



## **RECURSOS MINERALES Y PROCESAMIENTO: PRIMERAS APROXIMACIONES A LAS ETAPAS EXTRACTIVAS Y MINERALURGIA EN EL SITIO EL SALTO-1 (DEPARTAMENTO TINOGASTA, CATAMARCA, ARGENTINA)**

*MINERAL RESOURCES AND PROCESSING: FIRST APPROXIMATIONS TO THE EXTRACTIVE STAGES AND MINERALURGY AT THE EL SALTO-1 SITE (TINOGASTA DEPARTMENT, CATAMARCA, ARGENTINA)*

Norma Ratto<sup>1</sup>, Carolina C. Méndez<sup>2,3</sup>, Patricia L. Ciccio<sup>2,3</sup>, Mara Basile<sup>4</sup> y Pablo Cruz<sup>5</sup>

### **Resumen**

Aportamos a la definición de las fases de extracción y procesamiento de minerales de la cadena operativa de la minería prehispánica en el oeste de Tinogasta (Catamarca, Argentina). Desarrollamos escalas macro y micro para caracterizar geológica y geoquímicamente los recursos minerales de

### **Abstract**

*We contribute to the definition of the mineral extraction and processing phases of the operational chain of pre-Hispanic mining in the west of Tinogasta (Catamarca, Argentina). We develop macro and micro scales to characterize geologically and geochemically the mineral resources of*

1. Instituto de las Culturas (Universidad de Buenos Aires-CONICET), Argentina. Facultad de Filosofía y Letras. [nratto@filo.uba.ar](mailto:nratto@filo.uba.ar)

2 Universidad de Buenos Aires, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas.

3 Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA), CONICET-Universidad de Buenos Aires, Argentina. [cmendez75@hotmail.com](mailto:cmendez75@hotmail.com), [ciccio@gl.fcen.uba.ar](mailto:ciccio@gl.fcen.uba.ar)

4 Instituto de las Culturas (Universidad de Buenos Aires-CONICET), Argentina. Facultad de Filosofía y Letras. [basilemara@gmail.com](mailto:basilemara@gmail.com)

5 UE CISOR, CONICET Universidad Nacional de Jujuy, Argentina. [saxrapablo@gmail.com](mailto:saxrapablo@gmail.com)

minas localizadas en las quebradas de Los Árboles y El Salto ubicadas en la vertiente occidental y oriental de la sierra de Fiambalá, respectivamente. Presentamos nuevas formas de procesamiento de las menas de minerales llevadas a cabo en el sitio El Salto-1, que se caracteriza por presentar grabados rupestres asociados con morteros con profundas oquedades y pesados machacadores. La metodología articula la realización de: (i) nuevas prospecciones dirigidas a la toma de muestras y el registro de potenciales lugares de extracción de minerales o antiguos piques y (ii) análisis geoquímicos sobre las muestras de roca y un artefacto lítico (machacador), para integrar los resultados con los antecedentes geológicos existentes y disponibles para la sierra de Fiambalá. Sostenemos como hipótesis que esos morteros fueron utilizados para el chancado de rocas para separar los minerales con valor económico.

Palabras clave: minería prehispanica, cadena operativa metallurgica, estaño, cobre.

*mines in the Los Árboles and El Salto creeks on the western and eastern slopes of the Sierra de Fiambalá. We present new ways of processing mineral ores at the El Salto-1 site, characterized by presence of rock engravings associated with mortars with deep cavities and heavy pounders. The methodology articulates: (i) new surveys for sample collecting and to record potential mineral extraction sites or old pits and, (ii) geochemical analyses of rock samples and a lithic artefact (pounder), to integrate the results with the existing and available geological background of the Sierra de Fiambalá. We posit that these mortars were used for crushing rocks to separate the minerals with economic value.*

*Keywords: prehispanic mining, metallurgical operative chain, tin, copper.*

---

**L**a minería ha sido objeto de extensos estudios que contemplaron las múltiples dimensiones de la actividad desde las funcionales hasta las esferas religioso-simbólicas (Bouysse-Cassagne 2005; Salazar *et al.* 2001). Los procesos mineros son fenómenos sociales impregnados de valores y actitudes que median en la toma de decisiones, desde la búsqueda y la extracción de materias primas hasta el producto terminado. Cada una de las etapas de la cadena operativa tiene requerimientos y dinámicas propias, por lo

que el estudio arqueológico del fenómeno minero no debe limitarse a describir la secuencia de actividades, sino más bien a entender su particularidad de acuerdo con el contexto natural, tecnológico, socioeconómico y cultural que le dio coherencia y sentido en el pasado (Absi 2009; Angiorama 2001; Cruz y Vacher 2008; González 2006; Lechtman 1976; Salazar 2003-2004; Salazar y Salinas 2008; Salinas y Salazar 2008). El arduo proceso se inicia con el reconocimiento, la obtención y el transporte de los minerales, su posterior procesamiento por medio de la molienda o chancado, la construcción de estructuras de combustión, la obtención de combustible, la reducción y la refinación y, eventualmente, la producción de objetos metálicos.

Este trabajo aporta nuevos datos para definir las etapas de extracción de minerales y la mineralurgia de la cadena operativa de la minería prehispánica desarrollada en el oeste de Tinogasta (Catamarca, Argentina). En trabajos anteriores (Ratto *et al.* 2021, 2023) se presentó la importancia del estaño en la región, pero sin cuantificar su asociación con otros minerales y su relevancia geológica. Por lo tanto, este trabajo se propone los siguientes objetivos:

a) Caracterizar geológica y geoquímicamente los recursos minerales existentes en las quebradas de Los Árboles y El Salto localizadas en la vertiente occidental y oriental de la sierra de Fiambalá (Dpto. Tinogasta, Catamarca; Figura 1), respectivamente.

b) Presentar nuevas formas de procesamiento de las menas de minerales llevadas a cabo en el sitio con grabados rupestres El Salto-1, localizado en la vertiente oriental de la sierra de Fiambalá. Se trata de un sitio adscrito a tiempos de las sociedades del primer milenio, *ca.* siglo VIII, donde se articulan espacialmente los grabados, los morteros de bocas profundas, machacadores pesados y un sitio residencial (El Salto-2), probable campamento minero. Estas evidencias se emplazan en un área con alta mineralización y la existencia de conectores naturales que articulan tanto con los valles del oriente como del occidente (Figura 1).

La hipótesis de trabajo sostiene que en los morteros simples y múltiples de bocas muy profundas asociados con los grabados del sitio El Salto-1 se realizó el chancado de rocas con inclusiones de minerales de estaño, tipo casiterita, para separar el mineral de la ganga y, posteriormente, transportarlo a otros espacios donde se realizó la fundición.

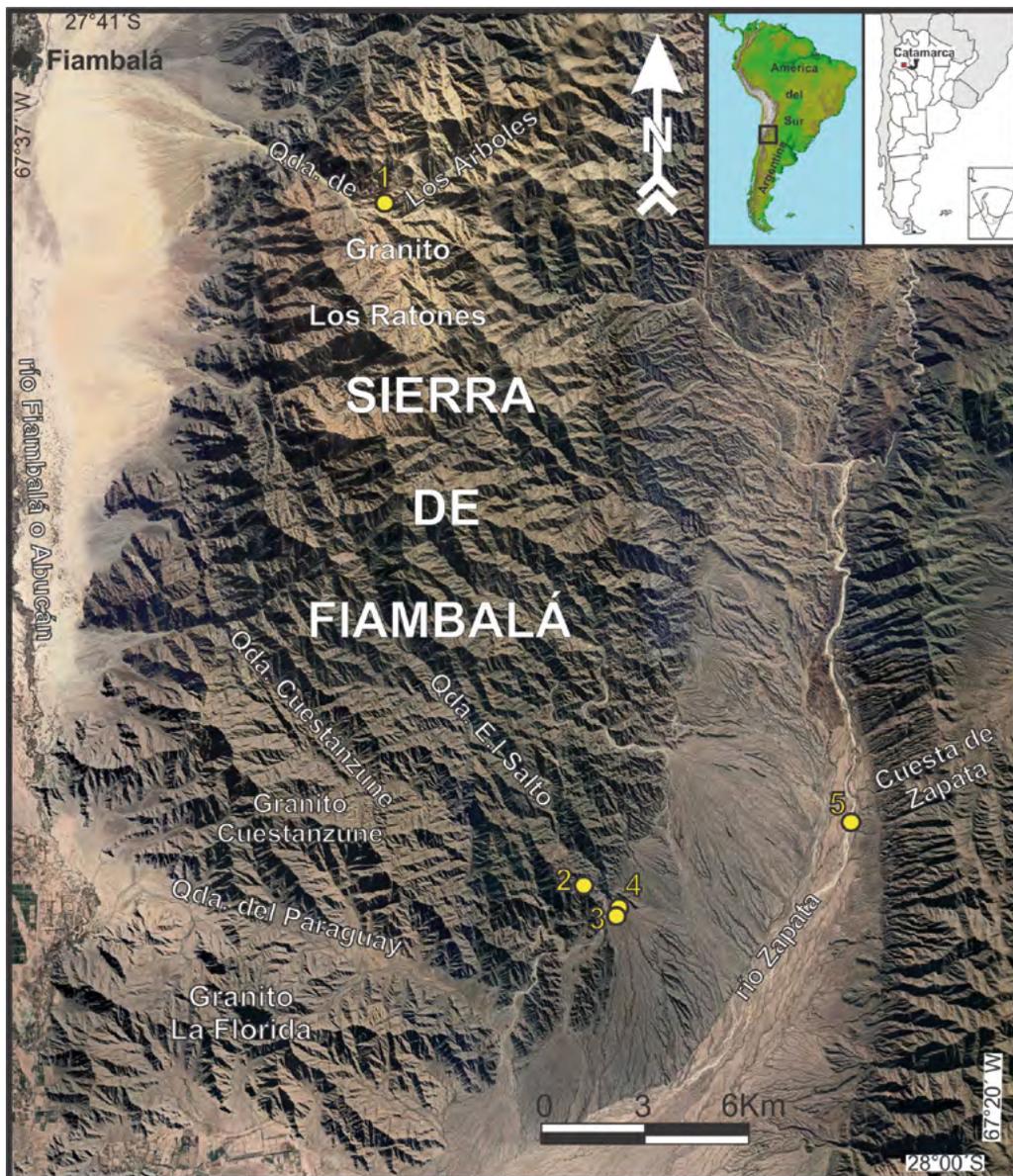


Figura 1. Mapa de ubicación de tipos de granitos, minas y sitios arqueológicos mencionados en el trabajo: 1: mina Fiambalá (quebrada Los Árboles); 2: mina Vil Achay (quebrada El Salto); 3: sitio El Salto-1; 4: sitio El Salto-2, y 5: sitio Río del Inca Lucke. Relación de minas y sitios con conectores naturales de la quebrada del Paraguay y cuesta de Zapata, que articulan con los valles de occidente y oriente, respectivamente.

## Lineamientos metodológicos

La metodología articula la realización de nuevas prospecciones en clave extractiva-mineralurgia y de análisis geoquímicos sobre muestras de rocas y artefacto lítico (machacador) para integrar los resultados con los antecedentes geológicos existentes para la sierra de Fiambalá y alrededores. Los rele-

vamientos pedestres estuvieron dirigidos a registrar potenciales lugares de extracción de minerales, antiguos piques y a la toma de muestras de rocas en las minas Fiambalá y Vil Achay, localizadas en las quebradas de Los Árboles y El Salto, respectivamente (Figura 1).

Se realizaron análisis petrográficos, calcográficos y geoquímicos de las rocas muestreadas y de un artefacto lítico (machacador) y residuos obtenidos de su parte activa, lo cual permitió establecer cuali-cuantitativamente las composiciones elementales y mineralógicas.

Las muestras fueron analizadas en los microscopios petrográficos Leica DM750P con cámara digital DFC295, el calcográfico Carl Zeiss Axiolab y/o en el microscopio electrónico de barrido (SEM), FEI modelo Quanta 250 con un detector de electrones retrodispersados (EDS). Por su parte, el machacador fue observado con lupa para detectar residuos adheridos en su parte activa. Esto permitió identificar material fino color rojizo junto con partículas menores a 1 mm con brillo metálico contenidos dentro de pequeñas cavidades de la roca metamórfica. Se obtuvieron 2 gramos de material que fue inmerso en resina epoxi, pulido y analizado con microscopio calcográfico y SEM-EDS para determinar los minerales metálicos. En la Tabla 1 se resumen las muestras analizadas.

## **Contexto geológico**

La sierra de Fiambalá constituye uno de los bloques de basamento elevados durante la orogenia andina perteneciente a las Sierras Pampeanas. Está formada por rocas metamórficas e ígneas, entre las que se encuentran esquistos, gneises y migmatitas de edad precámbrica intruidas por granitoides cámbricos (González Bonorino 1972; Grissom *et al.* 1991) que afloran al suroeste de la sierra. Gabros metamorfizados como el gabro Fiambalá (Grissom *et al.* 1991) afloran en una franja de 25 km<sup>2</sup> de posición oblicua al rumbo general de la sierra. El metamorfismo sobre estas rocas generó anfíbolitas ampliamente distribuidas en la margen occidental y en el extremo sureste de la serranía (Page *et al.* 1992; Villar 1970), cuya importancia radica en que la mineralización en la quebrada El Salto se encuentra asociada al contacto entre estas anfíbolitas y el granito (Fogliata y Ávila 2004). Además, existen varios cuerpos graníticos de edad carbonífera (Grissom *et al.* 1991), entre los que se destacan, por su magnitud, al norte del área, el granito Los Ratones y, al sudeste, los granitos de Cuestanzune, La Florida y otros de menor tamaño, como el granito El Salto (Figura 1). Estos granitos están asociados con elementos como estaño (Sn), wolframio (W), uranio (U) y azufre (S). Las mineralizaciones relacionadas con

estos elementos hacen que el área presente numerosos yacimientos o minas que han sido explotadas desde el siglo XX (wolframio y estaño). Entre ellas destacan el campamento en la quebrada de Los Árboles y la mina Vil Achay, puntos de interés en este trabajo, ya que su explotación se remonta a tiempos prehispánicos (ver más adelante).

