

MINERALES ASBESTIFORMES EN VERMICULITAS DEL SECTOR CENTRO-OCCIDENTAL DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Leticia LESCANO^{1,2}, Silvina MARFIL^{1,2}, Jorge SFRAGULLA^{3,4}, Aldo BONALUMI^{3,4} y Pedro MAIZA¹

¹ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. E-mail: leticia.lescano@uns.edu.ar

² Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

³ Secretaría de Minería, Provincia de Córdoba

⁴ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba

RESUMEN

Se estudiaron dos minas de vermiculita de la provincia de Córdoba: Mauro y La Isla. La primera (32°16'39,6" S y 64°52'15" O), se localiza en el flanco oriental del cerro Negro en la sierra de Comechingones, 60 km al oeste de la localidad de La Cruz, en el valle de Calamuchita. La Isla (31°49'30,6" S y 64°24'53" O), está ubicada en el flanco este de la Sierra Chica, a 2,5 km al sur de José de la Quintana, en el departamento Santa María. El sector oeste y central del cerro Negro está constituido por serpentinitas con diversos grados de alteración, cortadas por venillas ricas en minerales asbestiformes. En los sectores en que la serpentinita ha sido intruída por pegmatitas, se desarrollan halos de vermiculita, asociados a minerales fibrosos, objeto del laboreo minero. El sector este del cuerpo intrusivo está formado por una anfíbolita de grano grueso, fracturada y alterada hidrotermalmente, con tremolita asociada. Las labores realizadas en La Isla, han permitido observar cuerpos ultramáficos talquizados, asociados a anfíbolitas, intruidos por diques granitoides y pegmatitas. En el contacto entre los intrusivos y el cuerpo ultramáfico se han generado zonas enriquecidas en vermiculita y anfíboles y vetillas con minerales fibrosos asbestiformes. Para la caracterización de los minerales asbestiformes presentes se realizaron estudios con microscopio óptico, electrónico de barrido y difracción de rayos X. Se identificó antofilita, anfíbol de hábito acicular, astilloso, asbestiforme, distribuido en forma de vetillas asociadas a la vermiculita y tremolita-ferroactinolita en la roca mineralizada. La presencia de estos minerales en las minas estudiadas se considera un alerta para intensificar los controles ambientales si se activara su explotación.

Palabras clave: *Tremolita-ferroactinolita, serpentinita, antofilita*

ABSTRACT

Asbestiform minerals in vermiculites from the central-west area of the Córdoba province

Two vermiculite mines of the province of Córdoba were studied: Mauro and La Isla. Mauro (32°16'39,6" S y 64°52'15" W) is located in the eastern flank of the cerro Negro in the sierra de Comechingones, 60 km west of La Cruz in the Calamuchita valley, and La Isla (31°49'30,6" S y 64°24'53" W), located in the eastern flank of the Sierra Chica, 2.5 km south of José de la Quintana in the department of Santa María. The western and central areas of the cerro Negro are constituted by serpentinites with several alteration degrees, cut by veins rich in asbestiform minerals. Where serpentinite is intruded by pegmatites, vermiculite halos are developed associated with fibrous minerals, which are object of mining work. The eastern zone of the intrusive body is constituted by coarse-grained, fractured and hydrothermally altered amphibolite with tremolite associated. The mining works developed in La Isla, allowed to observe ultramafic bodies altered to talc, associated to amphibolites, intruded by granitoid dikes and pegmatites. In the contact zone between the intrusives and the ultramafic body, zones rich in vermiculite and amphibole, and veins with asbestiform fibrous minerals have been generated. Studies with optical microscopy, scanning electron microscopy and X-ray diffraction were performed in order to characterize the present minerals. Anthophyllite, acicular, splintery and asbestiform amphiboles distributed in veins associated with vermiculite and tremolite-ferroactinolite in the mineralized rock were identified. The presence of these minerals in the studied mines is considered an alert to intensify the environmental controls if their exploitation were activated.

Keywords: *Tremolite-ferroactinolite, serpentinite, anthophyllite*

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Córdoba, la industria minera es una actividad económica de gran importancia. Los minerales y ro-

cas industriales constituyen la base de la producción, entre ellos pueden mencionarse: granitos, mármoles, arcillas, dolomías, serpentinitas, vermiculita, fluorita, arenas, gravas y canto rodado (Bonalu-

mi *et al.* 2014). Numerosos yacimientos de rocas ultramáficas y sus mineralizaciones asociadas han sido estudiados desde el punto de vista de su mineralogía, petrología y génesis (Di Fini 1957, D'Aloia y

Bianucci 1969, Villar 1975, Angelelli *et al.* 1980, Bonalumi y Gigena 1987, Escayola 1994, Mutti 1999, entre otros). En algunos de estos trabajos se han identificado minerales asbestiformes dentro de serpentinitas y vermiculitas por lo que es necesario realizar un estudio de detalle relacionado con el impacto ambiental que produciría su explotación.

