

Desarrollo minero de Piriquitas, provincia de Jujuy

Lidia V. ROSAS¹ y Julio C. AVILA²

Resumen: *DESARROLLO MINERO DE PIRQUITAS, PROVINCIA DE JUJUY.* Mina Piriquitas está situada en la provincia de Jujuy, a una altura promedio de 4300 msnm. Se ubica en el noroeste de la provincia morfoestructural de Puna y en el sur de la Faja Estannífera Boliviana. Es un yacimiento hidrotermal de Ag-Sn-Zn de edad miocena emplazado en sedimentitas ordovícicas pertenecientes a la Formación Acoite. Piriquitas es el mayor productor histórico de estaño en Argentina. A principios de la década de 1930 se descubrieron los placeres de estaño. En 1935 fueron encontradas las vetas de estaño y plata de alta ley comenzando su explotación en el mismo año hasta 1990. Las minas más importantes fueron San Miguel, Chocaya y Potosí. Desde 1995 se hicieron trabajos de exploración geofísica, mapeo geológico y muestreo y se desarrollaron programas de perforaciones. El nuevo proyecto comenzó a ejecutarse en 2008. El mismo incluye principalmente la profundización de un open pit cuya producción alcanza 6000 t/día para alimentar una nueva planta de tratamiento. En esta contribución se realiza una breve descripción del desarrollo minero de Piriquitas, el cual, a diferencia de la mayoría de los depósitos en el mundo, ha sido explotado primero por métodos subterráneos (sistema de vetas, por cámara almacén) y posteriormente a cielo abierto (vetas, *stockworks*, brechas y mineralización diseminada, por *open pit*). Esta peculiar secuencia de explotación se debe a las sucesivas investigaciones realizadas en el área que modificaron las características, dimensiones, reservas de mineral y el modelo del yacimiento.

Abstract: *MINE DEVELOPMENT IN PIRQUITAS, JUJUY PROVINCE.* Minas Piriquitas is located in the province of Jujuy, at an average height of 4300 masl. It lies in the northwest of Puna morphostructural province and in the south of Bolivian Tin Belt. Is a hydrothermal Ag-Sn-Zn deposit of Miocene age placed in Ordovician sedimentites belongs to Acoite Formation. Piriquitas is the largest historical producer of tin in Argentina. Tin placer deposits were first discovered in the area at the beginning of the decade of 1930. The lodes of tin and silver were discovered and mining started in 1935, with high-grade veins being mined until 1990. The largest mines were San Miguel, Chocaya and Potosí. From 1995 geophysical surveys, geological mapping, sampling, and drillings programs were developed. The new project began to be executed in 2008. The same one includes mainly the realization of an open pit whose production reaches 6000 t/day to feed a new treatment plant. In this contribution is carried out a brief description of the mining development of Piriquitas, which one, contrary to the majority of the deposits in the world, has been mined first by underground methods (veins system by Shrinkage) and later on by opencast (veins, stockworks, breccias and disseminated mineralization by open pit).

This peculiar sequence of mining is due to the successive investigations carried out in the area that modified the characteristics, dimensions, mineral reserves and model of the deposit.

Palabras clave: Mina Piriquitas. Ag-Sn-Zn. Cámara Almacén. Cielo abierto.

Key words: Mina Piriquitas. Ag-Sn-Zn. Shrinkage. Open pit.

Introducción

El yacimiento se encuentra en el departamento Rinconada de la provincia de Jujuy a 335 km al nornoroeste de la ciudad de San Salvador de Jujuy y a 110 km al oeste de la localidad de Abra Pampa a una altura entre de 4100 y 4400 msnm. El acceso se realiza por medio de rutas provinciales, tanto desde la localidad de Susques (Rutas provinciales 74 y 74b) como desde Abra Pampa (Rutas provinciales 7 y 70).

¹) Geólogo Consultor. 25 de mayo 1487 S. M. de Tucumán. veronkidarosas@hotmail.com

²) INSUGEO. Miguel Lillo 205 S.M. de Tucumán. julioceav@hotmail.com

Pirquitas es el productor histórico más importante de estaño en Argentina. El descubrimiento de placeres de estaño se produjo en 1930 y en 1935 se hallaron las vetas estanno argentíferas comenzando su explotación ese mismo año y hasta 1990 por parte de la Sociedad Minera Pirquitas “Picchetti y Cia”. Las vetas más importantes fueron explotadas principalmente por métodos subterráneos.

En 1995, Sunshine Argentina adquirió la propiedad minera de Pirquitas. Los estudios de factibilidad fueron completados durante los años 1999-2000. En 2005 la propiedad minera pasó a pertenecer a Silver Standard Resources Inc. Esta empresa realizó una actualización del estudio de factibilidad en 2006. El nuevo proyecto minero comenzó a ejecutarse en 2008. El mismo incluye principalmente el desarrollo de un *open pit* cuya producción alcanza 6000 t/día de mineral de mena para alimentar una nueva planta de tratamiento.