Número de muestra de roca	Proveniencia	Estudios realizados
CC1	Antiguo laboreo prehispánico, quebrada El Salto, 1688 msnm	CP - CC - SEM-EDS
CC2	Mina Vil Achay, quebrada El Salto, 1733 msnm	CP - CC
CC3		
CC4 -A		
CC9	Quebrada El Salto camino a mina Vil Achay, 1683 msnm	CP - CC - SEM-EDS
CC10	Poblador local Pedro Saleme, quebrada de Los Árboles	CP- CC- SEM-EDS
4290-186-Roca-1		CC
4289-192	Mina Fiambalá, quebrada de Los Árboles. 8 km interior desde la ruta provincial 156, 2367 msnm	L-I
4289-194		
4289-195		
4289-196		
4289-197		
4289-198		
4289-199		

**Tabla 1.** Muestras analizadas con indicación del tipo, la localización y los distintos métodos empleados. Ref.: CP: corte petrográfico; CC: corte calcográfico; SEM-EDS: microscopio electrónico con detector de electrones retrodispersados; L-I: lupa e imán.

### Mina Vil Achay y quebrada El Salto

Esta mina se localiza en la ladera suroriental de la sierra de Fiambalá (Figura 1). El basamento metamórfico consiste en anfibolitas pertenecientes al gabro Fiambalá caracterizado por rocas de color gris verdoso oscuro, de grano medio a fino, con bandeamiento por sectores, textura granoblástica compuesta por hornblenda, plagioclasa básica y minerales accesorios, como titanita y apatita (Fogliata y Ávila 2004; Idoyaga 1995). Por su parte, el granito El Salto (Figura 1), de carácter intrusivo y contacto neto con esta anfibolita, aflora en el área con forma elongada, rumbo general norte y una extensión aproximada de 7 kilómetros (Ávila 1982). En las proximidades del yacimiento, el granito tiene un ancho de 170 m, es blanco amarillento y presenta una textura equigranular

de grano medio (1-3 mm). Está formado por cuarzo, plagioclasa, ortosa y accesorios, como biotita, apatita y circón. Este granito es meta a peraluminoso enriquecido en Rb, Nb, Y y Sn.

La mineralización se encuentra diseminada principalmente en el dique granítico, aunque también se distribuye dentro de la anfibolita, siempre en las zonas de alteración cercanas al contacto entre ambas rocas. Se reconocen zonas con mayor concentración de casiterita ( $\text{SnO}_2$ ) controladas por fracturas subverticales cerca del contacto oeste del dique con la anfibolita. Se identificó la siguiente secuencia mineral: casiterita, wolframita (escasa), magnetita, pirita, calcopirita, covelina-calcosina, hematita, limonita, malaquita-azurita. Por su parte, los minerales de ganga son albita, cuarzo, fluorita, lepidolita, zinwaldita y topacio (Fogliata *et al.* 2004). Cravero (1974) menciona la existencia de estannita ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ).

La casiterita se presenta en individuos grandes de hasta 4 mm, maclados y con zonación diseminada dentro del dique granítico. También aparece formando agregados de pequeños cristales en venillas tipo *stockworks* en las zonas del dique granítico con greisenización. La wolframita ( $\text{Fe,Mn,MgWO}_4$ ) es escasa y se presenta en individuos prismáticos asociados íntimamente a casiterita en una muestra del dique granítico (Ávila 1982). La magnetita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ ), que constituye el segundo mineral de mena en orden de abundancia, se desarrolla en cristales idiomórficos entre 300 micrones y 1 mm de diámetro. Su distribución es irregular y acompaña a la casiterita tanto en el dique granítico como en las zonas de contacto dique granítico-anfibolita. La pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) son muy escasas y se reconocen en pequeños cristales incluidos en magnetitas. Otros minerales supergénicos que aparecen como pátinas, impregnaciones o alteraciones son covelina ( $\text{CuS}$ )-calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), limonita ( $\text{FeO(OH)nH}_2\text{O}$ ), malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ )-azurita ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ) y natrojarosita ( $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ).

### **Distrito minero Los Árboles-Los Ratones**

Este distrito se ubica en la parte central de la sierra de Fiambalá, ladera occidental (Figura 1). Los yacimientos de casiterita, wolframita, galena y esferita situados entre las quebradas de Los Árboles y Los Ratones se conocen desde el siglo XX y su descubrimiento es posterior a los de El Fraile y Zapata (Idoyaga 1995).

La mineralización de Sn y W en este distrito se presenta en abundantes y numerosas fajas de alteración, reconocibles por su color castaño grisáceo y por las vetas de cuarzo irregulares que contienen en su interior (Catalano 1930; Idoyaga 1995; Lanefors 1930; Tezón 1957). Tanto las zonas de alteración

como las vetas tienen grandes extensiones y son observadas a simple vista en una distancia de cientos de metros. Las zonas de alteración pueden alcanzar hasta los 2 m de espesor, mientras que las vetas presentan espesores generalmente de 10-30 cm, pudiendo alcanzar hasta 100 cm. La distribución de la casiterita es heterogénea; se reconocen sectores pobres y otros más ricos, ya que se presenta en impregnaciones aisladas, en concentraciones lenticulares irregulares y astilladas de reducido tamaño, en revestimientos en fracturas y fisuras del cuarzo y en otros casos, como relleno de finas venillas de pocos milímetros de espesor. Algunas vetas presentan como accesorios topacio, fluorita, pirita y calcopirita y como minerales secundarios, óxidos de hierro y de cobre, que, en general, son de alta dureza, pero también existen zonas de alteración que se caracterizan por ser blandas y de fácil extracción.

La concentración del estaño es muy variable. Catalano (1930) presenta un análisis cualitativo y cuantitativo de distintas muestras correspondiente a vetas, laboreos, cateos y escarpes, lo que es indicativo de la gran variabilidad del porcentaje de Sn (desde 0,16 hasta 63 %). Estos valores no permiten establecer un valor promedio del mineral ni la ley común de la veta mineralizada debido a las características de la mineralización, donde la casiterita se encuentra distribuida heterogéneamente: en algunos sectores aparece fuertemente concentrada y en otros casi ausente.

Las minas son de fácil acceso, reconocibles y las vetas no se encuentran a más de 500 metros sobre el nivel de la quebrada de Los Árboles, lo cual facilita su extracción, laboreo y transporte. Esto permite suponer que fueron explotadas por las poblaciones prehispánicas que habitaban la región.

### **El sitio El Salto-1: morteros, chancadores y arte rupestre**

El sitio El Salto-1 (ES-1) está conformado por 10 bloques grabados, cuyas rocas soportes son granitos y gneises de textura fina, característicos de la sierra de Fiambalá, dispuestos en la terraza fluvial del río El Salto, 2 km al sur de la mina Vil Achay (Figuras 1 y 2). Basile y Ratto (2024) registraron diversos motivos entre los que se destacan aquellos que sugieren la transformación de humanos en felinos o *uturuncos* (*sensu* Cornejo 2023), lo cual permite ubicar temporalmente el conjunto rupestre alrededor del siglo VIII de la era. En asociación con los bloques grabados, se registraron morteros y chancadores (Figuras 2 y 3) que, por sus características, no relacionamos con actividades domésticas de molienda de productos alimentarios, sino con la minería.

Se documentaron cuatro morteros fijos, simples y múltiples, mayormente con oquedades del tipo cupuliforme terminadas y otras incipientes (*sensu* Gio-

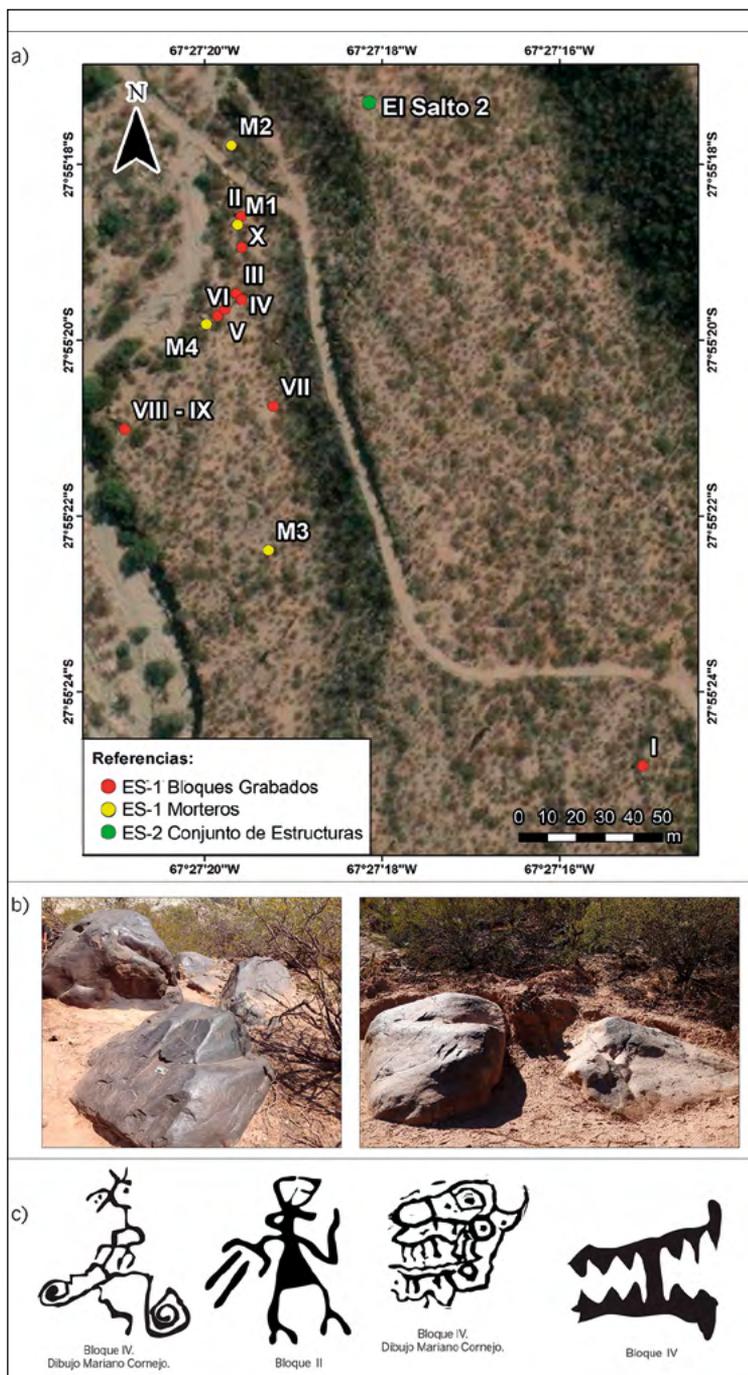


Figura 2. (a) Localización de las rocas con grabados y morteros en la terraza fluvial del sitio El Salto-1 y su relación con El Salto-2; (b) Algunos bloques grabados; (c) Imágenes de *uturuncos* y fauces felínicas grabadas. Adaptada de Basile y Ratto (2023).

vannetti 2017). Las primeras presentan profundidades que oscilan entre 24 y 40 cm, asociadas a artefactos de molienda móviles y muy pesados, considerados chancadores manuales, sin empuñadura y usados con gesto técnico de percusión (Tabla 2, Figura 3e). El artefacto analizado fue manufacturado en roca metamórfica, presenta forma prismática (27 x 9 x 7 cm), 4 kg de peso y una parte activa con evidencia de uso. Tanto los morteros como los chancadores fueron manufacturados en rocas muy duras y de textura gruesa, granitos, anfibolitas y gneises, que contrasta con los bloques grabados que guardan una litología similar, pero que son de grano más fino.

Los grabados y los morteros con sus chancadores están vinculados espacialmente con el sitio El Salto-2, compuesto por un conjunto de estructuras circulares, con un muro doble, deterioradas por procesos de formación naturales intensos (erosión por escorrentía superficial) y culturales (reclamación), y asociados con cerámica estilo Aguada (fines del primer milenio). La reclamación arquitectónica posiblemente ocurrió a comienzos del siglo XX, a juzgar por el tipo de vainas de escopetas recuperadas.

Es elocuente la relación espacial entre el área mineralizada, los *uturuncos* grabados, los morteros profundos con los chancadores y el posible campamento minero, que consideramos relacionado con las primeras etapas (extractiva y de procesamiento) de la cadena operativa de las prácticas mineras.



Figura 3. Morteros del sitio El Salto-1: Mortero 1 (a) y 4 (d) de boca simple; Mortero 2 (b) y 3 (c) de boca múltiple; y (e) chancador analizado, vista frontal y detalle de superficie activa.

