

CARACTERIZACIÓN DE ALGUNOS MINERALES ASBESTIFORMES DE USO INDUSTRIAL

LESCANO, L.* , MARFIL, S.** y MAIZA, P.***

* Becaria. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. Departamento de Geología-UNS. San Juan 670, Bahía Blanca. TE. 54-291-4595101 int. 3021. E-mail: leticia.lescano@uns.edu.ar

** Inv. Independiente. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. Departamento de Geología-UNS. San Juan 670, Bahía Blanca. TE. 54-291-4595101 int. 3021. E-mail: smarfil@uns.edu.ar

*** Investigador Principal CONICET-INGEOSUR. Departamento de Geología-UNS. San Juan 670, Bahía Blanca. TE. 54-291-4595101 int. 3021. E-mail: pmaiza@uns.edu.ar

ABSTRACT

A mineralogical and morphologic characterization of some asbestiformes minerals of common use in the industry was made. Natural samples of chrysotile, lizardite and antigorite of the serpentine group; and actinolite, tremolite and anthophyllite of the amphiboles group were used. They were studied with optical microscope on with the immersion method, scanning electron microscopy - EDS and X-ray diffraction. The resolve of the morphology and size of fibers has special interest by the implications that this has in the human health. These characteristics determine the penetration of asbestos fibers in the respiratory routes, those that are accumulated in the lungs, having been able to cause to cancer or asbestosis.

Palabras claves: asbestos, anfíboles, serpentina, morfología

Keywords: asbestos, amphiboles, serpentine, morphology

INTRODUCCIÓN

Asbesto es un término que proviene del griego *asbestos* y del latín *asbestinon*, cuyo significado es incombustible e inextinguible. Este término no representa a un mineral sino describe a un grupo de minerales de silicatos hidratados de magnesio con características fibrosas y muy flexibles. Presentan además, resistencia química, eléctrica y térmica (Veblen y Wylie, 1993). Debido a estas propiedades, su uso comercial se ha extendido mundialmente y se lo encuentra en una gran variedad de productos.

Se pueden diferenciar dos grupos distintivos de minerales comúnmente referidos como asbestos: serpentina y anfíboles. Ambos son silicatos pero sus características mineralógicas y químicas son diferentes (Skinner, H. *et al.*, 1988).

Los minerales del grupo de la serpentina están constituidos por tres formas polimorfas

del sistema monoclinico: lizardita, antigorita y crisotilo. Este último es el más comúnmente utilizado, principalmente en aislaciones y productos resistentes al fuego. La fórmula química de los tres polimorfos es similar ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$), el Fe, Ni y Mn pueden estar presentes sustituyendo al Mg, pero la estructura de las capas varía significativamente. La lizardita y antigorita poseen una estructura en capas planar u ondulada, presentan un hábito liso, escamoso o en forma de listones (Klein, 1993). El crisotilo, también conocido como asbesto blanco debido a su color, posee una estructura en donde las capas de silicato se disponen en forma de tubos o cilindros concéntricos o enrollados, orientados paralelos al eje a (Figura 1). Si los cilindros están orientados con respecto al eje b se denomina paracrisotilo (polimorfo del sistema ortorómbico) (Wicks y

Whittaker, 1975). Esta estructura es la que genera el hábito fibroso, flexible, característico de los minerales asbestiformes.

Por otra parte, dentro del grupo de los anfíboles se pueden reconocer cinco variedades de minerales que poseen las características de los asbestos, tremolita, actinolita, crocidolita, antofilita y amosita. La estructura de estos silicatos está constituida por largas cadenas dobles, enlazadas por tetraedros de silicio y oxígeno (SiO_4)⁻⁴, lo que hace que estos minerales sean muy fuertes y durables. Las cadenas se extienden a lo largo del eje c, generando hábitos fibrosos, tipo varillas sólidas (Ross, M., 1981) (Figura 2).

