclusiones. De acuerdo a las fases presentes a temperatura ambiente y durante las experiencias de termometría, se determinaron dos tipos de inclusiones fluidas, acuosas (H_2O) y acuosas con dióxido de carbono ($H_2O - CO_2$):

INCLUSIONES BIFÁSICAS ACUOSAS (L>V). En las que la fase acuosa (L) es más abundante que la gaseosa (V). Son las más abundantes. Su forma es alargada o facetada, generalmente de sección hexagonal o rómbica. Constituyen el 80% aproximadamente de las IF observadas. La relación de volumen L:V varía entre 7:3 a 8:2 y el tamaño entre 8 y $15\mu m$, excepcionalmente $20\mu m$. De acuerdo a sus características petrográficas se han dividido en dos poblaciones:

1- Inclusiones de naturaleza acuosa, de tamaño pequeño a medio, distribuidas de modo relativamente homogéneo en toda la muestra. La salinidad del fluido, determinada por la depresión del punto de congelamiento del hielo (entre -5 y $-7^\circ C$), varía entre 7,8 y 10,5 % de ClNa eq. Por calentamiento estas inclusiones homogeneizan a fase líquida a temperaturas que varían entre 248° y $265^\circ C$, con escasa dispersión. Las fotomicrografías de las *Figuras 2A* y *2B* muestran ejemplos de las inclusiones mencionadas. Si bien tienen una amplia distribución en la muestra no se encuentran directamente vinculadas a planos sellados, por lo que se consideran de carácter seudosecundario.

2- Inclusiones secundarias pequeñas, concentradas en planos sellados que cortan las muestras en distintas direcciones. Se consideran inclusiones secundarias.

INCLUSIONES TRIFÁSICAS LÍQUIDAS ($H_2O + CO_2 LIQ. + CO_2 VAP.$) A TEMPERATURA AMBIENTE. Representan aproximadamente entre el 10 y el 20% del total de las inclusiones analizadas. La relación de volumen $H_2O:CO_2$ varía entre 7:3 a 6:4. Son de forma irregular a redondeada y su tamaño es de 15 a $20\mu m$ aproximadamente (*Figura 3*). La salinidad del fluido varía entre 7 y 4% de ClNa eq. Las IF tienen temperaturas de homogeneización dispersas, entre 185° y $345^\circ C$, pero la mayoría se concentran entre 240° y $320^\circ C$.

La abundancia de este último tipo de inclusiones y la exacta relación entre primarias:secundarias es difícil de precisar porque varias de las inclusiones consideradas primarias a temperatura ambiente separaron una segunda fase gaseosa durante el enfriamiento, y en otras, si bien no se observó la formación de la 2ª burbuja, fue muy clara la formación

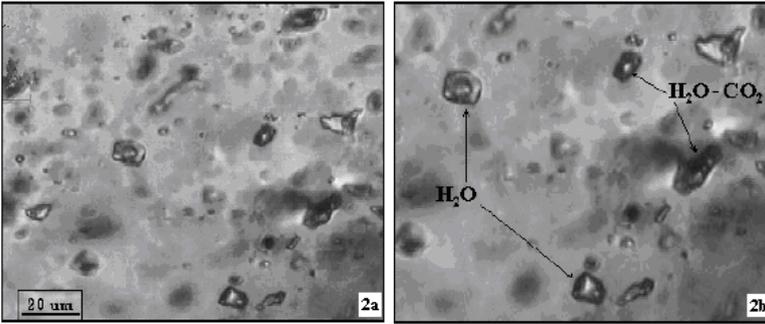


Figura 2. A) Fotomicrografía de una sección con numerosas inclusiones bifásicas y trifásicas coplanares. B) Imagen ampliada de la anterior.

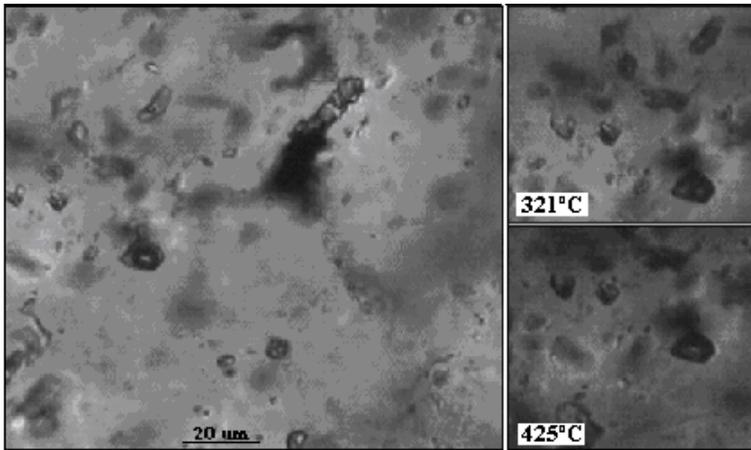


Figura 3. Fotomicrografía de una inclusión trifásica. Las imágenes de la derecha muestran dos momentos de la homogeneización a fase acuosa, a 321° y 425°C de temperatura respectivamente.