Marco geológico regional

La zona se ubica en el noroeste de la provincia morfoestructural de Puna (Turner, 1979), caracterizada estructuralmente por lineamientos de rumbo general norte sur originados por la tectónica de bloques cenozoica, enmascarados en parte por el relieve de las rocas volcánicas más modernas.

Las rocas más antiguas aflorantes son las sedimentitas marinas ordovícicas de la Formación Acoite. El paquete sedimentario está constituido por una alternancia de lutitas y areniscas de colores que varían entre gris amarillento a rojizo predominando el gris parduzco. Estas rocas han sido plegadas en extensos anticlinales y sinclinales de rumbo submeridiano.

El Neógeno está representado por sedimentitas y principalmente por secuencias volcánicas y volcanoclásticas que cubren gran parte de la región.

En el Cuaternario también hubo intensa actividad volcánica. Las rocas atribuidas al Pleistoceno (principalmente ignimbritas, andesitas y basaltos) afloran al NO y SSE del área minera. Durante el Holoceno se acumularon evaporitas y material de derrubio y acarreo distribuidos irregularmente (figura 1).

Marco geológico local

En el área del yacimiento aflora predominantemente la Formación Acoite. Es la más importante ya que constituye la roca de caja de las vetas mineralizadas, está representada por lutitas, limolitas y areniscas, de color gris oscuro a parduzco en cortes frescos y amarillentos en zonas de intensa meteorización.

Estas rocas están plegadas en anticlinales y sinclinales con ejes submeridianos y longitud de onda del orden de los centenares de metros. En los niveles pelíticos se observa claramente el desarrollo de un clivaje de plano axial. En el sector donde se ubica la mina a cielo abierto se reconocen dos pliegues con longitud de onda aproximada de 400 m. En el anticlinal doblemente buzante, ubicado al este se aloja la mineralización. En general predominan las areniscas sobre las lutitas en una relación aproximada de 60% a 40%.

Al este, fuera de la zona de vetas, en contacto por falla con la Formación Acoite, aflora la Formación Peña Colorada, integrada por una secuencia de areniscas, limolitas, arcilitas y conglomerados de colores rojizos y amarillentos. Depósitos de acarreo cuaternarios completan la columna estratigráfica.