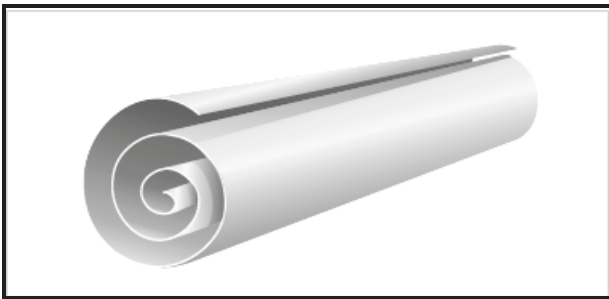


Figura 1. Estructura del crisotilo

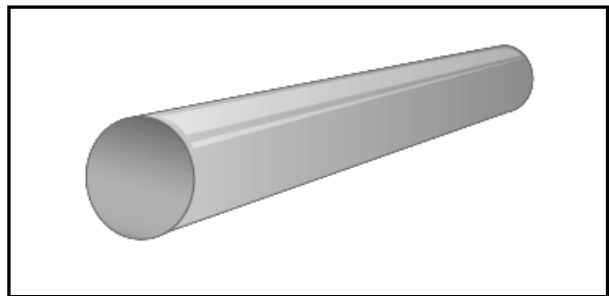


Figura 2. Estructura de los anfíboles

Los múltiples estudios que se han realizado en relación a los asbestos están relacionados a la morfología y tamaño de los mismos y a las implicancias que esto genera en la salud humana. Estos factores son los que determinan la penetración de las fibras de amianto en las vías respiratorias las cuales se acumulan en los pulmones, pudiendo causar cáncer o asbestosis. (Battista, R. *et al.* 2006)

En Argentina, los asbestos se encuentran prohibidos según la resolución del Ministerio de Salud N° 845/00 la cual "*Prohíbe la producción, importación, comercialización y*

uso de fibras de asbestos variedad anfíboles, y productos que las contengan", a partir del 10 de octubre de 2000 y la resolución del Ministerio de Salud N° 823/01, la cual "*Prohíbe la producción, importación, comercialización y uso de fibras de asbestos variedad crisotilo, y productos que las contengan*", a partir del 1° de enero de 2003. (Rodríguez, E., 2004). Si bien estas resoluciones siguen vigentes en la actualidad, las medidas adoptadas en nuestro país consisten en retirar del mercado los productos que contienen asbesto, reubicarlos y reemplazarlos por otros materiales

Para llevar a cabo la remoción es necesario realizar una previa identificación y caracterización de las fibras asbestiformes, debido a que cada mineral de este grupo se comporta de manera desigual con respecto a las condiciones físicas y químicas generales del ambiente de exposición. Este trabajo plantea como objetivo caracterizar algunos de los asbestos y comparar la morfología de las fibras de los minerales del grupo de los anfíboles y serpentina.

MATERIALES Y METODOS

Para la caracterización mineralógica – morfológica se seleccionaron algunos minerales asbestiformes, de uso común en la industria. Se trabajó con muestras naturales de crisotilo, lizardita y antigorita del grupo de la serpentina, y actinolita, tremolita y antofilita del grupo de los anfíboles.

Todas las muestras son de Argentina, provenientes del distrito minero San Pablo, la quebrada de Santa Elena y distrito minero Salamanca (Prov. de Mendoza) y del área de Pie de Palo (Prov. de San Juan) con excepción del crisotilo que corresponde a un yacimiento de Italia.

Para los estudios se utilizó un sistema microscópico, con procesador de imágenes integrado con un estereomicroscopio Olympus trinocular SZ-PT; microscopio petrográfico Olympus trinocular B2-UMA, con una cámara de video Sony 151A incorporada, monitor de

alta resolución, procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1 y programas computarizados para tratamiento de imágenes; microscopio electrónico de barrido, JEOL JSM 35 CP equipado con una sonda EDAX para el análisis químico cualitativo de microáreas sobre muestras metalizadas con oro; y un difractómetro Rigaku D-Max III - C con radiación de Cu K α y monocromador de grafito, con 35 Kv y 15 mA. Se trabajó con el método de polvo.

RESULTADOS

Difractometría de rayos X

En la figura 2 se observan los difractogramas de los minerales estudiados. La figura 2a, corresponde a la antofilita (A) ((Mg, Fe²⁺)₇ Si₈ O₂₂ (OH)₂), asociada en menor proporción con talco (T). La estructura del anfíbol es comparable con la ficha ICDD 9-455, reemplazada en la actualidad por la ficha 42-544 (ICDD, 1994). Si bien ambas fichas son similares la primera fue realizada con el método de polvo y la segunda con cámara. Como se trata de un mineral que se orienta, las intensidades relativas son coincidentes con

la ficha más antigua. Las máximas reflexiones fueron identificadas en 3.22 y 3.04 Å.