Asbesto es un término comercial que involucra minerales del grupo de la serpentina (crisotilo) y anfíboles (crocidolita, variedad fibrosa de la riebeckita; amosita, denominación antigua para el término rico en Fe de la serie cummingtonita-grunerita; antofilita; actinolita y tremolita). Presentan hábito fibroso, son flexibles, resistentes a la tracción, a la degradación química y biológica, e ignífugos, aunque poco resistentes a la erosión en el ambiente exógeno. Debido a estas características, las fibras de estos minerales son dañinas para la salud ya que pueden penetrar en las vías respiratorias y acumularse en los pulmones, desarrollando cáncer o asbestosis (Zoltai 1981). Por esta razón, en Argentina, a partir del año 2000, según resoluciones del Ministerio de Salud (Rodríguez 2004), se prohibió la producción, importación, comercialización y uso de fibras de asbestos, variedades anfíboles, crisotilo y productos que los contengan. De acuerdo con estándares de regulación de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, *Occupational Safety and Health Administration*) en lo que respecta a los asbestos, se define una partícula asbestiforme cuando cumple las siguientes propiedades: 1. Tener una longitud de 5 µm o mayor y una proporción morfológica de al menos 3:1 (largo:ancho), por lo general superior a 100:1; 2. La falta de estrías longitudinales, sugiere que las partículas son "fragmentos de clivaje" (Zoltai 1981), los cuales están exentos de regulaciones sobre la base de una sentencia en 1992 de la OSHA. Además, la OSHA señala que: "Las fibras de asbestos se encuentran en paquetes que pueden ser fácilmente separados, muestran una estructura fina longitudinal y en los extremos presentar un haz de finas fibras" (Título 29, Código de Regulaciones Federa-

les, 1999 (29 CFR 1910.1001)). Otra pauta a tener en cuenta, es que las fibras de asbesto son flexibles, delgadas y parecen doblarse, pero no se rompen (Zoltai 1981).

La vermiculita es un término que define a una mica que puede expandirse al ser calentada entre 800 °C y 1100 °C. Estudios previos han demostrado que este mineral no genera efectos nocivos en la salud humana (Hunter y Thomson 1963). Sin embargo, con frecuencia, se menciona la presencia de impurezas asociadas (cuarzo, carbonatos, minerales asbestiformes, entre otros) que pueden ser liberadas al aire como material particulado durante su manipuleo, especialmente por las chimeneas durante el proceso de expansión, e inhaladas por personas que trabajen en las plantas industriales.

En la provincia de Córdoba existen varias minas de vermiculita, tanto en producción como inactivas, que poseen una mineralogía similar y presentan impurezas de cuarzo, óxidos de hierro y anfíboles. En este trabajo se estudiaron dos minas actualmente inactivas: Mauro y La Isla con el propósito de identificar la presencia de minerales asbestiformes.

MARCO GEOLÓGICO

Mina Mauro se localiza en el flanco oriental del cerro Negro en la sierra de Comechingones (32°16'39,6" S y 64°52'15" O), a 60 km al oeste de la localidad de La Cruz, departamento de Calamuchita. La Isla se ubica en el flanco este de la Sierra Chica, a 2,5 km al sur de la localidad de José de la Quintana, en el departamento Santa María, provincia de Córdoba. Sus coordenadas son 31°49'30,6" S y 64°24'53" O (Fig. 1).

Los afloramientos de la mina Mauro han sido escasamente citados en la bibliografía, tal como es el caso de Martínez (1998), quien los ha mapeado como anfíbolitas. El sector forma parte de la faja de cizalla Guacha Corral (Martino 2003) y está formado por milonitas, gneises miloníticos, anfíbolitas, rocas ultramáficas serpentinizadas y migmatitas. Todo el conjunto se halla intruido por pegmatitas que son parte del distrito pegmatíti-

co Comechingones (Galliski 1999, Demartis *et al.* 2011). En particular el cerro Negro está compuesto, en su sector oeste y central, por serpentinitas con diverso grado de alteración a talco, cortadas por vetillas centimétricas de minerales con características asbestiformes (Fig. 2a). La intrusión de pegmatitas en la serpentinita desarrolló halos de vermiculita, asociados a los minerales fibrosos (Fig. 2b). El sector este del cerro Negro, está formado por una anfíbolita de grano grueso, fracturada y alterada hidrotermalmente, con desarrollo de tremolita.

La Isla se emplaza en afloramientos del Complejo Metamórfico La Falda, compuesto por gneises biotítico-muscovíticos con intercalaciones de ortogneises leucotonalíticos, mármoles dolomíticos, anfíbolitas y rocas calcosilicáticas (Luce-ro Michaut *et al.* 2000). Este basamento es intruido por diques basálticos de edad cretácica similares a los descritos por Gordillo y Lencinas (1969). Los antecedentes sobre este yacimiento son escasos, entre los cuales puede citarse el trabajo de Viltes (2011) que describe la geología del depósito, y el de Lescano *et al.* (2012) referido a la mina Soledad (31°49'36" S; 64°25'34" O), perteneciente al mismo distrito minero y localizada a 3 km al suroeste de la localidad de José de la Quintana, en el departamento Santa María. Las explotaciones realizadas, consistentes en labores superficiales a cielo abierto (Fig. 2c), permitieron observar cuerpos ultramáficos talquizados asociados a anfíbolitas, intruidos por diques granitoides (Qtz-Plg-Bt) y pegmatitas. Abreviaturas según Kretz (1983). En el contacto entre los intrusivos y el cuerpo ultramáfico se han desarrollado zonas enriquecidas en vermiculita, anfíboles y vetillas de minerales fibrosos (Fig. 2d).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron muestras de las dos minas en estudio, ambas actualmente inactivas. La Isla presenta un frente de explotación a cielo abierto de aproximadamente 30 m de ancho, con destapes menores circundantes de pocos metros. Se tomaron 15 muestras en las zonas de la antigua explo-