Rótulo	Caso	N <sup>a</sup> oquedad	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)	Tipo
6446	Mortero 1, simple	1	25	24	cupuliforme
6447	Mortero 2, múltiple	1	22	40	cupuliforme
		2a	22	37	cupuliforme
		2b	9	4	cupuliforme incipiente
		3	25	33	cupuliforme
		4	12,5	8	cupuliforme incipiente
		5	15	9	cupuliforme incipiente
		6	18	30	cupuliforme
6448	Mortero 3, múltiple	7	23,5	39	cupuliforme
		1	20	40	cupuliforme
		2	15	13	cupuliforme incipiente
		3	16 (fractura)	30	cupuliforme
6449	Mortero 4, simple	4	10	6	cupuliforme incipiente
		1	22	36	cupuliforme

Tabla 2. Tipos y dimensiones de los morteros del sitio El Salto-1.

## Resultados

A continuación presentamos los resultados de las prospecciones y de los análisis realizados sobre las muestras de rocas de las minas Fiambalá y Vil Achay (Tabla 1), como también en el machacador o chancador.

### Relevamientos en clave extractiva y mineralurgia

En la quebrada de Los Árboles se identificaron cuatro antiguas explotaciones mineras superficiales y de tamaño reducido en una pequeña quebrada adyacente a la mina Fiambalá explotada en el siglo XX (S 27°43.969' O 67°31.040, 2367 msnm). Estos antiguos piques están alineados con la probable dirección de la veta metalífera en sentido N-S (Figura 4). Las minas se presentan como frentes de trabajo que se adentran en la roca horizontalmente

aproximadamente entre 0,5 m y 4 m por la más grande. En la parte superior del sector, asociado con dos de estos laboreos, se observa un muro de contención para material de caja, además de registrarse varias concentraciones de rocas de caja en el fondo de la quebrada y junto al sendero de acceso. En el lugar se registró material de descarte, rocas de tamaño reducido con abundantes óxidos de cobre y, en menor medida, carbonatos (azurita, malaquita). No se identificaron martillos en asociación con los antiguos laboreos.

No obstante, tanto por las características de las minas como por la inexistencia en los frentes de trabajo de trazas de pirquino producidas por instru-



Figura 4. Antiguos laboreos probablemente prehispánicos en quebrada de Los Árboles, adyacente a la mina Fiambalá.

mentos metálicos, sostenemos como hipótesis de trabajo que su antigüedad se remonta a tiempos prehispánicos, especialmente en los casos de las minas localizadas en la parte inferior del cerro. En general, los depósitos o las vetas superficiales de minerales metalíferos más cercanos suelen ser los primeros en ser explotados, siendo, por ende, los más antiguos, probablemente prehispánicos, en función de las limitaciones técnicas para construir galerías o socavones de acceso. Tal sería el caso de estas explotaciones.

El otro sector prospectado fue la quebrada El Salto, donde se registraron dos pequeñas explotaciones mineras (S27 54 37.5 W67 27 39.7, 1684 msnm), aproximadamente a 1,6 km del sitio El Salto-1, aguas arriba, en dirección a la mina Vil Achay. Ambas se localizan en el fondo de la quebrada, presentándose como oquedades poco profundas (aprox. 1 m) en matriz granítica grisácea (Figura 5). En las paredes no se identificó ninguna traza de laboreo realizado con herramienta de metal. La morfología de estas explotaciones se corresponde con minas prehispánicas estudiadas en otras partes de los Andes (Cruz *et al.* 2017). Asimismo, en ninguno de los dos casos se observaron rocas de caja junto a las explotaciones, por lo cual se descarta que se trate de labores recientes.



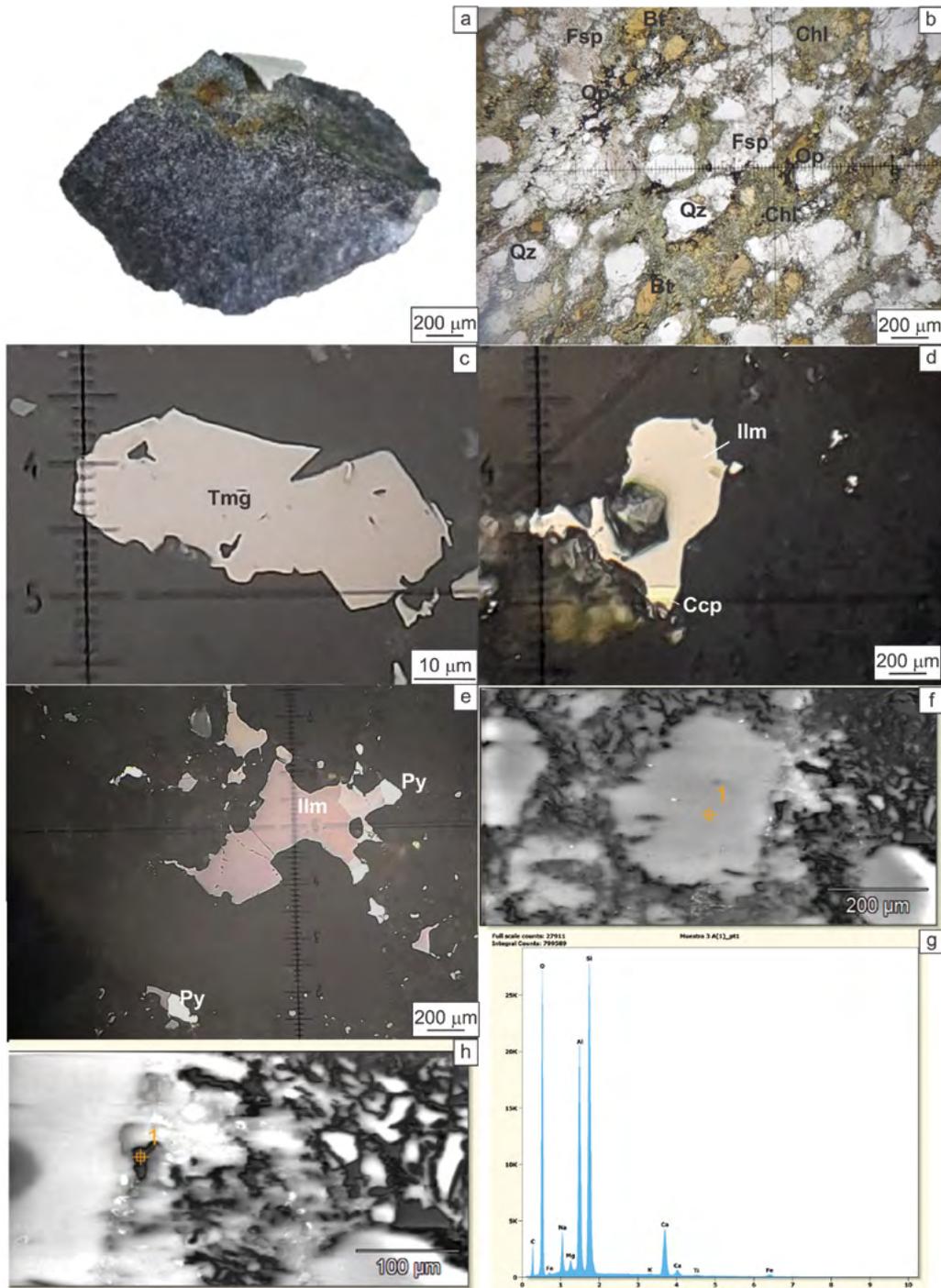
Figura 5. Antiguo laboreo, probablemente prehispánico, en la quebrada El Salto.

## Características geológicas y geoquímicas de las rocas de la sierra de Fiambalá

Presentamos los resultados de los estudios petrográficos, calcográficos y analíticos de las muestras de rocas de las minas Fiambalá y Vil Achay (Tabla 3), donde se especifican los minerales de interés reconocidos, tales como la casiterita, la magnetita y otros minerales de cobre y hierro.

Proveniencia	Muestra de roca	Minerales de interés reconocidos
Quebrada El Salto, mina Vil Achay y alrededores	CC1	Sulfuros de hierro y cobre y óxidos de hierro y titanio (magnetita, titanomagnetita, ilmenita, pirita y calcopirita).
	CC2	Minerales de cobre (malaquita) y de hierro (hematita) en veta de cuarzo.
	CC3	Minerales de hierro (hematita, goethita y limonitas).
	CC4 -A	Minerales de cobre y hierro (malaquita, azurita y hematita) asociada a cuarzo blanco grisáceo. Epidota y mucha sericita en venillas.
	CC9	Minerales de cromo, cobre y zinc (cromita, pirita y esfalerita) en una roca color negra afanítica magnética. Epidota, clorita, anfíboles y serpentina como alteraciones.
Quebrada de Los Árboles, mina Fiambalá y alrededores	CC10	Minerales de estaño y cobre (casiterita, malaquita y crisocola). Cristales de color gris, fracturas rellenas con otro mineral, presenta reflexiones internas rojas a anaranjadas, rellenas con goethita. Tiene crisocola.
	4290-186- Roca 1	Minerales de plomo, zinc, hierro y cobre (galena, esfalerita, pirita y calcopirita).
	4289-192	Cristales de magnetita de color negro.
	4289-194	Minerales de cobre (malaquita, azurita), cuarzo y pátinas de óxidos de hierro de color castaño rojizo.
	4289-195	Minerales de cobre (malaquita, crisocola) y óxidos de hierro.
	4289-196	Minerales de cobre en pátinas verdosas (malaquita) y óxidos de hierro.
	4289-197	Minerales de cobre (malaquita) y óxidos de hierro junto con cuarzo gris.
	4289-198	Minerales de cobre (malaquita y azurita en pátinas) y de estaño (casiterita en cristales euhedrales de color negro de 2 a 8 mm) asociados a cuarzo gris.
	4289-199	Minerales de cobre (pátinas de azurita, covelina y calcosina iridiscente), cuarzo gris con pátinas rojas por los óxidos de hierro.

Tabla 3. Minerales reconocidos en cada una de las muestras de roca analizadas.



**Figura 6.** Muestra CC1, mina Vil Achay y Carlos I: a) Fotografía de muestra de mano. Fotomicrografías: b) Sin analizador (5X) con cristales de biotita (Bt) castaños, clorita (Chl) verde claro, cuarzo (Qz) con Feldespato (Fsp) y minerales opacos (Op); c) Titanomagnetita (Tmg) gris cataño, algo anisótropa; d) Cristal de ilmenita (Ilm) castaña, pleocroica y anisótropa en contacto con calcopirita (Ccp); e) Cristal de ilmenita color castaño, pleocroísmo y birreflectancia con fuerte anisotropía en contacto con pirita de alta reflectividad y euédral blanco crema, isotrópico con analizador; f) Imagen SEM-EDS del punto 3A; g) Histograma de elementos en el espectro del punto 3A; h) Imagen SEM-EDS del punto 3B.

La muestra CC1 (quebrada El Salto) es de color negro con textura granosa fina y pátinas rojas de óxidos de hierro (Tabla 3, Figura 6a). En el corte petrográfico (Figura 6b) se observa una textura granosa conformada por 25 % de cuarzo subhedral, 20 % de biotitas, 20 % de feldespato potásico, 10 % de plagioclasa, 23 % de minerales máficos y 2 % de minerales opacos. Los minerales opacos están asociados a la biotita. Al microscopio calcográfico se identificó magnetita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ ), titanomagnetita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Ti}_2\text{O}_4$ ), ilmenita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}\text{O}_3$ ), pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ). Con SEM-EDS se pudo confirmar la presencia y determinar la composición de algunos de estos minerales, como la ilmenita (puntos 3A y B en Tabla 3).

Muestra CC1 (% en peso)	C	Ca	Mn	Al	Si	K	Cl	S	Fe	Mg	Na	O	Ti	P
3A	5,11	8,76		14,33	24,21	0,12			1,46	0,6	3,18	41,99	0,24	
3B1	2,19	3,13	1,2	4,81	9,24	0,08			26,11	1,27	1,4	28,87	21,71	
3B2	2,59	30,55		2,67	6,95	0,13	0,14		3,15	1,41	0,88	37,89	0,8	12,86
3D	1,12	8,89		8,29	21,63	0,84	0,11	0,14	10,01	5,6	1,93	40,52	0,93	

Tabla 4. Muestra CC1: porcentaje en peso de los puntos 3A, 3B1, 3B2 y 3D obtenidos por EDS.

La muestra CC2 (Tabla 3, Figura 7a) es un fragmento de veta de cuarzo blanco con pátinas castañas rojizas de óxidos de hierro y verdes oscuros del carbonato de cobre (malaquita). Microscópicamente se reconoce solo cuarzo que rellena venillas, junto con sericita. La muestra CC3 (Tabla 3, Figura 7b) es de color castaño rojizo con pátinas de óxidos de hierro, hematita, goethita y limonitas. También microscópicamente se reconocen cristales de plagioclasa de grano grueso, óxidos e hidróxidos de hierro y minerales opacos. En el corte calcográfico se observa hematita y goethita. La muestra CC4-A (Tabla 3, Figura 7c) es una roca castaña rojiza con pátinas verdes de malaquita y azules de azurita, asociadas a cuarzo blanco grisáceo.