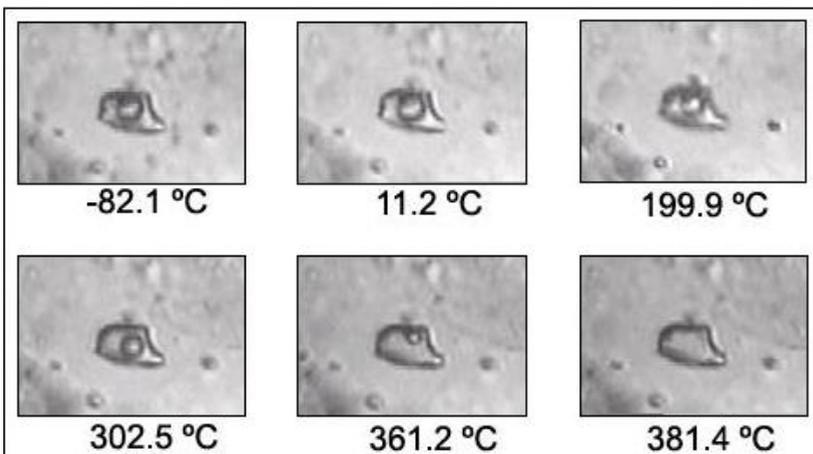


Figura 4. Secuencia de fotomicrografías sobre una inclusión bifásica a temperatura ambiente que separó una fase de CO₂ durante el congelamiento. Este gas no condensable generó una película de hidrato sobre la burbuja de vapor, cuya presencia fue observable hasta los 8.1°C. La homogeneización total de la inclusión se produjo a 381°C a fase acuosa líquida.

del hidrato de CO_2 y su descongelamiento a aproximadamente 8°C . La *Figura 4* muestra una secuencia de fotomicrografías tomadas a una inclusión con estas características.

Discusión y conclusiones

Investigaciones anteriores (Ruiz *et al.*, 1993) permitieron definir las características petrológicas y geoquímicas del cuerpo granítico Rodeo de Los Funes el cual está constituido por cuatro facies. El análisis modal de las mismas las clasifica como sienogranitos y monzogranitos. Asimismo, reconocieron una alteración hidrotermal vinculada con procesos de albitización y formación de fajas de mayor alteración en las salbandas de las vetas de cuarzo emplazadas en las rocas graníticas. El cuarzo de las vetas contiene numerosas inclusiones fluidas las cuales han sido estudiadas en la presente contribución.

Los resultados del estudio de las inclusiones fluidas ha permitido determinar condiciones de baja a moderada salinidad (frecuentemente menor de 10% de ClNa eq.), con ubicua presencia de CO_2 , inmiscibilidad entre fluidos ricos en H_2O y en CO_2 y eferescencia del CO_2 en este depósito. Estas características, salinidades bajas a moderadas, ubicua presencia de CO_2 e inmiscibilidad entre los fluidos ricos en CO_2 y en H_2O resultan distintivas en los denominados depósitos mesotermales de oro, (Lattanzi, 1995) si bien las mismas pueden encontrarse también en otros ambientes. Asimismo Jiang Neng *et al.* (1999) proponen que los fluidos de composición CO_2 - H_2O de los estadios I y II de los cuatro yacimientos de su estudio probablemente provenían de una fuente magmática, producto de la devolatilización de granitoides, resultando el oro depositado durante la caída de la presión y temperatura que acompaña la inmiscibilidad.