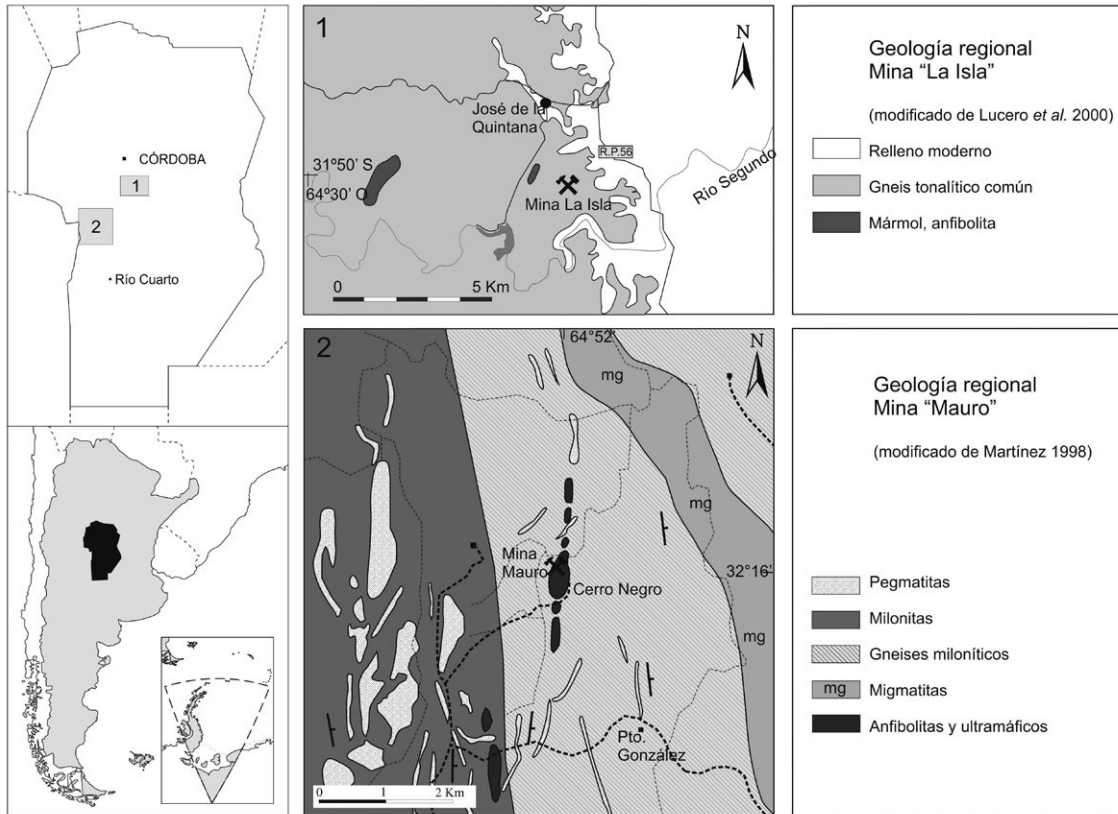


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.

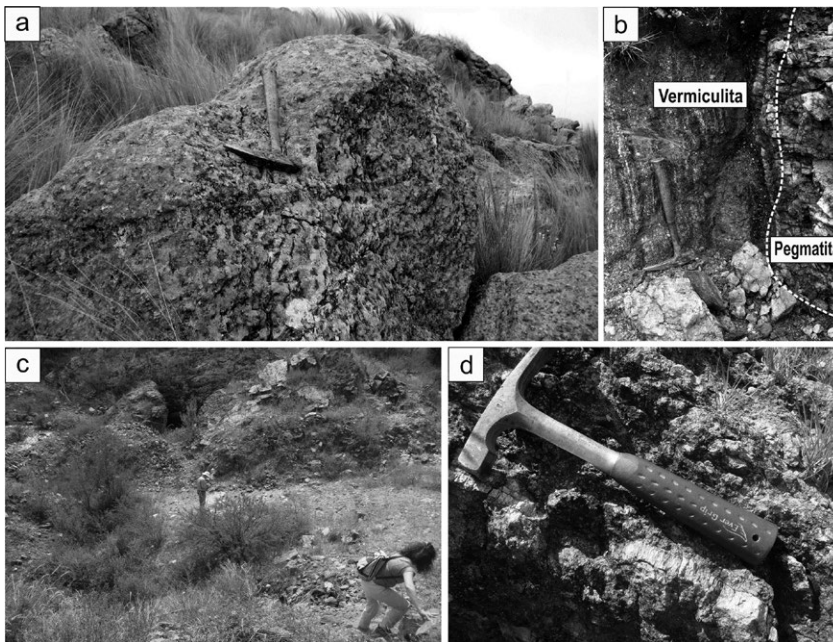


Figura 2: a) Mina Mauro, venillas de aproximadamente 4 cm, con minerales de hábito fibroso que disecan la roca serpentinizada; b) Mina Mauro, halo de vermiculita rodeando a pegmatita; c) Mina La Isla, destapes a cielo abierto; d) Mina La Isla, venillas de anfíbol en roca serpentinita.

tación minera, desde la roca ultrabásica serpentinizada hacia la zona rica en vermiculita. A su vez, se muestrearon venillas de minerales fibrosos de dimensiones mayores al centímetro, que cortan la ser-

pentinita. La mina Mauro sólo ha sido explorada en la década del '80, mediante pequeñas trincheras que tuvieron por objeto destapar las estructuras mineralizadas por ver-

miculita. Se tomaron 18 muestras, con el objeto de determinar las asociaciones minerales presentes en la roca de caja ultrabásica serpentinizada, en venillas de minerales fibrosos que cortan dicha roca y en las zonas de contacto del cuerpo ultramáfico con intrusiones pegmatíticas que generan halos en vermiculita.