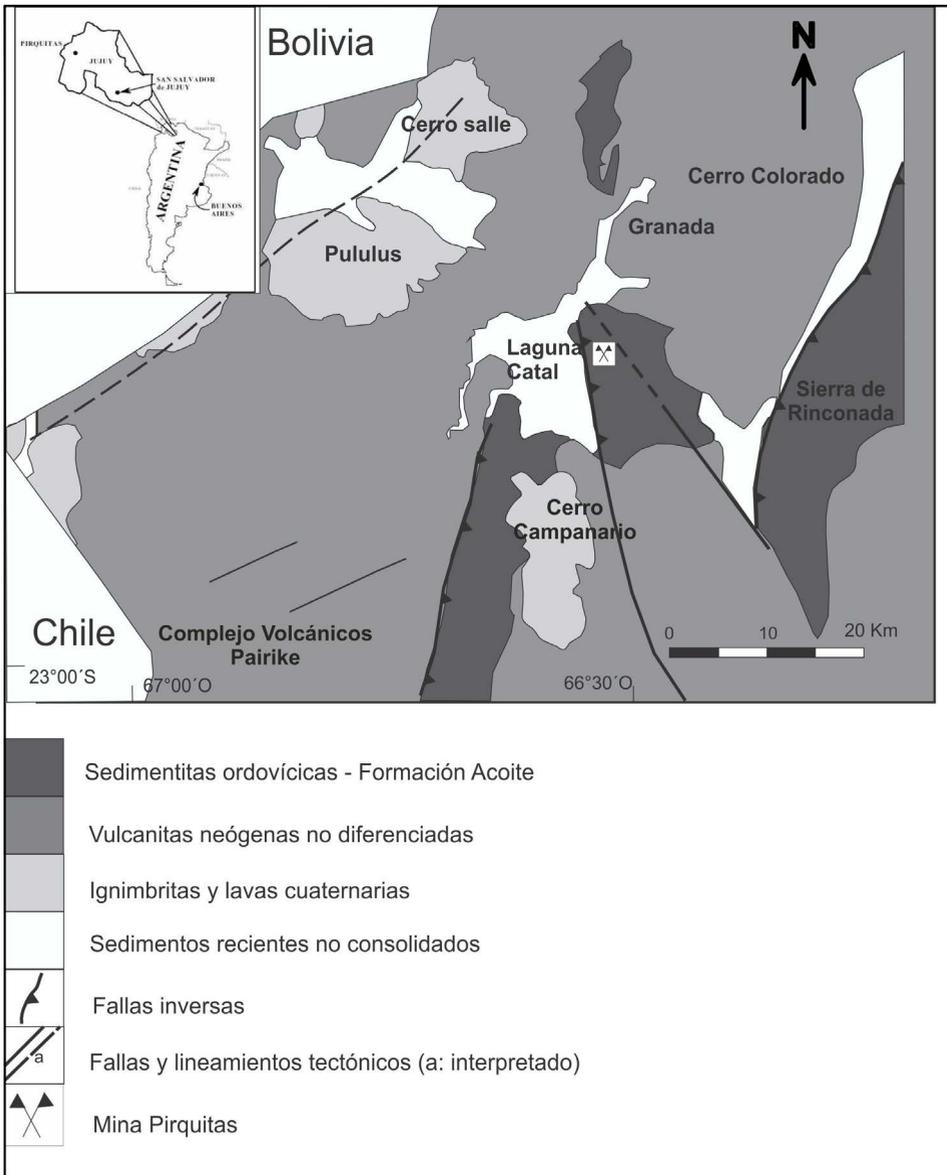


Figura 1. Bosquejo geológico de la región de Mina Pirquitas (modificado de Turner, 1979)./**Figure 1.** Geological sketch of Minas Pirquitas región (modified from Turner, 1979).

Yacimiento

El yacimiento integra la Faja Estannífera Boliviana que comienza en el sur de Perú y se extiende a través de Bolivia hasta el noroeste Argentino (Ahlfeld, 1948).

Las vetas de cuarzo mineralizadas están emplazadas en la Formación Acoite, en ambos márgenes del río Pircas y se distribuyen irregularmente en una superficie de aproximadamente

tres kilómetros cuadrados. En distintas oportunidades se explotaron las once vetas aflorantes. Los más trabajados fueron los sectores San Miguel, Chocaya y Potosí (figura 2).

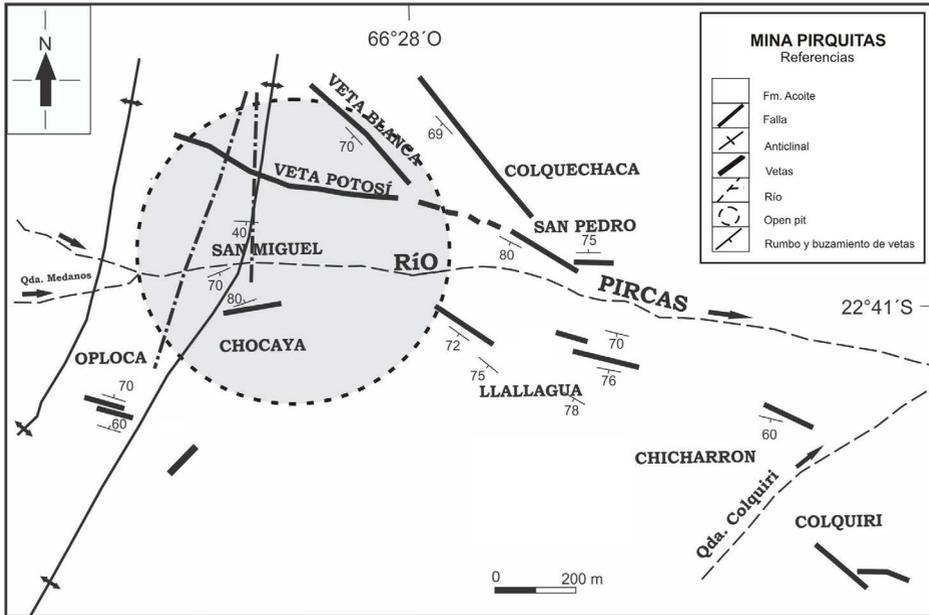


Figura 2. Ubicación de las vetas en el área de Piriquitas./Figure 2. Location of veins in Piriquitas area.

En el sector San Miguel existe un anticlinal simétrico con eje doblemente buzante de rumbo NNE, y plano axial subvertical con flexuras en sentido del rumbo de longitud de onda del orden de la decena de metros y amplitud de onda que no supera los 20 metros. Estas suaves flexuras se observan en profundidad y existen también en sentido del buzamiento (Avila *et al.*, 1988).

El pliegue es la estructura más importante del área y abarca también los sectores Potosí, Oploca y Chocaya.

El principal metalotecto definido es el estructural, también, aunque en menor medida, existe un metalotecto litológico referido a las características de permeabilidad y porosidad de la roca de caja (Avila *et al.*, 1988; Hatch, 2006).