Asimismo en estos depósitos las Th suelen tener una dispersión muy importante pero en su mayoría se encuentran entre 200° y 350° , aunque esta temperatura puede ser apreciablemente diferente de la Tt. En cuanto al origen de los fluidos, existe en la literatura un considerable debate acerca de su carácter entre predominantemente metamórfico, meteórico o magmático, si bien se considera que la historia de los mismos puede ser muy compleja. Entre otros autores puede mencionarse a Jiang Neng *et al.* (1999), quienes en su estudio sobre los yacimientos del distrito de Xiaoqinling, en las Provincias de Shaanxi y Henan indican que la coexistencia de inclusiones con proporciones variables de CO_2 - H_2O coexistiendo con inclusiones primarias acuosas puede interpretarse como producto del entrapamiento de fluidos heterogéneos por la desmezcla de un fluido parental inicialmente homogéneo derivado de una fuente probablemente magmática y generado por la devolatilización de granitoides. Según dichos autores la mineralización resultante se produjo principalmente por el descenso de la presión y la temperatura que acompañó la inmiscibilidad.

En base a las relaciones de campo se puede considerar que estos fluidos hidrotermales de medianas a altas temperaturas estarían vinculados genéticamente con el granito portador de las vetas de cuarzo. Se concluye que las vetas de cuarzo se formaron durante la etapa magmática hidrotermal tardía genéticamente relacionada con el granito Rodeo del Los Funes.

La presencia de un cuerpo granítico con alteración e inclusiones fluidas de las características ya apuntadas motiva la profundización de estudios en este sector de la geografía tucumana en la búsqueda de mineralización de importancia económica.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, a la Universidad Nacional de Tucumán y al CONICET por haber brindado los medios para la realización de este trabajo.

Bibliografía

- Aceñolaza, F.G. y Aceñolaza, G.F. 2005. La Formación Puncoviscana y unidades estratigráficas vinculadas en el Neoproterozoico Cámbrico Temprano del Noroeste argentino. *Latin American Journal of Sedimentology and basin analysis*, 12: 65-87.
- Alderete, 1989. Unidades Fisiográficas. En: M. Gianfrancisco, M.E. Puchulu, J. Durango y G. Aceñolaza (Eds.), *Geología de Tucumán*. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, 29-40.
- Bossi, G.E. 1969. Geología y Estratigrafía del Sector Sur del Valle de Choromoro. *Acta Geológica Lilloana*, 10: 17-64.
- Cetrangolo, Z. 1938. Rocas Magmáticas de la Sierra de La Ramada. *Cuadernos de Mineralogía y Geología*, 1: 228-233.
- Cetrangolo, Z. 1939. Rocas magmáticas de la Sierra de La Ramada (parte 2). *Cuadernos de Mineralogía y Geología*, 2: 110-117.
- Lattanzi, P. 1994. Fluids in ore deposits. En: B. De Vivo y M.L. Frezzotti (Eds.), *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Short course of the working group (MA) "Inclusions in Minerals" Virginia Tech.
- Mon, R. 1971. Estructura Geológica del Extremo Austral de las Sierras Subandinas, Provincias de Salta y Tucumán, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 26: 209-220.
- Jiang Neng, Xu Jihua y Song Mianxin, 1999. Fluid inclusion characteristics of mesothermal gold deposits in the Xiaojinling district, Shaanxi and Henan Provinces, People's Republic of China. *Mineralium Deposita*, 34: 150-162.
- Peirano, A. 1938. Otras noticias sobre la Sierra de La Ramada. *Cuadernos de Mineralogía y Geología*, 1: 225-227.
- Peirano, A. 1944. Estudio geológico de la Sierra de La Ramada con algunas consideraciones preliminares sobre la estratigrafía tucumana. *Cuadernos de Mineralogía y Geología*, 3: 177-209.
- Reyes, O. y Salfity, J. 1973. Consideraciones sobre la estratigrafía del Cretácico (Subgrupo Pirgua) del Noroeste Argentino. V Congreso Geológico Argentino, Carlos Paz (Córdoba), Actas 3: 354-385.
- Rolleri, E.O. 1976. Sistema de Santa Bárbara. VI Congreso Geológico Argentino, Bahía Blanca, Actas 1: 240-255.
- Ruiz, D.L., Avila, J.C. y Fogliata, A.S. 1993. Presencia de alteración hidrotermal en las rocas graníticas de la sierra de La Ramada, provincia de Tucumán, su implicancia metalogenética. XII Congreso Geológico Argentino, Mendoza, Actas 5: 195-201.
- Ruiz, D.L., Avila, J.C. y Lazarte J.E. 2005. Las rocas magmáticas de la Sierra de La Ramada, Tucumán. Serie Monográfica y Didáctica, 45: 107.
- Tourey, J.C. 1968. Recherches Geochemiques sur les inclusions a CO2 liquide. *Bulletin Société Française Minéralogie et Cristallographie*, 91: 367-382.

Recibido: 9 de noviembre de 2011

Aceptado: 20 de diciembre de 2011