El difractograma de la figura 2b, identifica a la estructura de la lizardita-1T (L) ((Mg, Fe²⁺)₃ Si₂ O₅ (OH)₄), con sus máximas reflexiones en 7.22 y 3.61Å, similares a la ficha ICDD 18-779 y cantidades subordinadas de talco (T) (ICDD, 1994). En la figura 2c se determinaron dos estructuras diferentes tremolita-ferroactinolita (AC) (Ca₂ (Mg,Fe)₅ Si₈ O₂₂ (OH)₂) en mayor proporción, y antigorita (AN) ((Mg, Fe²⁺)₃ Si₂ O₅ (OH)₄) subordinada. Las principales reflexiones del mineral de la serie de los anfíboles, se encuentran en 3.11 y 8.36 Å, coincidente con la ficha ICDD 41-1366 de la actinolita (ICDD, 1994). La estructura de la antigorita, comparable con la ficha ICDD 21-963, tiene su máxima reflexión en 2.52 Å (ICDD, 1994).

El crisotilo (C) (Mg₃ Si₂ O₅ (OH)₄), principal componente del grupo de los asbestos, está determinado en el difractograma de la figura 2d. Las principales reflexiones se identificaron en 7.25, 3.63 y 4.54 Å, comparables con la ficha ICDD 31-808.

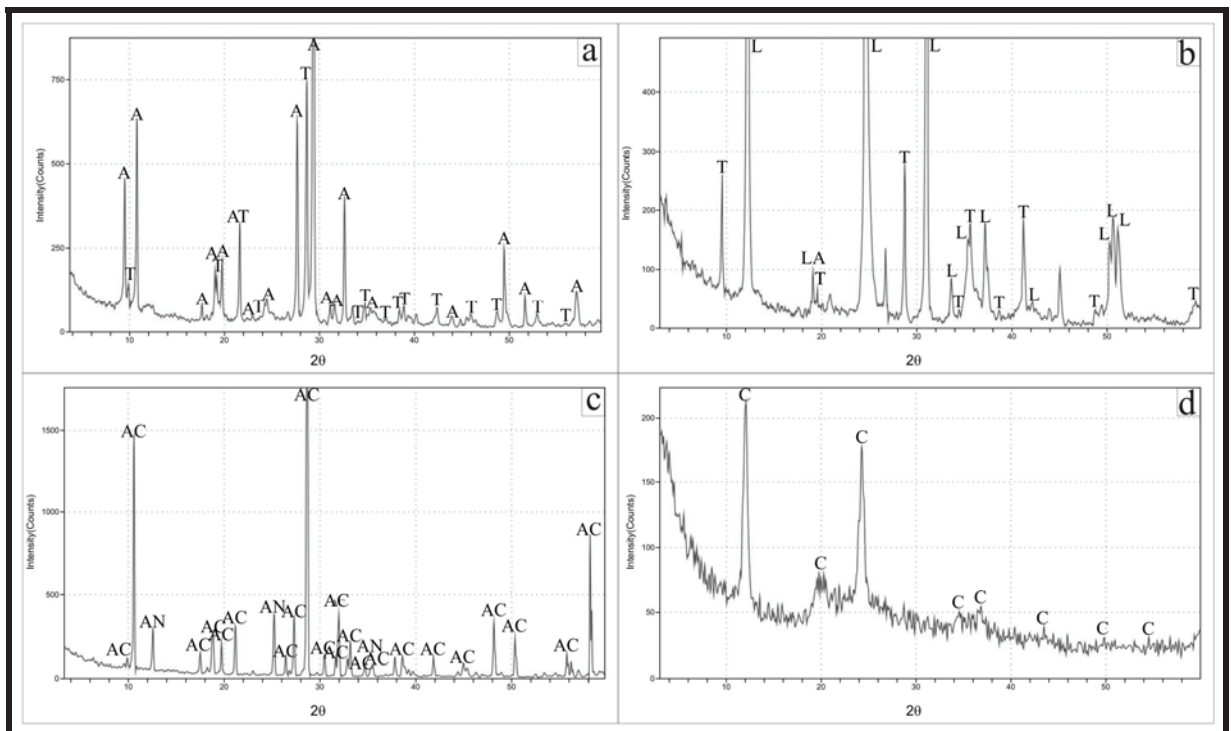


Figura 2. Difractometría de rayos X. a: antofilita (A) y talco (T) ; b: lizardita (L) con talco subordinado (T); c: tremolita-ferroactinolita (AC) con antigorita (AN) ; d: crisotilo (C).