La muestra CC9 (Tabla 3, Figura 8a) es una roca negra de textura afanítica, levemente magnética. Petrográficamente (Figura 8 b y c) presenta cristales euhedrales de minerales máficos alterados a epidota, clorita, posiblemente anfíboles y/o piroxenos no identificables por la fuerte alteración. La muestra está constituida por 75 % de serpentina ( $\text{MgFe}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) (Figura 8c). Calcográficamente, se identificó cromita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$ ). La importancia de la presencia de cromita en el sector es que este suele estar asociado metalogénicamente

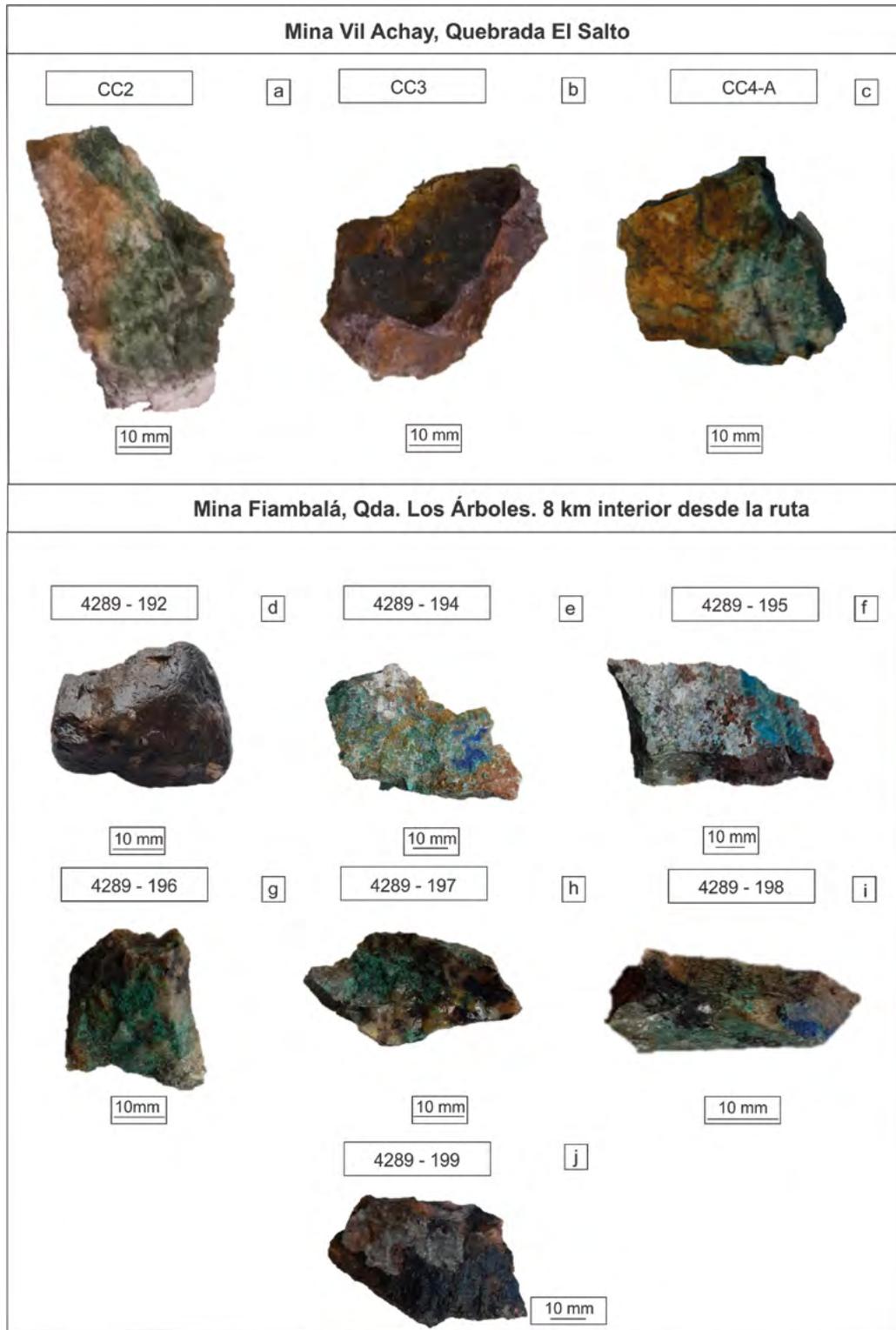


Figura 7. Muestras de rocas analizadas provenientes de: (a-c) la mina Vil Achay y (d-j) mina Fiambalá.

a pirrotina ( $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$ ), pentandita ( $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ ) y calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ). Las venillas están rellenas con hematita. El pulido presenta un magnetismo leve, propio de la cromita. El SEM-EDS confirmó su composición elemental (Tabla 5).

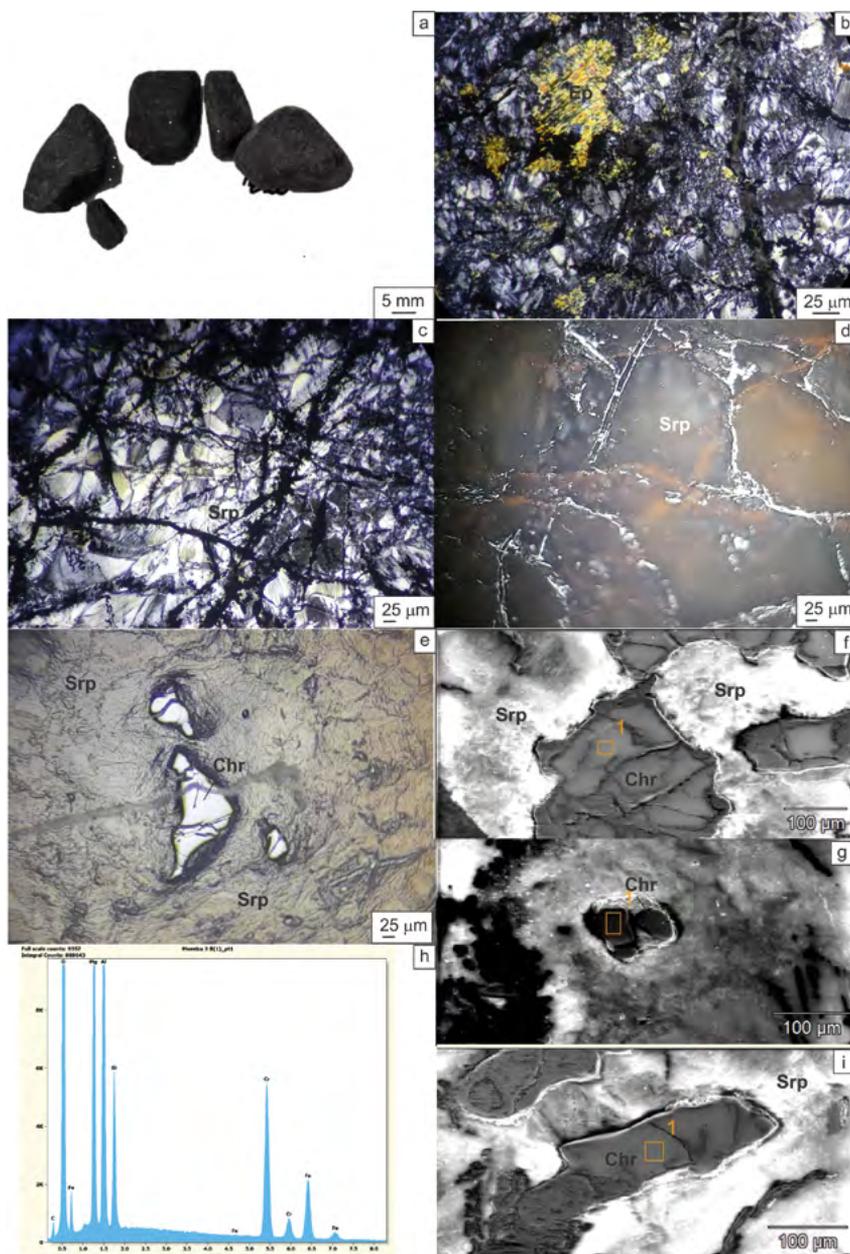


Figura 8. Muestra CC9 (quebrada El Salto): a) Roca negra afanítica. Fotomicrografía: b) Cristales de epidota (Ep) inmersos en serpentina (Srp) y minerales opacos (Op) diseminados (sin analizador); c) Serpentina (Srp) con venillas tipo stockwork rellena de minerales opacos (Op); d) Serpentina (Srp) con venillas tipo stockwork rellena de hematita (Hm) (con analizador); e) Cristales grises de cromita inmersos en serpentina (sin analizador); f) Imagen SEM-EDS del punto 2A; g) Imagen SEM-EDS del punto 2B; h) Histograma de elementos en el espectro del punto 2B; i) Imagen SEM-EDS del punto 2C.

Muestra CC9 (% en peso)	Fe	O	Al	Si	Mg	Cr	C	Cromita
2A(1)	18,39	14,02	16,89	4,33	12,95	32,01	1,4	$Cr_{1,87}Al_{0,13}Fe_{1,76}Mg_{0,25}O_{3,74}$
2B(1)	18,92	14,9	16,22	6,37	14,24	28,75	0,59	$Cr_{1,63}Al_{0,37}Fe_{1,73}Mg_{0,27}O_{4,11}$
2C(1)	18,44	14,1	16,5	5,09	13,71	30,21	1,96	$Cr_{1,76}Al_{0,24}Fe_{1,73}Mg_{0,29}O_{4,86}$

Tabla 5. Muestra CC9: porcentaje en peso de los puntos 2A1, 2B1 y 2C1 obtenidos por EDS.

La muestra CC-10 (Tabla 3, Figura 9a) es una roca masiva, color castaño oscuro, grano grueso, alto peso específico y raya blanca. Se observa una cavidad rellena con crisocola de color verde y tinte turquesa. Al microscopio calcográfico se observó 90 % de cristales de casiterita, confirmado por el SEM-EDS ( $SnO_2$ , punto 1A Tabla 6). Presenta textura brechosa cementada con goethita (Figuras 9b y 9c) y una cavidad rellena con crisocola ( $Cu, Al)_4H_4(OH)_8Si_4O_{10}H_2O$ ) de color celeste verdoso (Figura 10 y Tabla 6).

Muestra CC10 (% en peso)	C	O	Na	Al	Si	Mg	Ca	K	Cl	Fe	S	Sn	Cu
1A	0,33	21,81		0,13						0,63		77,11	
1B	0,7	37,57	0,57	0,75	3,9		0,49		0,05	41,76	0,63	11,93	1,53
1C	3,45	37,54	2,23	2,15	19,3	0,11	0,33	0,35	0,41	1,17	0,5		32,46
1D	3,99	36,5	0,88	2,74	9,74	0,12	0,21		0,19	10,92	0,31	22,15	12,24

Tabla 6. Muestra CC10: porcentaje en peso de los puntos 1A, 1B, 1C y 1D obtenidos por EDS.

El pulido calcográfico de la muestra 4290-186-Roca-1 registró cristales subhedrales de galena (PbS) blanca grisácea en contacto con calcopirita ( $Cu-FeS_2$ ) de color amarillo y cristales subhedrales de esfalerita (ZnS) color gris (Figura 11).

En las muestras analizadas con lupa e imán (Tabla 3 y Figura 7) se reconocen cristales de magnetita de color negro (muestra 4289-192); distintos minerales de cobre (malaquita, azurita, crisocola, covelina y calcosina iridiscente), cuarzo y pátinas de óxidos de hierro de color castaño rojizo (muestras 4289-194, 4289-195, 4289-196, 4289-197 y 4289-199). Se destaca la muestra 4289-198 (Figura 7), que presenta cristales euhedrales de casiterita de color negro, de 2 a 8 mm de diámetro, asociados a cuarzo gris, y pátinas de minerales de cobre, como malaquita y azurita.