El grupo más significativo de las fallas relevadas en superficie e interior de mina tiene posición ESE, subvertical, perpendicular al eje del pliegue. En este grupo se emplazan las principales vetas mineralizadas, en el trabajo se describirán los sectores Potosí y San Miguel.

En Potosí existe una sola estructura principal donde la veta tiene espesores entre 1 y 3 metros, una corrida de 400 metros con una extensión conocida en sentido del buzamiento de 300 m. Se observa un halo de mineralización de baja ley en la roca de caja del piso y techo que se extiende entre 1 y 5 m de las salbandas de la veta.

En San Miguel se reconocen varias vetas subparalelas con espesores variables, los de mayor frecuencia tienen un rango entre 0,01 y 0,10 metros aunque hay algunas de 0,30 y 1,50 metros. Tienen una longitud promedio de 100 metros, existen pocas con más de 500 metros. Se las reconoció hasta 180 m de profundidad. (Avila *et al.*, 1988).

La mineralización se manifiesta esencialmente de tres formas. La más conocida corresponde a vetas bien definidas alojadas en fracturas. El segundo tipo de ocurrencia de la mena denominado genéricamente “diseminado” se refiere conjuntamente a vetas y vetillas en *stockwork* y mineral diseminado en la roca de caja (Chomnales, 1978; Idoyaga, 1992; Hatch, 2006). Esta particularidad de la mineralización se manifiesta especialmente en la roca de caja entre las vetas de alta ley de San Miguel donde la zona de mineralización diseminada de baja ley tiene aproximadamente 200 m de ancho, 300 m en sentido del rumbo y profundidades similares a las vetas (figura 3). Por último, en Oploca y otros sectores menores existen brechas hidrotermales mineralizadas que integran el tercer tipo de mineralización.

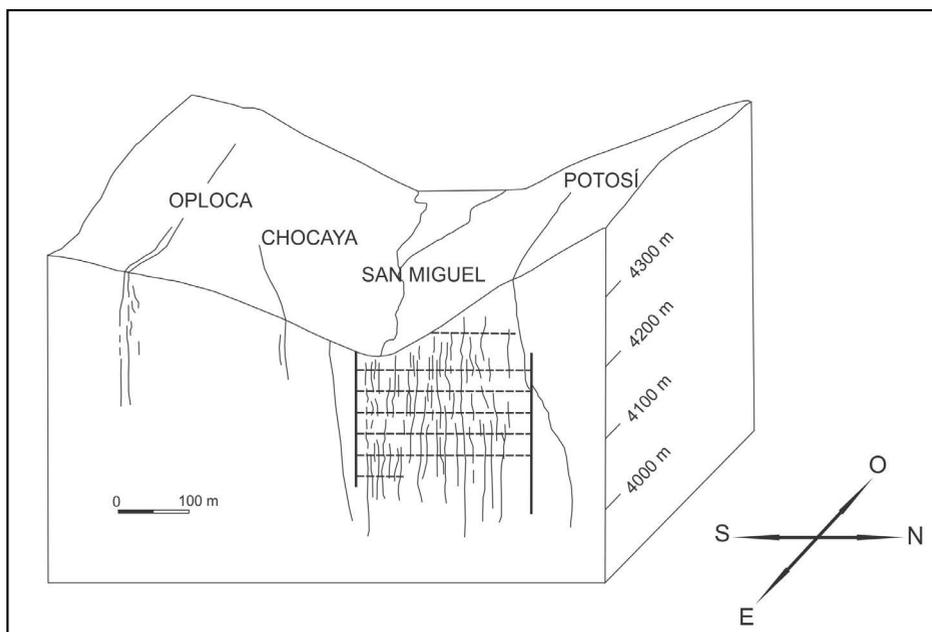


Figura 3. Block diagrama con ubicación de los principales sectores (modificado de Idoyaga, 1992). / **Figure 3.** Block diagram with location of main sectors (modified from Idoyaga, 1992).

Malvicini (1978) realizó el primer estudio mineralógico y paragenético. Posteriormente, con aportes de otros investigadores se identificaron más de 70 minerales primarios y secundarios en el depósito (Chayle, 1999). Malvicini lo definió como un depósito hidrotermal, xenotermal y lo relacionó con el ciclo metalogénico de edad neógena que abarca la parte central y sur de la Faja Estannífera Boliviana donde los yacimientos están asociados con pequeños stocks de composición dacítica. Si bien hasta el presente no se ha encontrado el intrusivo en el área de Pirquitas, estudios geofísicos regionales indican la posible existencia de un cuerpo a una profundidad superior a los 500 metros (Chayle, 1999).

De acuerdo a la paragénesis mineral, gran parte del estaño se depositó como óxido (casiterita) durante la etapa temprana del primer evento mineralizador. En la etapa tardía de dicho evento se depositaron sulfosales y sulfuros de plata (freibergita, pirargirita y acantita) y sulfuros de cinc (esfarelita). En el segundo evento se precipitaron en menor proporción sulfuros de plata, estaño y cinc.