Para los análisis mineralógicos se separaron manualmente las fibras de las venillas dentro de la serpentinita utilizando esteromicroscopio con el objeto de obtener estos minerales con la máxima pureza posible. Para los estudios petrográficos se utilizó estereomicroscopio y microscopio de polarización Olympus trinoculares y un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 35 CP, equipado con un detector para EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) para el análisis químico cualitativo de microáreas (rango de detección elemental: entre B y U), sobre muestras metalizadas con oro. Para la identificación de los minerales presentes se trabajó con un difractor de rayos X Rigaku D-Max III-C con radiación de Cu ($K\alpha_{1,2}$, $\lambda=1,541840$), y monocromador

de grafito en el haz difractado, a 35 kV y 15 mA, 2θ entre 3° y 60°. Para determinar la expansibilidad de la vermiculita, se calcinó la muestra en una mufla Indef, a una temperatura de 600° C durante 2 horas. Todos los análisis se realizaron en los laboratorios del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y el Centro Científico Tecnológico del CONICET Bahía Blanca.

RESULTADOS

Petrografía

En la mina Mauro, la serpentinita está constituida principalmente por antigorita con abundantes minerales opacos. Se observaron además cristales fibrosos con fractura astillosa que alcanzan los 2 mm de longitud, los que por sus características ópticas se determinaron como antofilita. En la figura 3a se muestra un cristal de este mineral de aproximadamente 700 micrómetros en una masa de serpentinita, y en la figura 3b cristales aciculares con fractura astillosa de antofilita en contacto con un relicto de serpentinita y una masa de vermiculita. La serpentinita contiene islotes de vermiculita y una clorita magnesiana (clinocloro) (Fig. 3c), concordante con el bandeo de la roca. En otros sectores se reconocen cristales de un mineral micáceo con pleocroísmo pardo amarillento - pardo claro, extinción recta y desferrizados en los bordes, adjudicados a hidrobiotita. Es común la presencia de minerales opacos relicticos. Dentro de la serpentinita se reconocieron vetillas constituidas por una asociación mineralógica en la que predomina la antofilita, la cual se presenta en cristales aciculares que alcanzan dimensiones centimétricas y se disponen transversalmente a la longitud de las vetillas. Es común que incluyan cristales de tremolita-ferroactinolita y escaso talco y vermiculita. Al microscopio la antofilita tiene birrefringencia moderada, elongación positiva y extinción recta. La tremolita-ferroactinolita presenta débil pleocroísmo y extinción oblicua (15°). Tanto el talco como la vermiculita tienen alto color de interferencia. La vermiculita se presenta en cris-