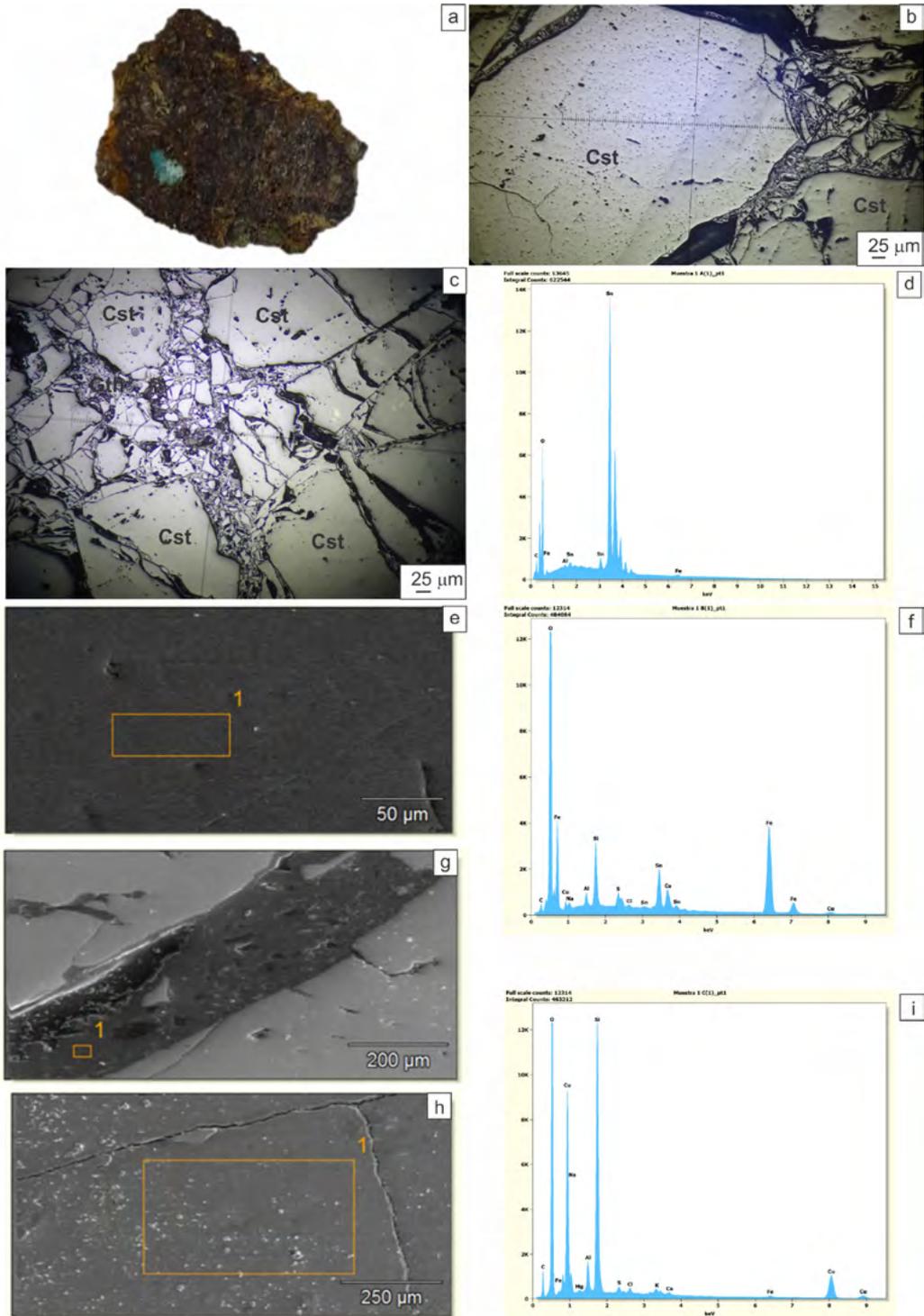


Figura 9. Muestra CC-10, quebrada de Los Árboles: a) Muestra de mano de casiterita y crisocola; b y c) Fotomicrografías sin analizador (20X) de cristales euhedrales de casiterita (Cst) gris de textura brechosa con cemento de goethita (Gth) color gris oscuro; d, f, i) Histograma de elementos en el espectro; e, g, h) Imágenes SEM-EDS.

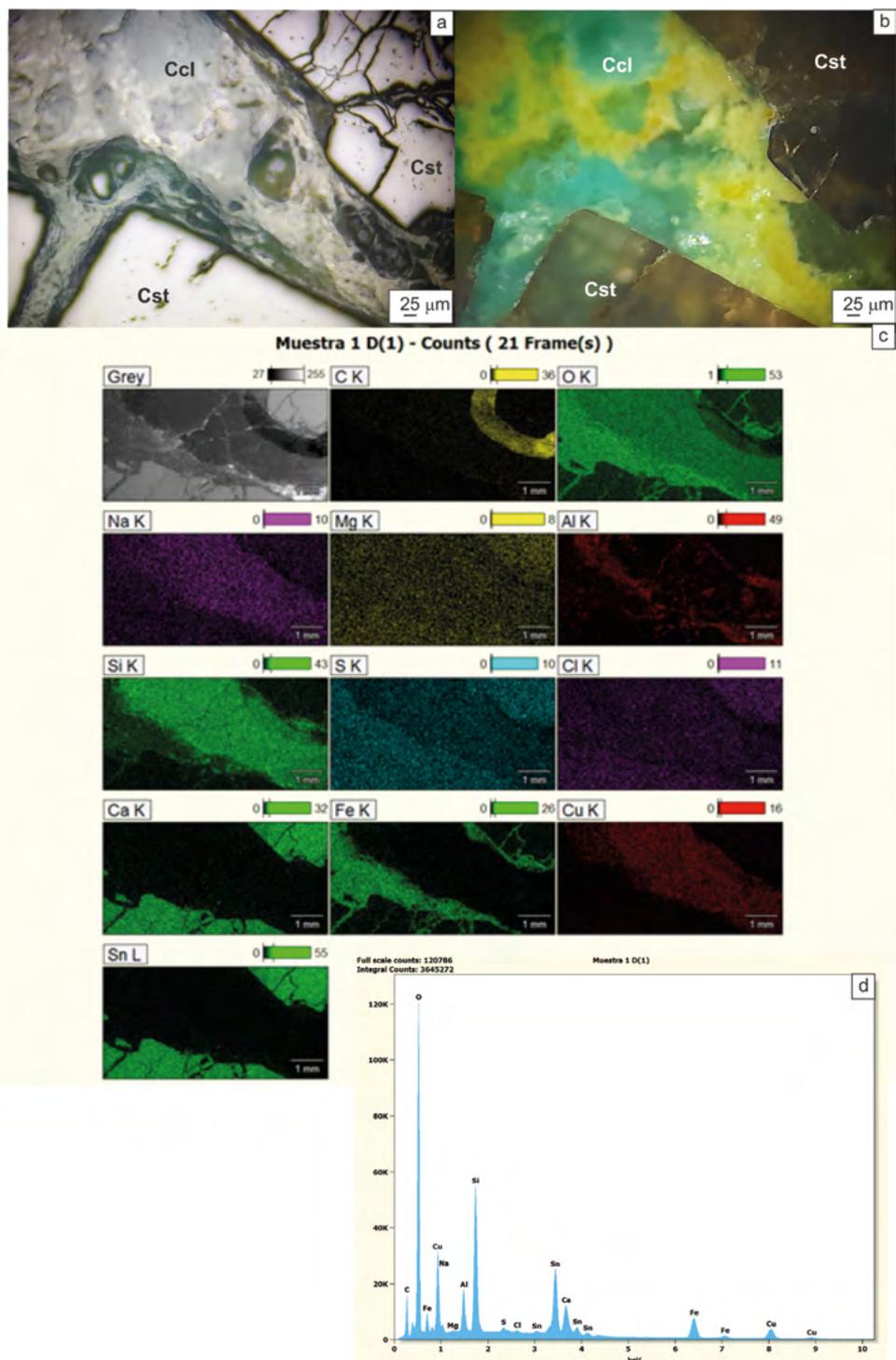


Figura 10. Muestra CC10, quebrada de Los Árboles: Fotomicrografías: a) Cristales euhedrales de casiterita (Cst) de color gris en contacto con crisocola (Ccl) sin analizador (20X); b) Cristales euhedrales de casiterita (Cst) con reflexiones internas color castaño amarillentas en contacto con crisocola (Ccl) de reflexiones internas verdes con analizador (20X); c) Mapa electrónico del punto 1D del SEM-EDS; d) Histograma de elementos en el espectro del punto 1D.

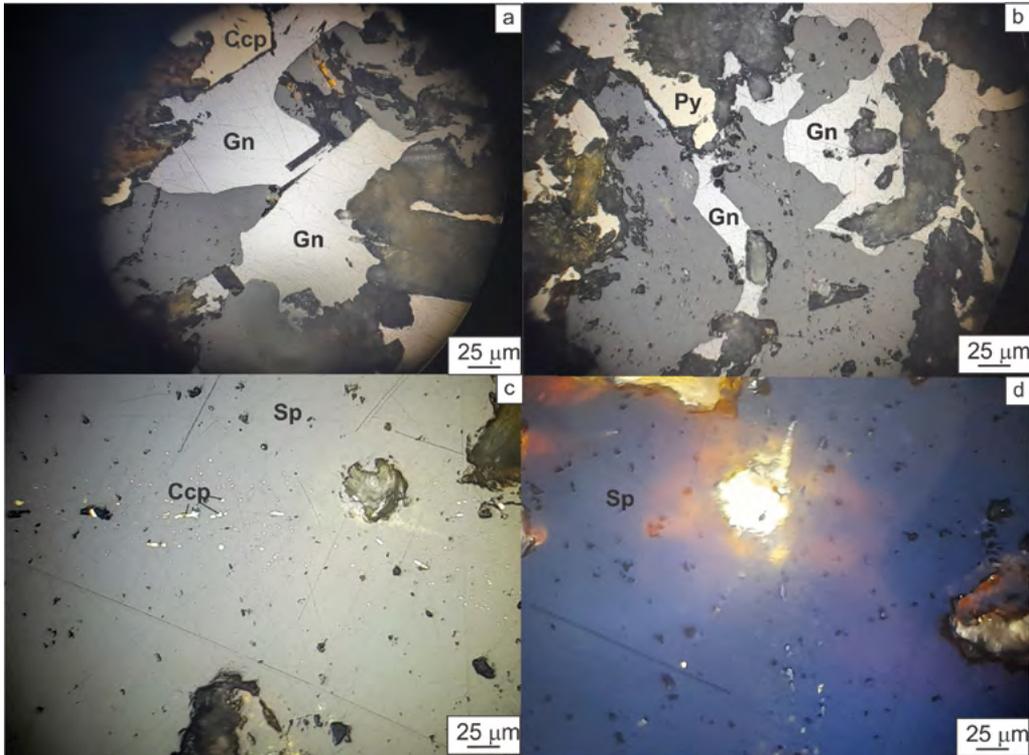


Figura 11. Muestra 4290-186-Roca-1, quebrada de Los Árboles. Fotomicrografías: a) Cristales de galena (Gn) subhedral en contacto con calcopirita (Ccp) amarilla de 25 micrones sin analizador (20X); b) Pirita (Py) subhedral blanca amarillenta en contacto con esfalerita (Sp) gris; c) Cristal de esfalerita gris oscuro con exsoluciones de calcopirita (Ccp) sin analizador (20X); d) Cristal de esfalerita (Sp) con reflexiones internas castaño rojizas con analizador (20X).

### **Análisis del chancador o machacador: roca soporte y residuos analizados**

El chancador fue manufacturado en una roca metamórfica, de color gris oscuro y textura nematoblástica, conformada por la disposición de minerales máficos y feldespatos de color blanco junto con cuarzo (Figura 3e). Se observan con lupa minerales de brillo metálico menor a 1 % diseminados en ambas bandas.

Con el microscopio petrográfico (Figura 12a y b) destaca una textura nematoblástica con 60 % de cristales de anfíbol de hábito prismático de color verde, 35 % de plagioclasa, 3 % de cuarzo y 2 % de minerales opacos. Estos últimos están diseminados en los cristales de cuarzo y feldespato, y también en contacto con los cristales de anfíbol. La roca es una anfíbolita. Al microscopio calcográfico se detectaron cristales de ilmenita, titanomagnetita, magnetita, hematita, pirita, calcopirita y goethita (Figura 12 c-h). La ilmenita puede presentar maclas lamelares (Figura 12e). En algunos sectores, la pirita está

reemplazada por goethita gris, con reflexiones internas rojizas (Figura 12h). Este reemplazo denota la alteración supergénica que genera pátinas rojas en la superficie de la muestra de mano, probablemente al ser utilizado como machacador. Hay cristales subhedrales de calcopirita.

En relación con los residuos recolectados en la parte activa del machacador se observó: (a) mineral blanco crema, muy reflectivo, posiblemente pirita ( $\text{FeS}_2$ ); (b) mineral blanco grisáceo, anisótropa, posiblemente hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y (c) mineral blanco con analizador anisótropo, posiblemente titanomagnetita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Ti}_2\text{O}_4$ ) por los valores obtenidos con el SEM-EDS (Figura 13 y Tabla 7).