Corresponde al estudio de factibilidad y su actualización (Hatch, 2006) la definición del volumen de la mineralización diseminada, y los límites individuales de las mineralizaciones de Ag, Sn y Zn. Asimismo, se determinó que los principales minerales de mena recuperables por mineralurgia son: freibergita, matildita, pirargirita y acantita (Ag), casiterita (Sn) y esfarelita (Zn).

Explotación minera

Período 1930 – 1990

Como ya se indicara, la historia minera del distrito minero Pirquitas se remonta a comienzos de la década del 30 del siglo pasado cuando se descubren y comienzan a explotarse los depósitos aluviales de casiterita en el río Pircas. Esta actividad minera continuó ininterrumpidamente hasta 1949. Placeres remanentes fueron objeto de estudios y aprovechamientos discontinuos hasta la década de 1980 (figura 4).

Sistema de Minado	Años									
	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	
Superficial de placeres	—————									
Superficial de vetas	—————									
Subterránea de vetas	—————									
Superficial de macizo rocoso	—————									

Figura 4. Sistemas de minado en Pirquitas (período 1930-2013)./**Figure 4.** Mining systems in Pirquitas (1930-2013 period).

Las vetas se explotan, a partir de su hallazgo en 1935. Al principio a cielo abierto minando los afloramientos más importantes hasta escasas profundidades. El laboreo subterráneo comenzó con galerías subhorizontales (con “veta en mano” o cortavetas) emboquilladas desde superficie, aprovechando la anfractuosa topografía del lugar. En total se contabilizan 12 minas en el área de Pirquitas (Hatch, 2006).

El desarrollo de piques como labores principales de acceso y extracción comenzó a principios de la década del 40. Estas labores indican un importante cambio de criterios para la explotación razonable de los recursos mineros. Se mencionan principalmente los piques profundizados en San Miguel (182 m), Potosí (208 m) y Chocaya (179 m).

En lo que respecta a la denominación de los niveles, cada sector tenía su propia referencia, es decir, su “nivel 0” correspondía a la cota del pique y se denominaban numérica y correlativamente hacia abajo. La distancia vertical entre niveles era normalmente de 30 m siguiendo una antigua norma minera.

La veta Potosí es la estructura más importante conocida, considerando su espesor, longitud y continuación en profundidad. En algunos sectores fue mal explotada mientras que otros fueron correctamente minados.

Como ya se indicara, al nivel actual de conocimientos el sector mineralizado de San Miguel tiene características únicas en el distrito. En el mismo se explotaron las vetas de alta ley aplicando razonablemente las reglas del arte. En la presente contribución se analizará la minería subterránea desarrollada en este sector.

El pique San Miguel está situado pocos metros hacia el sur de la margen derecha del río Pircas a una cota de 4246 msnm. Sus coordenadas UTM son N7489068 y E752562. Es una labor vertical que tiene 182 metros de profundidad desde donde se ejecutaron, hacia el norte, sendos cortavetas en cada uno de los seis niveles desarrollados (nivel 1 al nivel 6).

El pique está ubicado en las cercanías del eje del anticlinal que es la estructura dominante en el sector. Los cortavetas de los niveles superiores se desarrollaron principalmente en el flanco oriental del pliegue, mientras que los inferiores en el flanco occidental. En todos los casos, próximos y subparalelos a su plano axial (figura 5).

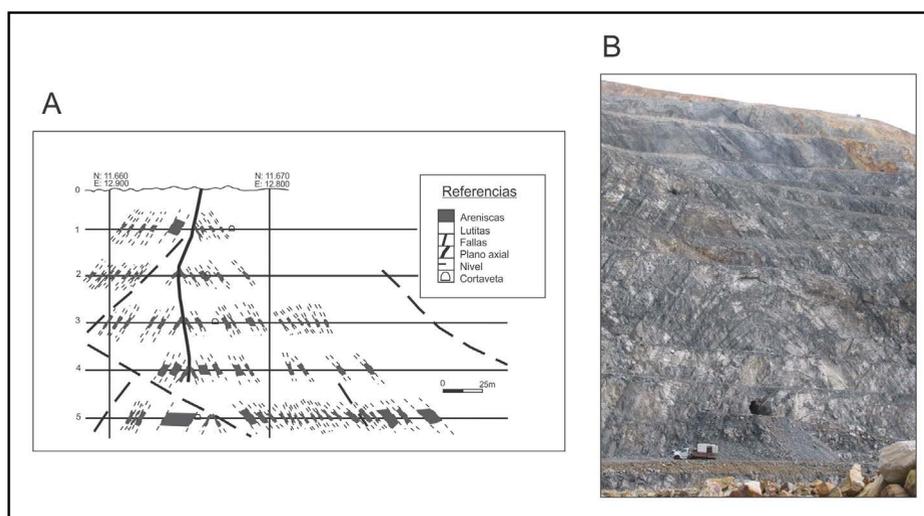


Figura 5. A) Sector San Miguel: perfil perpendicular al eje del pliegue reconstruido en base a mapeos subterráneos (tomado de Avila *et al.* 1988). B) Cara norte del open pit (Febrero de 2011). / **Figure 5.** A) San Miguel area: cross section to the axis of the fold based on underground mapping (according to Avila *et al.*, 1988). B) Northern face of the open pit (February of 2011).