Difractometría de rayos X es un método aplicable para distinguir claramente los minerales del grupo de los anfíboles de los de la serpentina, pero en algunos casos no permite diferenciarlos entre ellos ya que forman series isomorfas como es el caso de la tremolita – ferroactinolita.

Microscopía óptica

Las muestras fueron analizadas sobre grano suelto en aceite de inmersión ($n=1.54$). En la figura 3a se observa antofilita de hábito acicular y fibroso. El tamaño es muy variable, desde $60 \mu\text{m}$ hasta $750 \mu\text{m}$. En estas

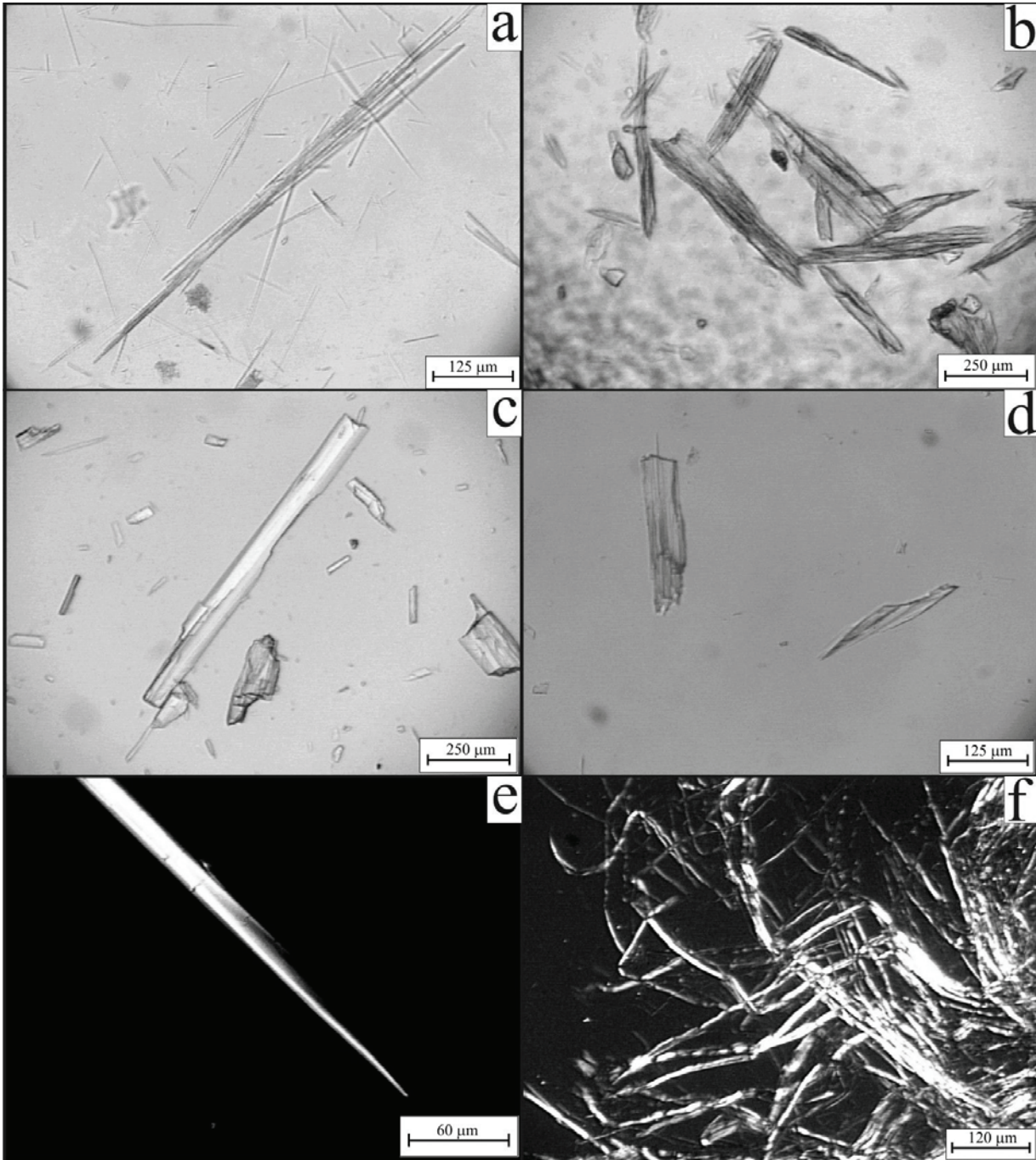


Figura 3. Microscopía óptica. a: antofilita; b: lizardita; c: tremolita-ferroactinolita; d: tremolita-ferroactinolita (izquierda) – antigorita (derecha); e: detalle de un cristal de tremolita-ferroactinolita; f: crisotilo.