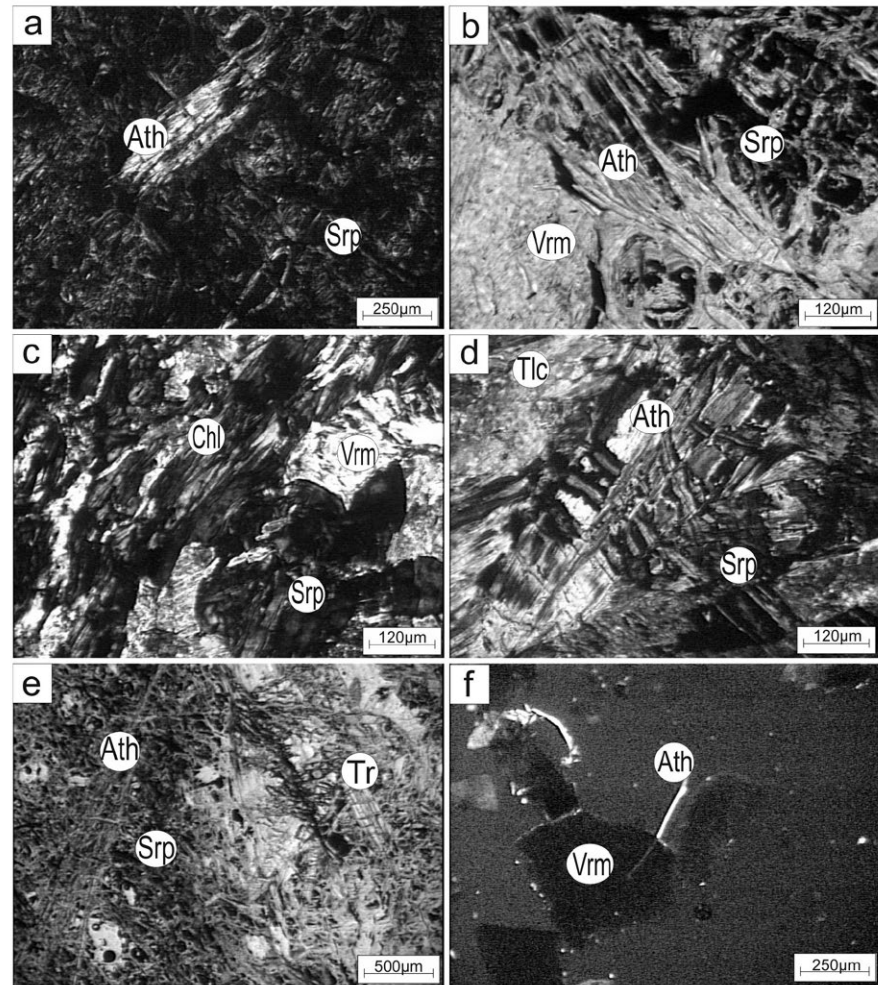


Figura 3: Mina Mauro. a) Fotomicrografía con analizador intercalado de un cristal de antofilita (Ath), en una masa de serpentinita (Srp); b) Fotomicrografía sin analizador intercalado de cristales aciculares astillosos de antofilita (Ath) en contacto con un relicto de serpentinita (Srp) y una masa de vermiculita (Vrm); c) Fotomicrografía con analizador intercalado de islotes de vermiculita (Vrm) y clorita magnesiana (clinocloro) (Chl) en la serpentinita (Srp); d) Fotomicrografía con analizador intercalado de grandes cristales de tremolita (Tr) en una masa de talco (Tlc), conservándose relictos de la serpentinita (Srp); e) Fotomicrografía sin analizador intercalado de minerales opacos diseminados en la serpentinita (Srp) con largos y finos cristales de antofilita (Ath) y tremolita (Tr); f) Fotomicrografía con analizador intercalado de fibras largas y flexuradas de antofilita (Ath) en la vermiculita (Vrm).

tales relativamente grandes (> 500 μm) mientras que el talco lo hace en agregados masivos de pequeños cristales (del orden del micrón). La figura 3d muestra cristales de tremolita-ferroactinolita de más de 400 μm de largo, en una masa de talco que conserva relictos de serpentinita. En la figura 3e se observa la presencia de numerosos cristales de minerales opacos diseminados, generados a partir de la serpentinitización de la roca ultramáfica y largos y finos cristales de antofilita y tremolita-ferroactinolita.

La vermiculita calcinada desarrolló una notable expansión y la apertura de sus ho-

jas como “acordeones” característica típica de este mineral. Luego de este proceso, se analizó bajo microscopio de polarización en grano suelto y se reconoció la presencia de fibras y prismas de anfíboles, liberados por la calcinación estimándose un porcentaje menor del 2%. En la figura 3f se reconocen las fibras largas y flexuradas de antofilita insertas y bordeando cristales de vermiculita.

Las rocas de la mina La Isla presentan características petrográficas similares a las de la mina Mauro. Dentro de la vermiculita, se reconocen vetillas de minerales fibrosos que, al microscopio óptico sobre

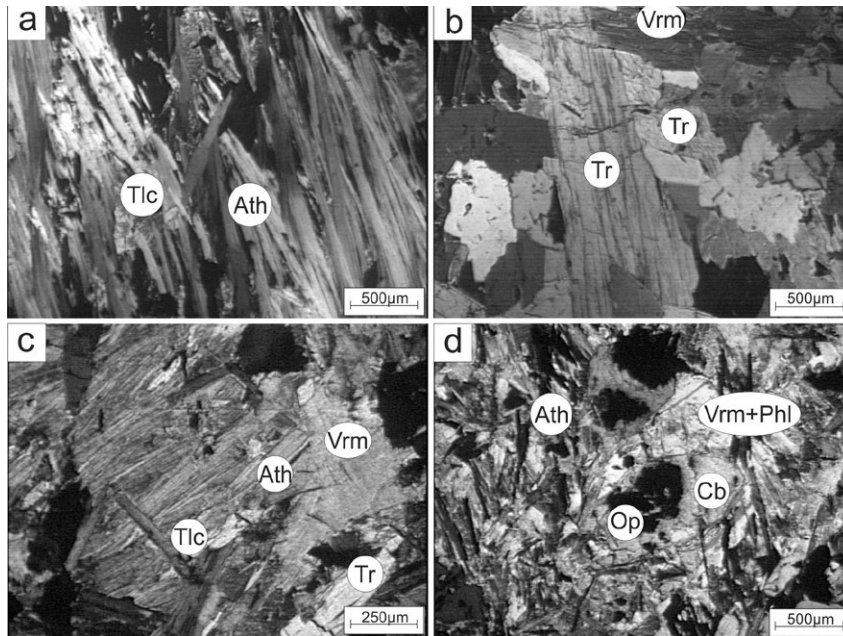


Figura 4: Mina La Isla. a) Fotomicrografía con analizador intercalado de anfíboles en venillas; b) Fotomicrografía con analizador intercalado de anfíbolita con cristales de tremolita; c) Fotomicrografía con analizador intercalado de vermiculita parcialmente talquizada, con cristales de antofilita; d) Fotomicrografía con analizador intercalado de vermiculita y flogopita con fibras de antofilita, relictos de carbonatos y minerales opacos. (Tlc: talco, Ath: antofilita, Tr: tremolita, Vrm: vermiculita, Phl: flogopita, Cb: carbonatos, Op: minerales opacos).

secciones delgadas, presentan hábito fibroso con fractura astillosa, gran desarrollo cristalino, son débilmente coloreados, con extinción recta y birrefringencia moderada ($\approx 0,02$) (Fig. 4a). Por sus características ópticas se los determinó como antofilita. Además, se observaron algunos sectores blanco amarillentos constituidos por una mezcla de talco y carbonatos.

En la roca de caja se identificó tremolita, otro mineral del grupo de los anfíboles, asociado a talco. Al microscopio óptico es débilmente coloreado tiene extinción oblicua ($\approx 15^\circ$), suave pleocroísmo y mayor birrefringencia que la antofilita (Fig. 4b). Además se reconocieron talco, antigorita y clorita.

En la zona de vermiculita, la muestra está constituida por grandes cristales de este mineral ($> 500 \mu\text{m}$) con procesos de talquización en sus sectores periféricos y cloritas dispuestas con textura lepidoblástica. En otros sectores el proceso de talquización se intensifica generando lentes más o menos definidos de talco de grano fino (Fig. 4c). La figura 4d muestra relictos de carbonatos (calcita), con alto relieve y color de interferencia, dentro

de una masa de vermiculita y flogopita. También se observan abundantes cristales fibrosos aciculares de antofilita y pequeños relictos de minerales opacos.