A partir de los cortavetas, las galerías desarrolladas con “veta en mano” en cada nivel tenían el doble propósito de exploración y posteriormente de explotación.

El principal método de explotación aplicado fue “Explotación en depósito” o “Cámara almacén” (*Shrinkage*), que consiste fundamentalmente en explotar un rajo en realce y extraer solamente el mineral sobrante debido al aumento del volumen producido por el esponjamiento del mineral volado. De este modo, el mineral volado que queda en el rajo sirve de sostenimiento temporario del techo de la cámara y de piso de laboreo para continuar realzando la veta hasta alcanzar un extremo superior previamente definido. Por último, se vacía la cámara así formada, a través de los buzones construidos en el sector inferior del rajo (figura 6). El ancho mínimo de explotación fue fijado en 1, 2 m.

Se estima que durante las seis décadas de este período fueron producidos 777.600 kilogramos de plata y 18200 toneladas de estaño proveniente de todas las vetas, además de 9100 toneladas de estaño aluvional (Hatch, 2006).

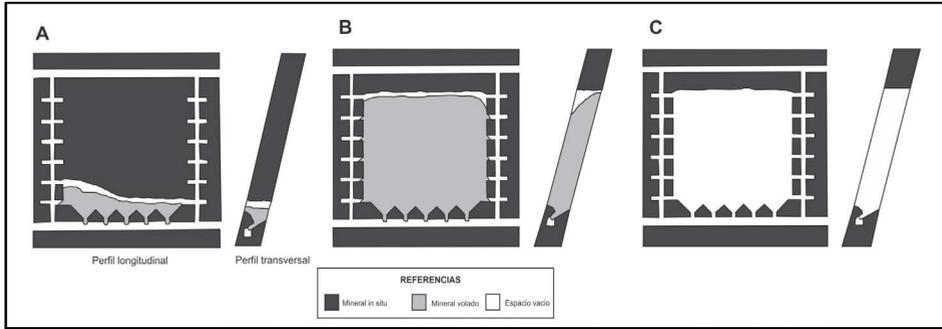


Figura 6. Secuencias del método subterráneo Cámara Almacén. A) inicio. B) cámara llena de mineral volado. C) cámara vaciada. / **Figure 6.** Sequences of Shrinkage underground method. A) start. B) stope full of broken ore. C) empty stope.

Período 1995 – actual

En 1995, Sunshine Argentina adquirió la propiedad minera de Pirquitas. Los estudios de factibilidad fueron completados durante los años 1999-2000 y consistieron principalmente en levantamientos topográficos y geológicos de detalle en superficie; estudios geofísicos (magnetometría y potencial inducido); desagotes de minas, mapeos geológicos y muestreos de labores subterráneas; perforaciones de diamantina (en superficie y desde labores subterráneas) y de aire reverso desde superficie que totalizaron 52000 m; muestreos y estudios mineralúrgicos y estudios ambientales. Todas estas investigaciones en su conjunto permitieron calcular las reservas y definir la factibilidad del proyecto contemplando una explotación a cielo abierto del yacimiento.

En 2005 la propiedad minera pasó a Silver Standard Resources Inc. Esta empresa realizó una actualización del estudio de factibilidad en 2006 que mantuvo los parámetros principales definidos en el año 2000.

Mina Pirquitas se explota a cielo abierto (*open pit*) desde el año 2008, hasta la actualidad. Este tipo de explotación se aplica generalmente en yacimientos diseminados aflorantes o subaflorantes, equidimensionales con una importante continuidad de la mineralización en profundidad. En el caso de Pirquitas, se minará el sector de mineralización diseminada y porciones remanentes de vetas de alta ley (figura 7).