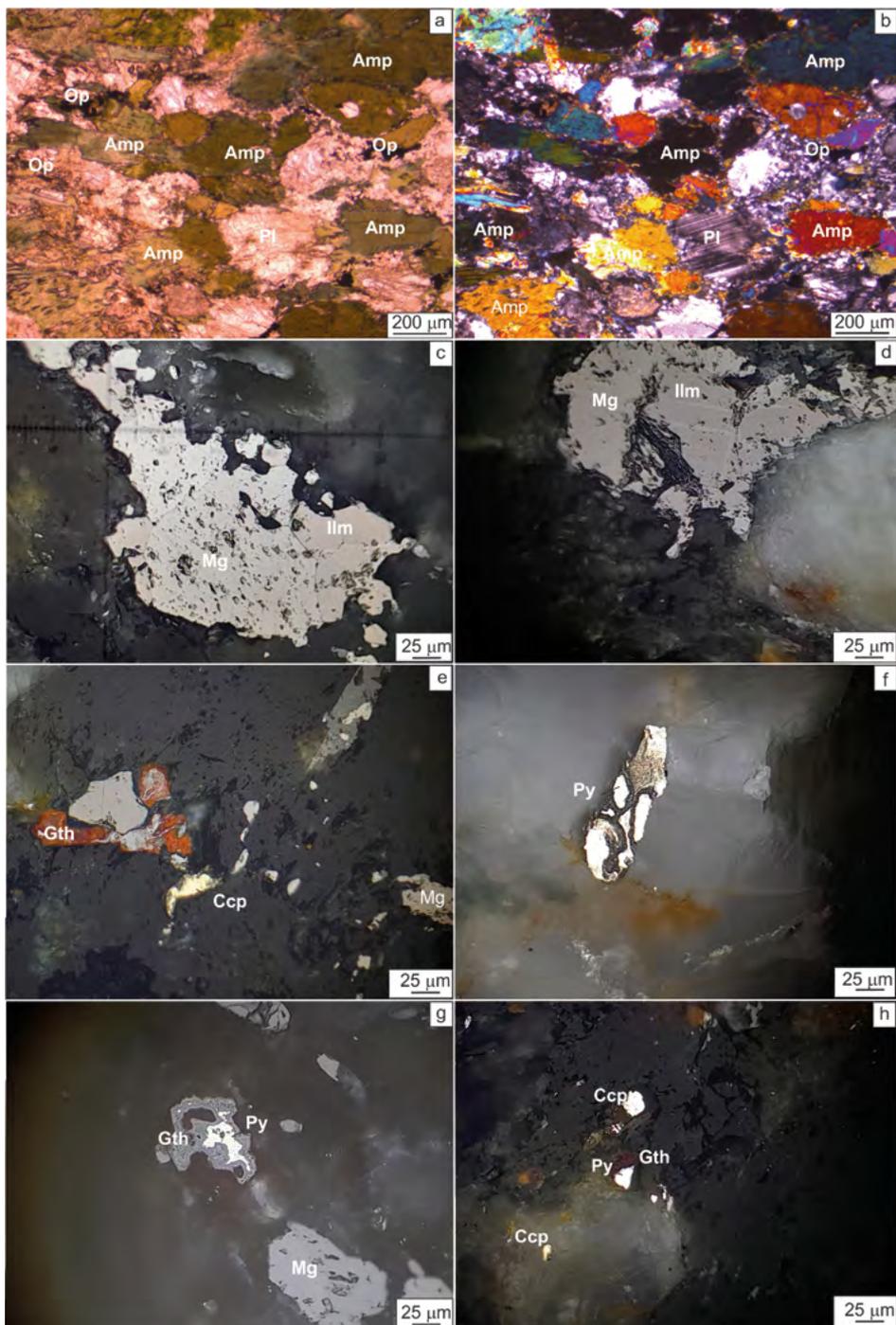
Pieza N° 6455 (chancador)	Fe	O	Al	Si	Mg	Ca	Cl	Ti	Mn	Na	K	S	P	V
punto 11-1	62,57	34,38	0,86	1,13	0,2	0,27	0,09	0,25			0,08			0,17
punto 11-2	0,38	61,67	0,78	2,82	0,43	32,82	0,24			0,33	0,24	0,28		
punto 3	52,91	35,78	0,96	0,47	0,31	0,08	0,07	8,68	0,74					
punto 4	13,06	50,26	0,43	21,37	12,44	1,37	0,12	0,15	0,46	0,18			0,16	

Tabla 7. Artefacto lítico. Valores de los puntos analizados con SEM-EDS del sedimento obtenido de la parte activa del machacador.

### Balance de resultados

Los análisis petrográficos, geoquímicos y analíticos realizados de las muestras de la mina Vil Achay confirman que las rocas locales aflorantes contienen minerales de interés minero, como los sulfuros y óxidos de cobre, titanio y hierro (calcopirita, malaquita, azurita, magnetita, titanomagnetita, ilmenita, pirita, hematita y goethita), asociados a vetas de cuarzo y, en general, en contacto con la anfibolita. En este sector, además, se reconocieron minerales de cromo, cobre y zinc (cromita, pirita y esfalerita). En particular, en las muestras analizadas no se encontró casiterita ( $\text{SnO}_2$ ), previamente reportada por la bibliografía especializada, probablemente debido a un problema de muestreo si se considera que en esta mina se explotó Sn hasta la década de 1980 y que su mayor concentración estaba en la faja de alteración (Ávila 1982; Idoyaga 1995; Tezón 1957).

En el caso de las muestras de roca provenientes de la mina Fiambalá, se confirma la presencia de minerales de estaño (casiterita), cobre (malaquita, azurita, crisocola, covelina, calcosina y calcopirita), hierro (pirita, magnetita y otros óxidos) y plomo y zinc (galena, esfalerita) asociados a cuarzo. En particular, la casiterita se presenta en cristales euhedrales de hasta 8 mm de diá-



**Figura 12.** Machacador de ES-1. Microfotografías: a) Anfibolita (Amp) castaño verdoso junto con plagioclasas y opacos sin analizador (10X); b) Anfíboles alterados a epidota y plagioclasas alteradas (feldespatización secundaria) y cuarzo con analizador (10X). Microfotografías calcográficas: c) Magnetita en contacto con ilmenita euhedral castaño claro; d) Magnetita-Titanomagnetita con maclas de ilmenita; e) Magnetita (Mg) reemplazada por goethita (Gth) en contacto con calcopirita (Ccp); f) Pirita (Py); g) pirita (Py) reemplazada por goethita (Gth) y magnetita (Mg) gris castaño sin analizador; h) Cristales de calcopirita (Ccp), pirita (Py) reemplazada por goethita (Gth) con reflexiones internas rojas.

metro. Todos estos minerales, al igual que las vetas de cuarzo, presentan alta dureza, con excepción de la calcopirita.

Por su parte, el machacador analizado, proveniente del sitio El Salto-1, corresponde a una roca metamórfica compuesta principalmente por anfíboles, feldspatos y cuarzo, y con minerales accesorios como ilmenita, titanomagnetita, magnetita, hematita, pirita, calcopirita y goethita. La titanomagnetita, la pirita y la hematita fueron reconocidas como residuos de la parte activa del machacador. Estos minerales también se encuentran en algunas de las rocas analizadas provenientes de la quebrada El Salto, por lo que podrían corresponder al residuo de las rocas molidas con el machacador. Un rasgo importante de este tipo de roca es su alta dureza, característica primordial para su potencial utilización como herramienta para moler las rocas portadoras de los minerales y de interés metalúrgico para las sociedades del pasado. Cabe destacar que en el área de la mina Vil Achay, el estaño se encuentra mayormente concentrado en la zona de alteración, lo que explica que el material a machacar con esta pieza resulta menos duro.

## **Discusión**

Delinear la compleja cadena operativa de la minería prehispánica metalífera demanda articular distintos tipos de evidencias para caracterizar la mineralización de estos espacios y los medios culturales empleados para trabajar las menas de las minas explotadas en las quebradas de Los Árboles y El Salto (Figura 1). Aquí nos enfocamos en delinear las etapas de extracción y de mineralurgia, para lo cual realizamos una serie de estudios a distintos niveles de análisis, tanto macroscópicos como microscópicos.

Planteamos como hipótesis que esas rocas fueron trituradas (chancadas) en morteros de oquedades con diámetros (hasta 25 cm) y profundidades (hasta 40 cm), cuyo tamaño puede estar relacionado con la necesidad de “contener” los minerales metalíferos de mayor ley para luego recuperarlos manualmente. Consideramos que puede haber una relación entre la profundidad de esas oquedades y la fuerza necesaria para romper las rocas y extraer los minerales, para lo cual se utilizaron chancadores o machacadores muy pesados y de rocas con una dureza mayor a las que tenían que ser procesadas. El recorrido analítico tuvo como objetivo corroborar esta hipótesis mediante la realización de estudios geoquímicos de los residuos obtenidos en la parte activa del machador. Sin embargo, los resultados no son definitivos por los problemas de equifinalidad característicos de nuestra disciplina. Por lo tanto, consideramos que es en estos casos donde la contextualización de distinto tipo de evidencia es fundamental para continuar avanzando.

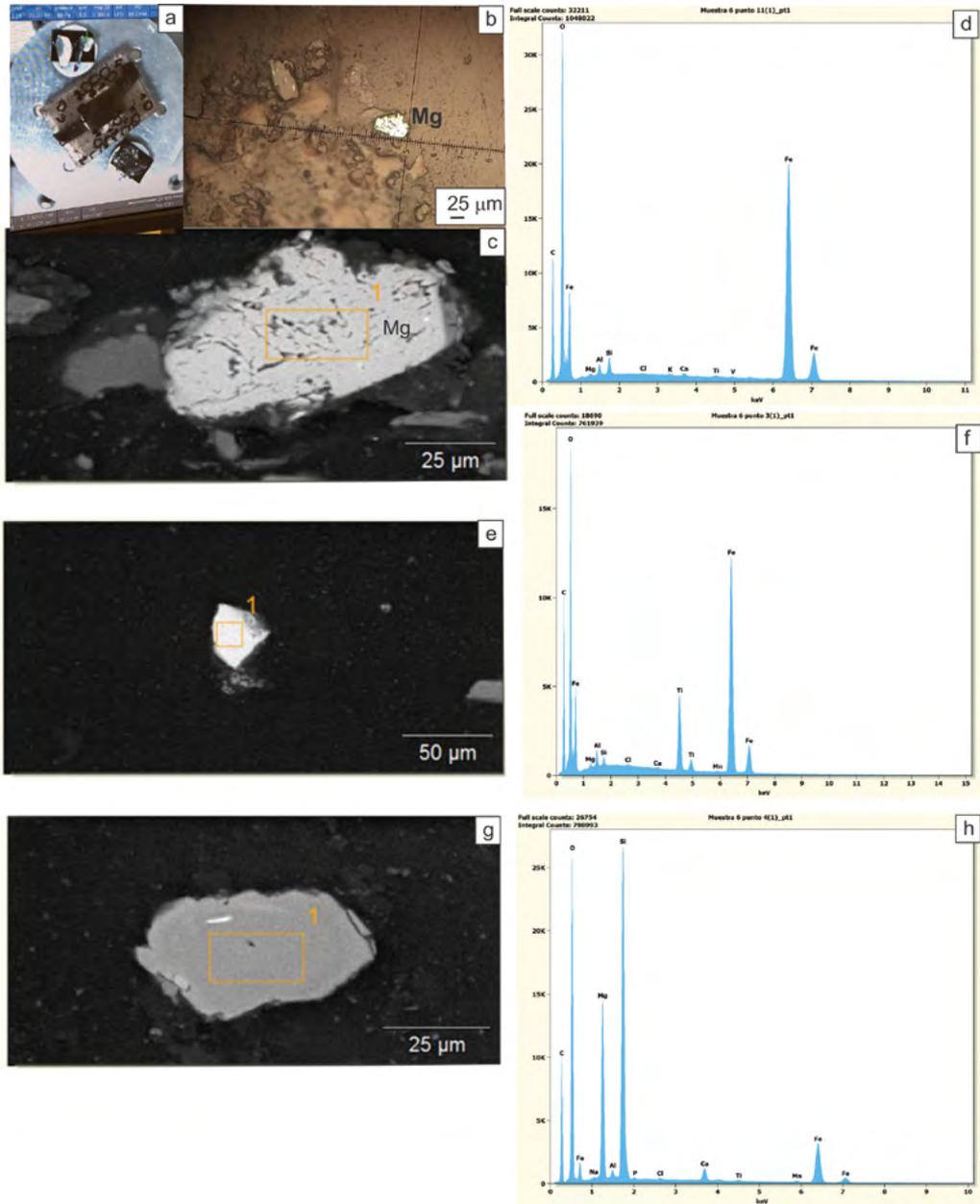


Figura 13. a) Muestras de los residuos del machacador analizados por SEM-EDS. Microfotografías: b) Cristal de un residuo del chancador punto 11, blanco, anisótropo; c) Imagen SEM del punto 11; d) Histograma de elementos en el espectro del punto 11; e) Imagen SEM del punto 3; f) Histograma de elementos en el espectro del punto 3; g) Imagen SEM del punto 4; h) Histograma de elementos en el espectro del punto 4.

La roca del machacador es una anfibolita, roca local en el área de la mina Vil Achay, pero posiblemente recuperada del cauce fluvial por las caras erosionadas. Los residuos identificados en el machacador corresponden a titanomagnetita, pirita y hematita, minerales que se encuentran también en otras rocas analizadas del área. Debido a la alta dureza de la anfibolita, su utilización como machacador de rocas portadoras de minerales de interés es una hipótesis parsimoniosa. Su dureza es mayor que la mayoría de los minerales de cobre y hierro presentes en las rocas que aparecen en la zona (calcopirita 3,5-4; pirita 6-6,5; magnetita 5,5-6,5; ilmenita 5,5-6; hematita 5,5-6,5; titanomagnetita 5,5-6,5), salvo los minerales de estaño, como la casiterita, cuya dureza es similar (6-7). Esta característica podría sustentar la hipótesis de que los morteros profundos (hasta 40 cm) fueron utilizados para una primera separación de algunos minerales de interés contenidos en las cavidades para luego ser trasladados a otros lugares para su separación final. Aunque los datos geoquímicos no son concluyentes, optamos por sostener la hipótesis articulando distintos tipos de evidencia (mineralización del área, los morteros de bocas profundas y el peso del artefacto), además de tener en agenda la ampliación de los estudios analíticos.

### **Etapas de extracción: las rocas y su explotación**

Las rocas de la sierra de Fiambalá contienen tanto minerales de Cu como de Sn, lo cual permite pensar que los antiguos mineros conocían y explotaban esas vetas. Al analizar las muestras de rocas de las quebradas de Los Árboles y El Salto surgen algunas preguntas referidas a su forma de extracción y laboreo y a las herramientas utilizadas, es decir, cómo explotaban estas menas las poblaciones prehispánicas.

La mineralización de estaño está concentrada principalmente en el sector del contacto entre la anfibolita y el granito El Salto (Figura 1), donde se encontraron dos tipos de afloramientos: unos de alta dureza (granito o anfibolita) y otro de menor dureza en la zona de alteración (contacto entre ambas rocas), que es donde se encuentra la mayor concentración de Sn (Idoyaga 1995), fácilmente identificable por los mineros del pasado. Por lo expuesto, probablemente la primera etapa extractiva esté relacionada con la utilización de rocas duras como la anfibolita, los granitos y los gneises, con el fin de ser usadas para golpear y romper las rocas de interés de los afloramientos de menor dureza y obtener fragmentos de menor tamaño, portables, para trasladarlos a otros lugares, como el Salto-1, para ser machacados en los morteros y así separar los minerales de interés económico de la ganga (cuarzo).