Difractometría de rayos X

Se determinaron antofilita (ficha ICDD 42-544, ICDD 1993) y talco en la zona de vetillas, y tremolita y clorita en la roca de caja anfíbolítica, zona más alejada al cuerpo de vermiculita. En las figuras 5 a y b, se pueden observar los difractogramas de las zonas mencionadas.

En la mina Mauro se analizó la mineralogía de la mena. En la veta se determinó vermiculita, con sus reflexiones principales en $14,6$ y $4,57 \text{ \AA}$, similares a la ficha ICDD 16-613 correspondiente al politipo $2M$ (ICDD 1993), e hidrobiotita. Este último, es un interstratificado 1:1 de biotita y vermiculita, con su reflexión principal en $12,3 \text{ \AA}$ (ficha ICDD 49-1057, ICDD 1993). Además se identificó la presencia de dolomita, calcita, serpentina y cuarzo (Fig. 5c). A su vez se realizó un difractograma del mineral fibroso en vetillas dentro de la vermiculita y se determinó la presencia de antofilita (ficha ICDD

42-544, ICDD 1993) con escasa antigorita, magnetita y talco (Fig. 5d).

Microscopía electrónica de barrido

Se analizaron muestras de vermiculita, serpentina y los minerales fibrosos de las vetillas. En la mina Mauro se observó la vermiculita natural (sin calcinar) formando paquetes densos y compactos, con una superficie irregular y rugosa, destacándose la presencia de carbonato de calcio. En otros sectores, la vermiculita se presenta deformada y abierta, sin anfíboles. En la figura 6a se puede observar la apertura de las hojas de este mineral calcinado, destacándose su expansión. No se observaron anfíboles dentro de sus hojas, aunque si se los ha reconocido en la superficie exhibiendo hábito prismático.

Los minerales dispuestos en las vetillas presentan morfología fibrosa, acicular con un gran desarrollo cristalino, en forma de haces dispuestos al azar. La relación largo/ancho de las fibras más elongadas supera el valor de 100, sus extremos son tipo aguja y se desmenuzan en fibras menores. Por EDS se determinó Mg y Si (Fig. 6b), que se adjudicaron a antofilita. El pico de Au corresponde al material de la metalización de la muestra y el de C a la cinta de base sobre la que fue montada. En la figura 6c se observa parte de una vetilla con cristales fibrosos de anfíboles dentro de una masa de serpentinita y un detalle de la morfología de sus extremos. Se aprecia el desmenuzamiento y desarrollo cristalino. Según la clasificación de la OSHA (1992) se puede decir que los cristales estudiados presentan hábito asbestiforme.

En las vetillas de la mina La Isla no se observaron cristales aciculares, sino que prevalecen las formas tabulares y prismáticas con gran desarrollo longitudinal (Fig. 6d).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Desde hace décadas, los numerosos estudios que se realizan para la determinación de anfíboles como impureza se centran, principalmente, en discernir si estos presentan características asbestiformes no-

civas para la salud humana. El motivo es que los fragmentos de clivaje, cuando son inhalados, parecen ser menos nocivos que las fibras (Davis *et al.* 1991, Langer *et al.* 1991, OSHA 1992). La morfología de los cristales es fundamental para clasificar a los anfíboles como asbestos y para determinar su incidencia en la salud. Por más de 20 años han existido controversias acerca de la importancia de la morfología de estos cristales, debido a que los hábitos fibrosos asbestiformes generarían una mayor incidencia en la salud que las formas no asbestiformes. Sin embargo, estudios realizados con estos materiales, demuestran que su partición y desmembramiento puede generar roturas y formas aciculares asbestiformes (Davis *et al.* 1991).

Si bien la tremolita-ferroactinolita de la mina La Isla no presenta originalmente carácter asbestiforme, el tratamiento de la vermiculita y los procesos de meteorización, podrían inducir la rotura y desprendimiento de partículas de hábito acicular, por lo que sería necesario evaluar adecuadamente cada caso.

La sola presencia de minerales anfíbólicos ya es un alerta para intensificar los controles ambientales de los productos que se benefician. De los análisis morfológicos se concluyó que algunos de los anfíboles estudiados no presentan hábito asbestiforme, pero si fibroso, en donde la relación largo/radio es 3:1 o mayor, y la longitud mayor a 5 micrómetros (Ross 1981).

CONCLUSIONES

La mineralogía de las vetas de vermiculita de las minas La Isla y Mauro presenta semejanzas. Se identificaron vermiculita, anfíboles (antofilita y tremolita), flogopita e hidrobiotita. En cantidades menores, clorita, talco, carbonatos, minerales del grupo de la serpentina y minerales opacos. Por diferentes métodos analíticos (difractometría de rayos X, microscopía de polarización y microscopía electrónica de barrido), se confirmó que los anfíboles corresponden a antofilita y a la serie tremolita-ferroactinolita.