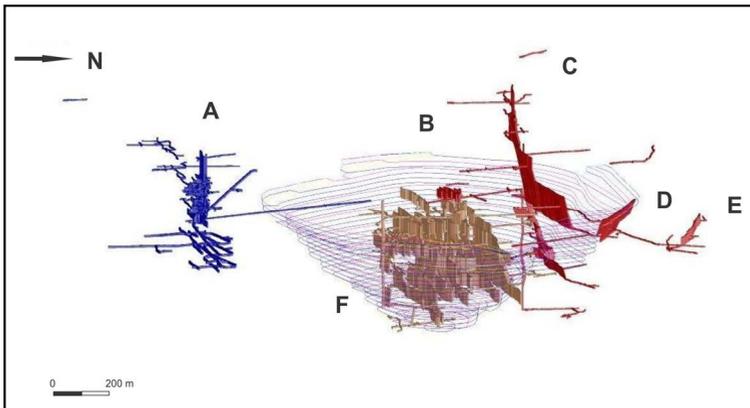


Figura 7. Imagen 3D de labores mineras, programa MineSight. A) Oploca. B) San Miguel. C) Potosí. D) Blanca. E) Colquechaca. F) Open pit proyectado (tomado del área Planificación Mina Pirquitas, 2013). / **Figure 7.** Image 3D of mining works, MineSight software. A) Oploca. B) San Miguel. C) Potosí. D) Blanca. E) Colquechaca. F) projected open pit (from Mine Planning area Pirquitas, 2013).

La explotación se lleva a cabo por desarrollo de fases y banqueo descendente. La profundización, exige la extracción de rocas estériles para mantener la estabilidad del *pit*. La relación estéril/mineral, que varía en los distintos años que dura el proyecto, en la actualidad es de 7/1. Se estima que en el total de los 10 años de producción prevista será de 5/1 (Hatch, 2006).

La profundidad final de explotación es una variable del diseño geométrico del *pit* proyectado. Los parámetros geométricos se definieron en base a estudios geotécnicos y geológicos. Los mismos fueron realizados por Call and Nicholas (1998) y Karzulovik and Associated (2008). En base a estos informes y a nuevos estudios de las principales variables geotécnicas (clasificación del macizo rocoso, RQD, GSI, frecuencia de fracturas, ensayos uniaxiales y triaxiales entre otros) y considerando sobre todo la existencia de espacios vacíos y rajos explotados en profundidad, se definieron los siguientes parámetros de diseño del *open pit* (figura 8 A):

- altura de banco: 24 m banco final, se descende en 3 bancos de 8 m.
- inclinación de la pared del banco: 80°.
- ancho de rampa: 19.5 m.
- pendientes: 10 % exceptuando algunos casos especiales.
- ángulo de interrampa: entre 46°-54°.
- ángulo global: se definieron cinco sectores, con sus respectivos ángulos globales (figura 8 B). Estos valores se van modificando a medida que se profundiza el *pit*.

El diseño de explotación de la mina contempla dos fases (figura 8 C y D):

Fase uno: la misma actualmente se encuentra finalizada. Alcanzó un diámetro de 800 m, en dirección norte-sur y 450 m, en dirección este-oeste. Con una profundidad de 290 m debajo del nivel de cota 4440 msnm. En esta fase se extrajeron parte del mineral perteneciente a las vetas Potosí, San Miguel y Chocaya, en las cuales se encuentran labores subterráneas antiguas.

Fase dos: ésta es la fase final de la explotación, la cual está actualmente en desarrollo, en la que se pretende alcanzar un diámetro de 940 m, en dirección norte-sur, 650 m en dirección este-oeste y una profundidad de 402 m con respecto a la cota 4440 msnm. La extensión del *open pit* en profundidad alcanzará el sector San Miguel e incluirá también partes de las vetas Potosí, Chocaya y Blanca parcialmente explotadas.

Discusión y conclusiones

En la presente contribución se ha realizado una apretada síntesis de la historia minera del yacimiento Pirquitas el cual, a diferencia de la mayoría de los depósitos en el mundo, ha sido explotado primero por métodos subterráneos y posteriormente a cielo abierto. Esta particular secuencia de explotación se debe a las sucesivas investigaciones realizadas en el área a partir de 1995 que definieron un nuevo modelo del yacimiento con las características, dimensiones y reservas propias de un depósito diseminado de baja ley. Asimismo, además de los metales estaño y plata, comenzó a recuperarse el cinc en el nuevo proceso mineralúrgico desarrollado.

La profundización de un *open pit* en un área que fue previamente explotada subterráneamente aumenta considerablemente los riesgos de inestabilidad en las paredes de los bancos y en los caminos interiores. Esto trae aparejado controles, estudios especiales y la aplicación de técnicas particulares para un minado exitoso de un macizo rocoso de estas características.