## **Etapas de mineralurgia: el chancado de las menas y los espacios marcados con arte**

La presencia de arte rupestre asociado a la minería ha sido, en diversos contextos, relacionada con la defensa y la regulación del acceso a la extracción de los minerales disponibles en el área (*sensu* Cabello 2017). En el caso de El Salto-1, si bien el repertorio es el esperado para los sitios locales contemporáneos, aquí se registran, como novedad, imágenes quiméricas que evocan la transformación de humanos en felinos. Representaciones similares se han documentado en sitios ligados a distintos tipos de actividades productivas, tales como canteras líticas (Vitry 2023) o áreas con presencia de minerales (Cabello 2017; López *et al.* 2021; San Francisco y Ballester 2010).

El equipamiento de herramientas relacionadas con las distintas etapas de la minería (martillos, percutores, cinceles, machacadores) rara vez se encuentra en el registro arqueológico por causas diversas, como la reclamación de minas (Angiorama y Becerra 2014) y/o la conservación diferencial de restos orgánicos utilizados para enmangar los artefactos. El norte de Chile ofrece condiciones únicas de preservación que han permitido abordar la variabilidad de la ergología minera, como martillos con mangos de madera y ligaduras de cuero, palas líticas y de madera, cestería y capachos de cuero (Figuroa *et al.* 2013; Salinas y Salazar 2008; Salinas *et al.* 2010). La mayoría de los trabajos caracteriza cualitativamente a los artefactos evaluando las materias primas empleadas e indicando que se trata de piezas de rebaje escaso o burdo, aspecto tosco, presencia de corteza en el caso de las cuñas y selección de bolones gruesos y pesados para los martillos (Blanco *et al.* 2017; Castillo 2021; Figuroa *et al.* 2013; Núñez *et al.* 2003; Salinas y Salazar 2008; Salinas *et al.* 2010, 2012). Los trabajos cuantitativos realizados sobre los materiales líticos recuperados en la mina de turquesa del sitio Cueva Inca Viejo, en asociación con el campamento minero Abra de Minas (Coloca y López 2023; López *et al.* 2021), en la puna salteña argentina, y en minas y recintos pircados de La Serena, Chile (Castillo 2021), constituyen una excepción.

La cueva de Inca Viejo presenta pinturas rupestres con diversos motivos, algunos con cronologías preincaicas, en particular antropomorfos felinizados y con los brazos alzados, mientras que otros remiten a tiempos incaicos (López *et al.* 2021). Allí se recuperaron diversos artefactos líticos relacionados con la explotación minera, martillos, percutores y yunques, siendo los primeros los más abundantes (López *et al.* 2017). Los materiales de La Serena provienen de minas y sitios localizados en los faldeos de los cerros Los Puntiudos y Los Infieles. Actualmente están depositados en el museo local, sin contar con registro de asociación con arte rupestre (Castillo 2021). En estos sitios se

reporta mayormente la presencia de martillos y no de machacadores, como el recuperado en El Salto-1, lo cual puede estar relacionado con la función que estos artefactos tenían para trabajar rocas con durezas diferenciales.

En la Tabla 8 se presenta la estadística descriptiva del largo, el ancho y el espesor de los martillos de los casos considerados. Sus medidas corroboran que las dimensiones de estos artefactos coinciden con las apreciaciones cualitativas realizadas en otros trabajos. En la Figura 14 se presenta la relación entre el largo y el ancho de los artefactos, que permite determinar que las dimensiones del machacador de El Salto-1 se posiciona entre los de mayor tamaño, junto con otro de Cueva Inca Viejo y del Museo de La Serena. De los 22 martillos de los sitios de la puna salteña, 17 fueron manufacturados con materias primas andesíticas, cuatro con metamórficas y uno granítica, aunque se aclara que las clasificaciones se realizaron a nivel macroscópico (G. López, com. pers. 4 de enero 2024). Por su parte, los martillos depositados en La Serena fueron manufacturados en materia prima granodiorítica, mientras que el machacador del sitio El Salto-1 lo fue en roca metamórfica (anfíbolita); todas son de alta dureza.

Artefacto	Sitio	N	Dimensión (cm)	Media	Desv. Stand	Mínimo	Máximo	Mediana
Martillo	CIV	16	Largo	17,14	8,05	8,80	35,00	14,30
			Ancho	10,41	3,16	5,80	17,90	10,00
			Espesor	6,51	2,33	4,70	12,70	5,60
	ADM	6	Largo	17,28	5,73	10,70	25,30	16,85
			Ancho	10,57	2,37	8,50	14,70	9,70
			Espesor	6,92	1,51	4,80	8,90	7,15
	MLS	4*	Largo	27,08	4,65	24,20	34,00	25,05
			Ancho	16,08	3,34	12,50	20,00	15,90
			Espesor			7,00	15,20	
Chancador	ES-1	1	Largo				27,00	
			Ancho				9,00	
			Espesor				7,00	

Tabla 8. Estadística descriptiva de martillos recuperados en los sitios Cueva Inca Viejo (CIV) y Abra de Minas (ADM) (Salta, Argentina) y depositados en el Museo de La Serena (Chile) y su relación con el machacador recuperado en el sitio El Salto-1 (ES-1).

Por su parte, debido a la profundidad de las oquedades de los morteros y del peso de los machacadores es poco probable que se relacionen con el procesamiento de granos o vegetales. Giovannetti (2009) recopila 48 morteros fijos que provienen de sitios de Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero y Jujuy; de los cuales consideramos 46, ya que los casos de Jujuy no cuentan con medidas confiables (M. Giovannetti, com. pers. 4 de enero 2024). Los morteros considerados tienen 443 bocas u oquedades, de las que se consignaron diámetros, máximo y mínimo, y profundidades. A estos casos agregamos nueve morteros fijos del valle de Punilla (Córdoba), que contienen 14 bocas. De las 457 oquedades solo ocho superan los 20 cm de profundidad, mientras que la mayoría, 98 %, registran profundidades menores a 20 cm. En el caso del sitio El Salto-1, de los cuatro morteros y 14 oquedades registradas y medidas, solo seis presentan profundidades menores a 20 cm, consideradas incipientes.

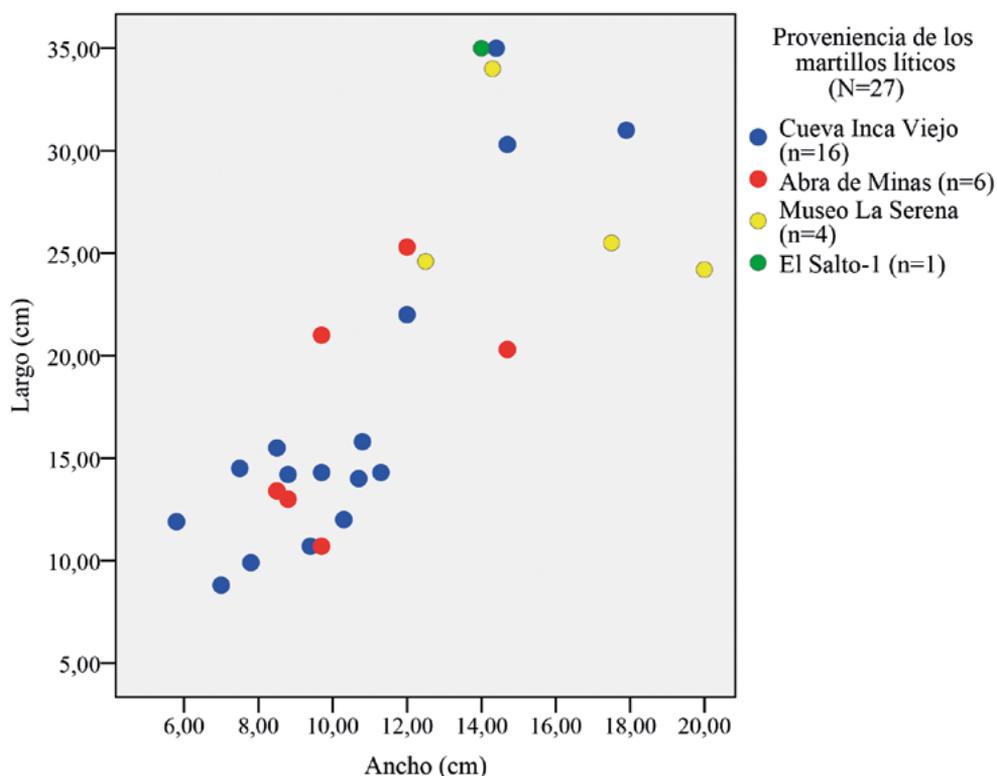


Figura 14. Relación del largo (cm) y ancho (cm) de martillos de sitios con actividad minera en relación con el machacador analizado.

Por lo expuesto, planteamos que en los morteros del sitio El Salto-1 fue realizado el chancado de las rocas con uso de herramientas líticas, como el machacador analizado, con el objeto de separar los minerales de interés que forman parte de las rocas analizadas de la sierra de Fiambalá. La ausencia

en las adyacencias del sitio de otras evidencias de actividades metalúrgicas (hornos, escorias, crisoles) nos hace pensar que los minerales eran separados en una primera etapa, para ser trasladados a otras zonas donde se finalizaba su separación. Cabe destacar que la topografía facilita un rápido acceso desde la quebrada de Los Árboles hacia el valle de Fiambalá, como también desde la quebrada El Salto hacia los valles de oriente, a través de la cuesta de Zapata (Figura 1). Al respecto, 5 km aguas abajo del río El Salto se encuentra el ingreso a la quebrada del Paraguay, en dirección este-oeste, paso natural que conecta con la vertiente occidental de la serranía de Fiambalá, en específico con el barreal de la Troya, lugar de emplazamiento de la aldea LT-V50, con dataciones entre los siglos VII-VIII (Ratto y Feely 2020), donde recientemente hemos registrado un horno metalúrgico y escorias, junto con otros destinados a la cocción cerámica, que está en proceso de estudio. Hacia el oriente también conecta con otras instalaciones, como el sitio Río del Inca-Lucke (Ratto *et al.* 2023), localizado en la margen derecha del río homónimo o de Zapata (Figura 1). Un reciente fechado radiométrico ubica un recinto intervenido en el siglo XII de la era (UGAMS 66020,  $900 \pm 25$  años a.p., carbón,  $\delta^{13}C -24.11\%$ ), lo que lo hace constituirse como un lugar que articula los valles del oriente (Belén, Andalgalá y Santa María) con nuestra región de estudio.

Asimismo, comenzamos a desarrollar un diseño experimental, ya que no solo es importante conocer la composición de los metales obtenidos en la reducción, sino también la manera en que estos se presentan en la mata resultante de la fundición. Las primeras pruebas experimentales de la fundición de la roca CC10 (Tablas 3 y 5) mostraron un aspecto interesante en la reducción de mineral de casiterita para la producción de estaño. A diferencia de lo que sucede con otros metales (plomo, plata, cobre), el estaño obtenido se encontraba fuertemente adherido a las impurezas propias del proceso de reducción (carbones y cenizas, piedras y elementos desprendidos de la pared del horno, escoria). Ello tendría que ver con la maleabilidad y la adherencia del estaño en estado líquido, en temperaturas relativamente bajas ( $232^\circ$ ). Por esta razón, las impurezas macroscópicas necesariamente tienen que ser removidas en frío mediante acción mecánica, como paso previo a una depuración o refinación térmica. El inicio de estos estudios experimentales nos abre un horizonte que convalida nuestra hipótesis de chancado de las rocas para separar las menas de valor económico, ya que, en principio, sería necesaria la limpieza mecánica como paso previo a toda refinación por copelación.

La articulación de estas líneas de trabajo nos permite continuar sosteniendo que, en estos morteros de oquedades profundas asociados espacialmente a *uturuncos* grabados, se molieron rocas para separar los minerales de valor

económico. La bibliografía especializada establece que los *marayes* se usaban para moler las rocas, pero su registro corresponde al siglo XV, además de haber sido utilizados para procesar sobre todo minerales no estanníferos, como cobre y galena (Angiorama y Becerra 2021; Cruz *et al.* 2021; Florsch *et al.* 2016). En este contexto, consideramos parsimonioso mantener la hipótesis hasta la realización de nuevos estudios arqueométricos, tanto de la parte activa del machacador como de la sección basal de las oquedades de los morteros. Los estudios experimentales y analíticos aportarán a caracterizar con mayor precisión las primeras etapas de la compleja cadena operativa de los metales.

No queremos cerrar esta discusión sin hacer mención del tiempo. La problemática presentada corresponde a tiempos de las sociedades productivas de fines del primer milenio. Sin embargo, la riqueza geológica de la sierra de Fiambalá, en especial por la combinación de Cu y Sn, da cuenta de explotaciones que nos permiten afirmar la existencia de minas prehispánicas, que seguramente han sido explotadas en distintos momentos de la historia regional, además de ser protagonistas del proceso de aprendizaje de aleaciones para obtención de bronces.