Si bien la tremolita-ferroactinolita de la mina La Isla no posee originalmente ca-

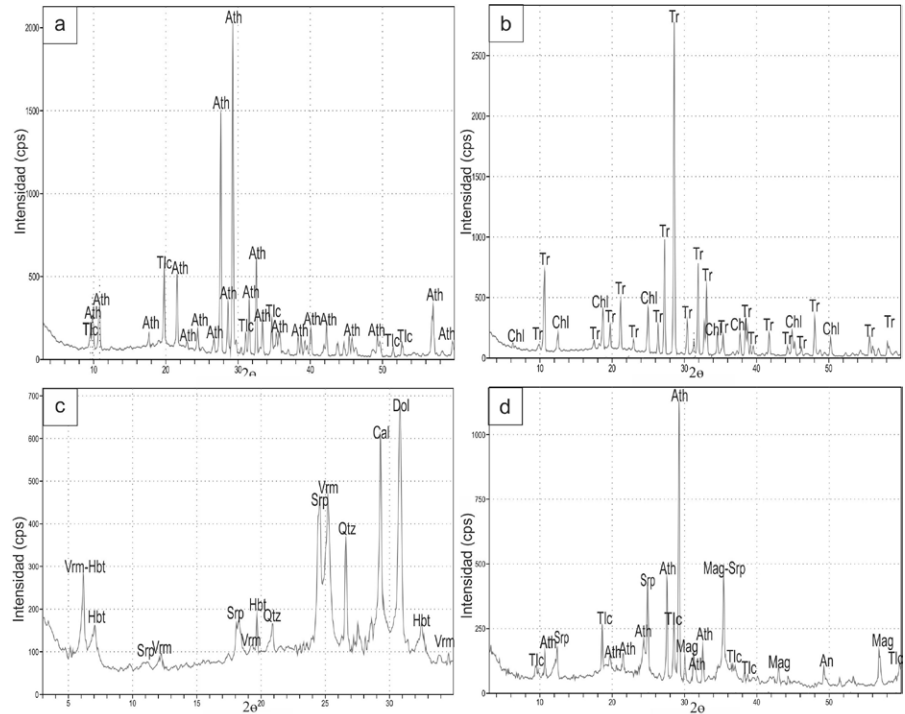


Figura 5: a) Difractograma de las vetillas (Ath: antofilita, Tlc: talco) de la mina La Isla; b) Difractograma de la roca de caja anfibolítica (Tr: tremolita, Chl: clorita) de la mina La Isla; c) Difractograma de la zona de vermiculita de la mina Mauro (Vrm: vermiculita, Hbt: hidrobiotita, Srp: serpentina, Qtz: cuarzo, Cal: calcita, Dol: dolomita); d) Difractograma de minerales en vetillas en la roca de caja de la mina Mauro (Tlc: talco, Ath: antofilita, Srp: serpentina, Mag: magnetita).

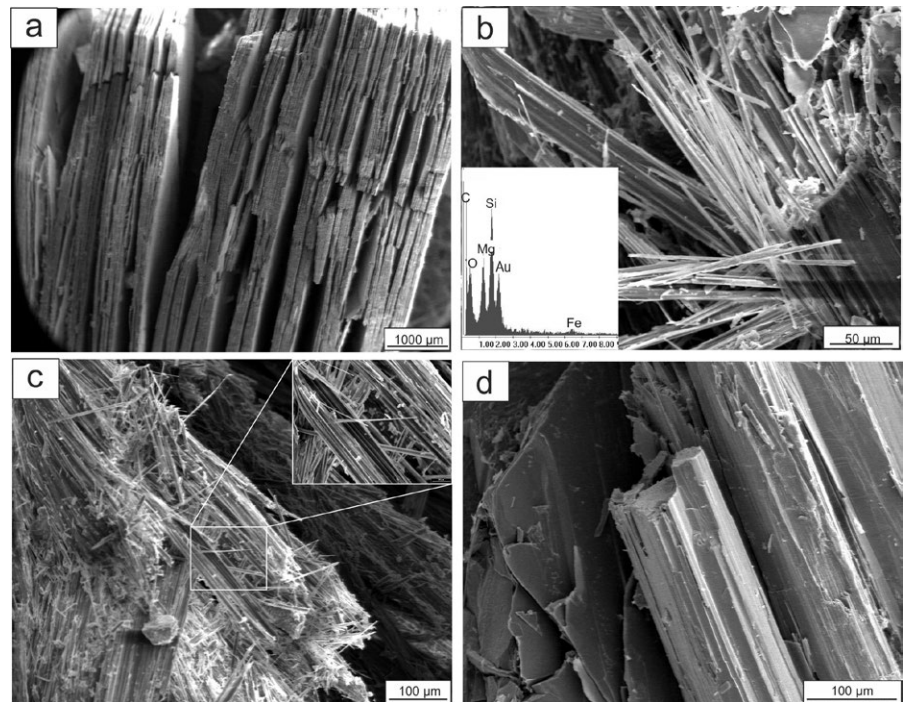


Figura 6: Imágenes de microscopio electrónico de barrido. a) Vermiculita calcinada y expandida; b) Fibras aciculares de antofilita en la mina Mauro. Espectro de EDS de las fibras analizadas (C: carbono, Si: silicio, Mg: magnesio, Fe: hierro, O: oxígeno); c) Venilla de minerales fibrosos en serpentinita y un detalle de la morfología de sus extremos y hábitos aciculares; d) Cristales tabulares/prismáticos de los anfíboles de la mina La Isla.

rácter asbestiforme, el tratamiento de la vermiculita y los procesos de meteorización, podría inducir la rotura y desprendimiento de partículas de hábito acicular, por lo que sería necesario evaluar adecuadamente cada caso.