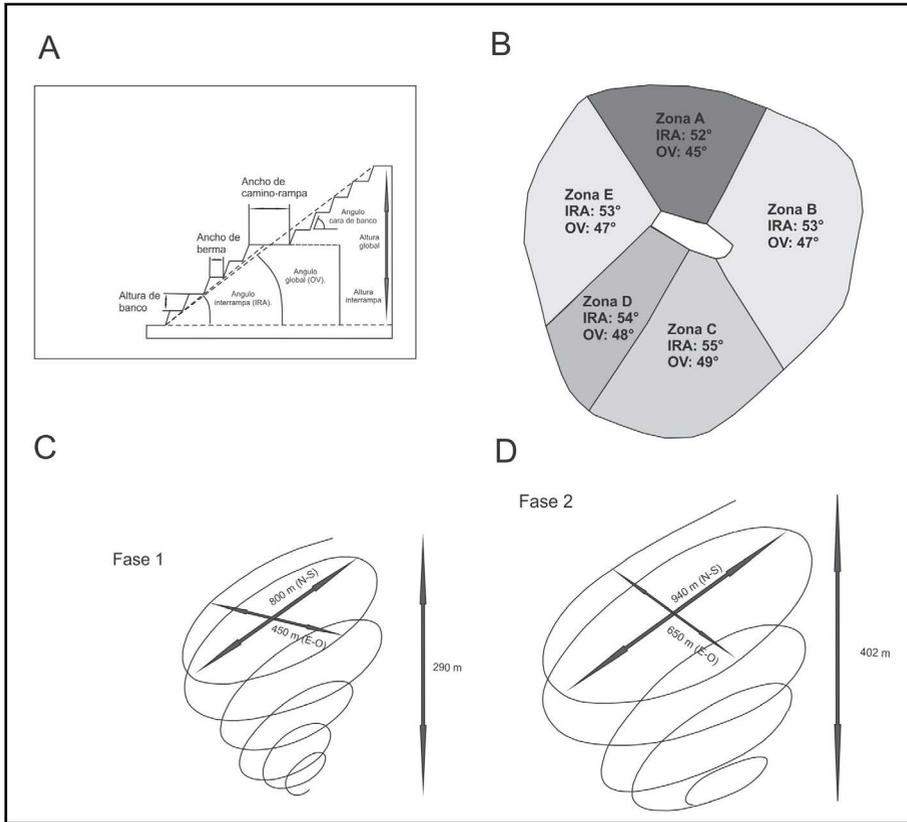


Figura 8. A y B) parámetros de diseño del *open pit* (modificado de Call and Nicholas, 1998; Karzulovik and Associated 2008). C) dimensiones de la fase 1. D) dimensiones de la fase 2. / **Figure 8.** A and B) design parameters of the *open pit* (modified from Call and Nicholas, 1998; Karzulovik and Associated 2008). C) dimensions of phase 1. D) dimensions of phase 2.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Silver Standard Resources, al ingeniero Alejandro Rachid, a la Universidad Nacional de Tucumán y al CONICET por el apoyo prestado para la realización del presente trabajo. Asimismo, agradecen al geólogo Ramón Chaile y a un árbitro anónimo por las sugerencias y correcciones que ayudaron a mejorar el manuscrito.

Bibliografía

- Ahlfeld, F. 1948. La terminación meridional de la faja estannífera boliviana. *Revista de la asociación Geológica Argentina*. 3: 133-144.
- Avila, J., Lazarte, J. y Velazco Robles, L. 1988. Metalotectos estructurales en el yacimiento estanno argentífero Minas Pirquitas, Jujuy. *3º Congreso Argentino de Geología Económica* (Olavarría). Actas: 221-236.
- Call and Nicholas Inc. 1998. Pit slope design, Pirquitas Mine. Sunshine Mining & Refining Company. 241pp. Inédito.
- Chayle, W. 1999. Minas Pirquitas, Jujuy. En: E. O. Zappettini (ed.), Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35:1593-1598. Buenos Aires.
- Chomnales, R. 1978. Mineralización en el Paleozoico Inferior en Mina Pirquitas. Reunión *Nacional el Paleozoico de Argentina*. Actas: 43-44.

- Hatch Inc. 2006. Feasibility study update for Pirquitas Silver, Zinc & Tin project, Jujuy province, Argentina. 221pp. Inédito.
- Idoyaga, M.G. 1992. Minas Pirquitas (departamento Rinconada, provincia de Jujuy). Estaño porfírico asociado a las vetas polimetálicas. *IV Congreso Nacional y I Congreso Latinoamericano de Geología Económica* (Córdoba). Actas: 83-92.
- Karzulovik and Associates. 2008. Geotechnical design of Pit slopes Pirquitas Project. 30 pp. Inédito.
- Malvicini, L. 1978. Las vetas de estaño y plata de Mina Pirquitas (Pircas) provincia de Jujuy, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 9 (1-2): 1-25.
- Turner, J.C. 1979. Geología de la comarca de Mina Pirquitas, provincia de Jujuy. *VII Congreso Geológico Argentino* (Neuquén) Actas 1: 351-366.

Recibido: 30/06/2013

Aceptado: 17/11/2013