## **Conclusiones**

En este trabajo continuamos marcando la importancia de articular diferentes líneas de investigación para el estudio integral de las prácticas de la minería, tanto metalífera como no metalífera (Orgaz y Ratto 2020; Ratto *et al.* 2021, 2023). Nos abocamos a definir las etapas de extracción y procesamiento de menas en el oeste tinogasteño trabajando a distintas escalas de análisis espaciales para contextualizar los recursos minerales con las particularidades del sitio El Salto-1 con arte rupestre y morteros. Las escalas, macro y micro, se materializaron en los distintos análisis realizados, tanto en las rocas muestreadas en la sierra de Fiambalá como en el machacador asociado al mortero múltiple N° 2 de El Salto-1 (Tabla 2).

La articulación de las distintas líneas de evidencia, geológica y cultural, permite aprehender el complejo entramado de las etapas iniciales de la minería prehispánica para una región con muy pocos antecedentes. Esta actividad seguramente estuvo relacionada con rituales propiciatorios, tal como indica la presencia de *uturuncos* grabados que, además, nos permitieron contextualizar temporalmente el sitio, puesto que remiten a los tiempos de las sociedades de fines del primer milenio de la era (Basile y Ratto 2024). Sin embargo, esto no inhabilita que las minas fueran explotadas a lo largo del tiempo, especialmente

por la riqueza estannífera de la sierra de Fiambalá y por los espacios marcados en forma diferente por parte de las sociedades preincaica e incaica (Ratto *et al.* 2023).

La equifinalidad de toda la investigación se irá reduciendo a medida que aumenten los estudios a distintas escalas. Por lo pronto, sabemos que: (a) el sitio El Salto-1 contiene morteros múltiples y simples con oquedades muy profundas (hasta 40 cm), superiores a las que se relacionan con la molienda de granos; (b) el machacador presenta dimensiones y pesos similares a aquellos relacionados con la etapa mineralurgia, a pesar de que los estudios sobre residuos de su parte activa no son concluyentes; (c) la localización del sitio, en principio relacionado con las sociedades de fines del primer milenio por las imágenes grabadas, es estratégica para conectar con minas de estaño y de otros minerales localizadas tanto en la vertiente oriental como occidental de la sierra de Fiambalá, así como también con otros sitios residenciales; (d) en las quebradas de Los Árboles y El Salto hemos registrado explotaciones mineras cuya morfología se ajusta con la minería prehispánica, y (e) los primeros estudios arqueométricos permitieron caracterizar el perfil geológico-minero de la región y los minerales que destacan, en particular estaño, cobre, zinc y hierro. Esta composición nos motiva a ampliar las prospecciones y los muestreos, a avanzar en la experimentación y a intensificar los análisis arqueométricos. Por lo tanto, esta historia continuará.

*Agradecimientos.* A los pobladores Pedro y Susana Saleme, Claudio Cheong, Gerónimo Cheong y César Carrizo, Edgar Nieva y Carlos Buslaiman por sus asistencias y ayuda durante los relevamientos. A Marco Giovannetti, Gabriel López, José Blanco y Catherine Westfall por aportarnos información y resolver consultas. A Luis Coll y Mariano Cornejo por sus aportes para el armado de la Figura 2a y 2c. Fuentes de financiamiento: PICT 2019-0618 y PICT 2019-01723 (ANPCyT), PIP 0915 (CONICET), UBACYT 20020220300065BA y 20020220100186BA.

## **Referencias citadas**

Absi, P. 2009. *Los Ministros del Diablo: El trabajo y sus representaciones en las minas de Potosí*. Plural Editores, La Paz.

Angiorama, C. 2001. De metales, minerales y yacimientos: Contribución al estudio de la metalurgia prehispánica en el extremo noroccidental de Argentina. *Estudios Atacameños* 21: 63-87.

- Angiorama, C. y M. F. Becerra. 2014. "Como en ella jamás ha habido minas...": Minería y metalurgia en la puna de Jujuy durante momentos prehispánicos tardíos. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* 34(2): 313-332.
- Angiorama, C. y M. F. Becerra. 2021. Minería y metalurgia prehispánica en el Noroeste Argentino: una puesta al día de las evidencias arqueológicas recuperadas en la actual provincia de Jujuy. *Estudios Atacameños* 67: e4471.
- Ávila, J.C. 1982. Estructura y mineralización del yacimiento de estaño Vil Achay, provincia de Catamarca, Argentina. *5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas* 2: 633-651, Buenos Aires.
- Basile, M. y N. Ratto. 2024. Relaciones entre imágenes y minerales: El caso de los grabados de El Salto-I (Dpto. Tinogasta, Catamarca). *Revista Andes*, en prensa.
- Blanco J. F., I. Correa, C. Flores y G. Pimentel. 2017. La extracción prehispánica de recursos minerales en el internodo Quillagua-costa, desierto de Atacama. *Estudios Atacameños* 56: 77-102.
- Bouysse-Cassagne, T. (2005). Las minas del centro sur andino, los cultos prehispánicos y los cultos cristianos. *Bulletin IFEA* 34(3): 443-462.
- Cabello, G. 2017. *Marcando yacimientos: Pinturas rupestres y minería en la región de Atacama, Chile (600-1300 d.C.)*. Tesis inédita para acceder al título de doctora en arqueología. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Castillo, G. 2021. *Laboreo minero Inca en Cuquimpu: Cuñas, martillos y combos en la colección Los Puntudos-Los Infieles*. Proyecto Bajo la Lupa, Subdirección de Investigación, Servicio Nacional del Patrimonio Cultural.
- Catalano, L.R. 1930. Yacimientos de estaño (casiterita) de la Sierra de Fiambalá, Catamarca. Estudio geológico-económico. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Buenos Aires, Informe N° 81. Ms. Consulta Repositorio Sege-  
mar en [https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RISEGEMAR\\_b0b057f444545b568ed16a650ea0d252](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RISEGEMAR_b0b057f444545b568ed16a650ea0d252)

- Coloca, F. y G. López. 2023. Minería prehispánica en el noroeste argentino: turquesas, martillos y yunques en la cuenca de ratones, puna de Salta. *Comechingonia. Revista de Arqueología* 27(2):161-181.
- Cornejo, M. 2023 (ed.). *Uturuncos: Un itinerario desde el cerro de los Felinos*. Mundo Gráfico Salta Editorial, Salta.
- Cruz, P. y J-J. Vacher. 2008. *Mina y metalurgia en los Andes del sur desde la época prehispánica hasta el siglo XVII*. Instituto Francés de Estudios Andinos, Sucre.
- Cruz, P., F. Téreygeol, N. Küng, S. Fernández y C. Rivera Casanovas. 2017. Las minas de Oruro en el cruce de la historia y la arqueología. *Mundo de Antes* 11: 195-223.
- Cruz, P., C. Angjorama, F. Becerra, S. Braticevic, y Comunidad Aborigen Atacama de Cobres. 2021. La mina de Cobres (puna de Salta, Argentina) y la producción de metales en baja escala durante los periodos prehispánico y colonial. *Nuevo Mundo Mundos Nuevos* (en línea). Disponible en: URL: <http://journals.openedition.org/nuevomundo/83406>.
- Figuerola, V., D. Salazar, H. Salinas, P. Núñez-Regueiro y G. Manríquez. 2013. Pre-hispanic Mining Ergology of Northern Chile: An Archaeological Perspective. *Chungara, Revista Chilena de Antropología* 45(1): 61-81.
- Florsch, N., F. Téreygeol y P. Cruz. 2016. The Ore-dressing Grindstone Called a 'Quimbalete': A Mechanics-based Approach. *Archaeometry* 58(6): 881-898.
- Fogliata, A. y J. Ávila. 2004. El yacimiento de estaño Vil Achay, Catamarca. *Revista Asociación Geológica Argentina* 59: 83-90.
- Giovannetti, M. 2009. Los morteros múltiples en el noroeste argentino: Un enfoque interregional. En: *Problemáticas de la arqueología contemporáneas*, compilado por A. Austral y M. Tamagnini, Tomo III, pp. 773-782. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba.
- Giovannetti, M. 2017. Morteros múltiples, oquedades rituales y fiestas inkaicas: La molienda a gran escala de El Shincal de Quimivil. En: *Actualizaciones en el estudio de piedras tacitas: Nuevas perspectivas*, pp. 117-149. Serie Monografías de

la Sociedad Chilena de Arqueología, Número 6. Sociedad Chilena de Arqueología, Santiago.

González, L. 2006. Metales y metalurgistas del noroeste argentino prehispánico. En: *El modo de hacer las cosas*, editado por C. Pérez de Micou, pp. 102-169. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, 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., S. M. De Bari, S. Page, R. F. N. Page, L. M. Villar, R. G. Coleman y M. Viruel de Ramírez. 1991. The Deep Crust of an Early Paleozoic Arc: The Sierra Fiambalá, Northwestern Argentina. En: *Andean Magmatism and its Tectonic Setting. Geological Society of America, Special Paper*, editado por R. S. Harmon y C.W. Rapela, 265: 189-200.

Idoyaga, M. G. 1995. *Caracterización tectónica y metalogénica de los depósitos estanníferos argentinos*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. [http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n2749\\_Idoyaga](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n2749_Idoyaga)

Lannefors, N. A. 1930. Las minas de estaño de Catamarca. *Publicación 82*. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Buenos Aires.

Lechtman, H. 1976. A Metallurgical Survey in the Peruvian Andes. *Journal of Field Archaeology* 3(1): 1-42.

López, G., S. T. Seguí y P. Solá. 2021. Arte rupestre prehispánico en un sitio mine-ro, ritual y caravanero de la puna de Salta: El caso de Cueva Inca Viejo en el contexto macroregional de los Andes centro-sur. *Comechingonia* 25(3): 129-164.

Núñez, L., C. Agüero, B. Cases y P. de Souza. 2003. El campamento minero Chu- quicamata-2 y la explotación cuprífera prehispánica en el desierto de Atacama. *Estudios Atacameños* 25: 7-34.

Orgaz, M. y N. Ratto. 2020. Minería de las arcillas en tiempos prehispánicos (De- partamento Tinogasta, Catamarca, Argentina). *Estudios Atacameños* 66: 35-48.

- Page, S., R. Page y M. Viruel de Ramírez. 1992. El basamento de la sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. *Revista Asociación Geológica Argentina* 47(4): 373-388.
- Ratto, N. y A. Feely. 2020. Un barreal con 2.000 años de historia: La Troya, departamento Tinogasta, Catamarca. *Revista del Museo de Antropología* 13(2): 69-82.
- Ratto, N., M. Pichipil, J. Amado, J. Cechetto Baum y H. De Rosa. 2021. Initial Study on the Metallurgical Technology from Western Tinogasta, Catamarca, Argentina (I-XV Centuries CE). *Historical Metallurgy* 53(2): 62-75.
- Ratto, N., M. Orgaz, L. Coll y M. Basile. 2023. El estaño en el tiempo: Diferentes modos de uso y apropiación de los espacios mineros en el siglo VII al XVI (Departamento Tinogasta, Catamarca, Argentina). *Boletín de la Sociedad Chilena de Arqueología* 54: 255-280.
- Salazar, D., C. Jiménez y P. Corrales. 2001. Mining and Metallurgy: From the Cosmos to Earth, from the Earth to the Inka. En: *In the Footsteps of the Inka in Chile*, pp. 61-71. Museo Chileno de Arte Precolombino, Santiago.
- Salazar, D. 2003-2004. Arqueología de la Minería: propuesta de un marco teórico. *Revista Chilena de Antropología* 17:125-150.
- Salazar, D. y H. Salinas. 2008. Tradición y transformaciones en la organización de los sistemas de producción mineros en el norte de Chile prehispánico: San José del Abra, siglos I al XVI d.C. En: *Minas y metalurgia en los Andes centrales y del sur: Desde tiempos prehispánicos hasta el siglo XVII*, editado por P. Cruz y J. Vacher, pp. 163-200. Institut de Recherche pour le Développement, Instituto Francés de Estudios Andinos, Sucre.
- Salinas, H. y D. Salazar. 2008. Cadenas operativas y sistemas de explotación minera prehispánica. En: *Puentes hacia el pasado: Reflexiones teóricas en arqueología*, editado por D. Jackson, D. Salazar y A. Troncoso, pp. 73-91, Monografías de la Sociedad Chilena de Arqueología 1. Sociedad Chilena de Arqueología, Santiago.

- Salinas, H., D. Salazar, D. Órdenes y J. Parra. 2010. Organización tecnológica y sistemas de explotación minera prehispánica. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología*, Tomo 2, pp. 1099-1109.
- Salinas, H., D. Salazar, J. L. Guendon, V. Figueroa y G. Manríquez. 2012. Tecnología lítica minera del período Arcaico en la quebrada San Ramón, Taltal (II Región de Antofagasta). *Actas del XVIII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, Valparaíso, pp. 185-195.
- San Francisco, A. y B. Ballester. 2010. La economía y las representaciones: Ensayo sobre la producción minero-metalúrgica durante el periodo Medio en la región de Atacama (III Región). *Il Quattrocento* 4: 139-159.
- Tezón, R. V. 1957. Minería de la hoja I3c: Fiambalá, Provincia de Catamarca. Dirección Nacional de Geología y Minería. *Anales* V: 127. Buenos Aires.
- 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.
- Vitry, C. 2023. Montañas, jaguares y caravaneros: Paisajes rupestres del Calchaquí norte. En: *Uturuncos: Un itinerario desde el cerro de los Felinos*, editado por M. Cornejo, pp. 93-112. Mundo Gráfico Salta Editorial, Salta.