El hábito cristalino de la antofilita, presente en vetillas dentro de la vermiculita de la mina Mauro, es en general fibroso, acicular y asbestiforme.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Nacional del Promoción Científica y Tecnológica, a la Universidad Nacional del Sur, a la Universidad Nacional de Córdoba, a la Secretaría de Minería de Córdoba y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires por el apoyo brindado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Angelelli, V., Schalamuk, I. y Fernández, R. 1980. Los yacimientos de minerales no metales y rocas de aplicación de la región Centro-Cuyo. Secretaría de Estado de Minería, Anales 19, 19 p., Buenos Aires.
- Bonalumi, A.A. y Gigena, A.A. 1987. Relación entre las metamorfitas de alto grado y las rocas básicas y ultrabásicas del departamento Calamuchita, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42: 73-8.
- Bonalumi, A., Sfragulla, J., Jerez, D., Bertolino, S., Sánchez Rial, J. y Carrizo, E. 2014. Yacimientos de minerales y rocas industriales. En Martino, R.D. y Guerreschi, A.B. (Eds.) *Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino, Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba*: 983-1024, Córdoba.
- Davis, J.M.G., Addison, J., McIntosh, C., Miller, B.G. y Niven, K. 1991. Variations in the carcinogenicity of tremolite dust samples of differing morphology. Third wave of asbestos disease: Exposure to asbestos. En Landrigan, P.J., Kazemi, H. (Ed.) *Annals of the New York Academy of Sciences* 643: 473-490, New York.
- D'Aloia, M. y Bianucci, A. 1969. Estudio geológico minero del yacimiento de cromita "Atos Pampa", (pedanía Los Reartes, departamento Calamuchita, provincia de Córdoba), 4a Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: 253-268, Mendoza.
- Di Fini, A. 1957. Cromita, descripción mineralógica, ubicación de yacimientos. Dirección Provincial de Minería (inédito), 60p., Córdoba.
- Demartis, M., Pinotti, L.P., Coniglio, J.E., D'Eramo, F.J., Tubía, J.M., Aragón, E. y AgulleiroInsúa, L.A. 2011. Ascent and emplacement of pegmatitic melts in a major reverse shear zone (Sierras de Córdoba, Argentina). *Journal of Structural Geology* 33: 1334-1346.
- Escayola, M.P. 1994. La faja ultramáfica de la Sierra Grande de Córdoba entre Inti Yaco y Estancia San Miguel, Provincia de Córdoba, República Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 227 p., Córdoba.
- Galliski, M.A. 1999. Distrito Pegmatítico Comechingones, Córdoba. Recursos Minerales de la República Argentina. En Zappettini, E.O (Ed.) *Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales* 35: 361-364, Buenos Aires.
- Gordillo, C. y Lencinas, A. 1969. Perfil geológico de la Sierra Chica de Córdoba en la zona del río Los Molinos, con especial referencia a los diques traquibasálticos que la atraviesan. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 47: 27-50.
- Hunter, B. y Thomson, C. 1963. Evaluation of tumorigenic potential of vermiculite by intrapleural injection in rats. *British Journal of Industrial Medicine* 30: 167-173.
- International Centre for Diffraction Data (ICDD) 1993. Mineral powder diffraction file. Databook, Park Lane. Swarthmore, 2389 p., Pennsylvania.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Langer, A.M., Nolan, R.P. y Addison, J. 1991. Physico-chemical properties of asbestos as determinants of biological potential. En Liddell, D., Miller, K. (Eds.) *Mineral Fibers and Health*: 211-228, Florida.
- Lescano, L., Marfil, S., Maiza, P., Sfragulla, J. y Bonalumi, A. 2012. Presencia de Anfíboles en Mina de Vermiculita, Prov. de Córdoba, Argentina. Caracterización y Composición Mineral. 1er Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental y 1er Congreso Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental (AA2012), Actas: 292-297, Mar del Plata.
- Lucero Michaut, H.N., Daziano, C.D., Sanabria, J.A., Barbeito, O., Tauber, A. y Sapp, M. 2000. Mapa geológico Hoja 3163-III, Córdoba, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR (inédito), Córdoba.
- Martínez, S. 1998. Grupo minero La Ona, departamento Calamuchita, provincia de Córdoba. Informe interno Empresa "Complejo Minero Juan Llerena S.A." (inédito), 34 p., Córdoba.
- Martino, R.D. 2003. Las fajas de deformación dúctil de las Sierras Pampeanas de Córdoba: una reseña general. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 549-571.
- Mutti, D. 1999. Depósitos de cromitas de Córdoba. En Zappettini, E. (Ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales* 35: 193-206, Buenos Aires.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 1992. Occupational exposure to asbestos, tremolite, anthophyllite and actinolite. United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, *Federal Register* 57: 24310-24331.
- Rodríguez, E.J. 2004. Asbestos Banned in Argentina. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 10: 202-208.
- Ross, M. 1981. The geological occurrences and health hazards of amphibole and serpentine asbestos. En Veblen, D.R. (Ed.) *Reviews in Mineralogy* 9A, Amphiboles and Other Hydrous Pyriboles, Mineralogical Society of America: 279-320, Washington.
- Villar, L.M. 1975. Las fajas y otras manifestaciones ultrabásicas en la Rep. Argentina y su significado metalogénico. Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas T III: 135-156, Buenos Aires.
- Viltes, R.N. 2011. Estudio geológico-minero preliminar de la mina de vermiculita "La Isla" Pedanía San Isidro, Dpto. Santa María, provincia de Córdoba. Trabajo Final de la Carrera de Geología, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), 325 p., Córdoba.
- Zoltai, T. 1981. Amphibole asbestos mineralogy. En Veblen, D.R. (Ed.) *Reviews in Mineralogy* 9A, Amphiboles and Other Hydrous Pyriboles, Mineralogical Society of America: 237-278, Washington.

Recibido: 7 de octubre, 2014

Aceptado: 10 de junio, 2015