últimas se distingue un desmenuzamiento en fibras menores, con hábito similar. Son rígidas

y poco flexibles, características de los asbestos-anfíboles.

Las fibras que se muestran en la figura 3b, son planares características de la estructura de la lizardita y del subgrupo de los filosilicatos. Si bien este mineral es polimorfo del crisotilo, a diferencia de éste la estructura de la lizardita presenta hábito fibroso pero no asbestiforme. El tamaño es variable, y se distingue como se separa en hojas fibrosas.

En la figura 3c se observa cristales del mineral de la serie tremolita - ferroactinolita que no presenta un hábito del todo fibroso, pero se distingue bien como los extremos poseen una terminación en punta. Las fibras menores son el producto del desprendimiento de fibras mayores, generando hábitos más asbestiformes. Se puede inferir en la muestra que los cristales son fibras fácilmente quebradizas.

En la figura 3d se muestra dos cristales: uno de actinolita (a la izquierda de la fotomicrografía) y uno de antigorita (a la derecha). La morfología del primero es más bien fibrosa, con el extremo inferior partido y resquebrajado. El cristal de antigorita, en cambio presenta una morfología más planar, con un hábito tipo en agujas en su extremo izquierdo.

La figura 3e, corresponde al detalle de una fibra del mineral la serie tremolita-ferroactinolita. Se destaca su terminación tipo aguja, con el desprendimiento de una fibra menor con el mismo hábito en su parte media. Esta morfología es un factor de riesgo para la salud humana. La figura 3f muestra la morfología del crisotilo. Este mineral presenta sus fibras rizadas, curvadas, muy finas y extensas. Su resistencia y flexibilidad son la principal característica de estos minerales asbestiformes.

SEM-EDS

La figura 4a muestra el hábito fibroso de la antofilita. Las fibras pequeñas son el producto del desprendimiento de las de mayor tamaño. El análisis de EDS permitió identificar Si, Mg, O, y en menor proporción Fe (Figura 4b).

En la figura 4c, se observa una estructura planar de cristales de lizardita. Las hojas se

orientan con respecto al eje "a". No generan hábitos fibrosos ni asbestiformes, es por eso que este polimorfo no es considerado de la familia de los asbestos. Por EDS se identificó Si, Mg, O, y en menor proporción Fe (Figura 4d).

En la figura 4e, se observa un cristal de tremolita-ferroactinolita, en el que se destaca la presencia fibras menores que se generan a partir del cristal de mayor tamaño. Si bien éste no presenta carácter asbestiforme, los cristales de menor tamaño producto de su fracturamiento, son de hábito fibroso. Por EDS se identificó Si, O, Mg, Ca, y una reflexión de muy baja intensidad correspondiente a Fe (Figura 4f).

En la figura 5a se reconoce gran densidad de cristales de la serie tremolita-ferroactinolita de diferente tamaño. Son fibras finas, rectas y rígidas, sus extremos se encuentran fracturados y/o desmenuzados. En la figura 5b se muestra un detalle del tipo de fracturamiento que genera fibras menores con extremos de hábito tipo agujas. El análisis de EDS que se observa en la figura 5c permitió identificar Si, Mg, O, Ca y Fe.

En el EDS del crisotilo (Figura 4d) se identificó Si, O y Mg. En la figura 5e se observa las fibras rizadas y curvadas del mineral y el entrelazamiento de las mismas. Estas poseen la propiedad de ser fácilmente "tejibles" de allí su gran aplicación en la industria. En la figura 5f, se puede observar como se entretejen las fibras de manera natural, y como se desmenuzan las puntas generando fibras rizadas más pequeñas.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los asbestos se encuentran constituidos por un intercrecimiento microscópico de fibras, que se desprenden fácilmente cuando el material es físicamente afectado.

Un reciente informe de la Organización Mundial de la Salud, sitúa a los asbestos entre las cuatro principales causas ambientales de

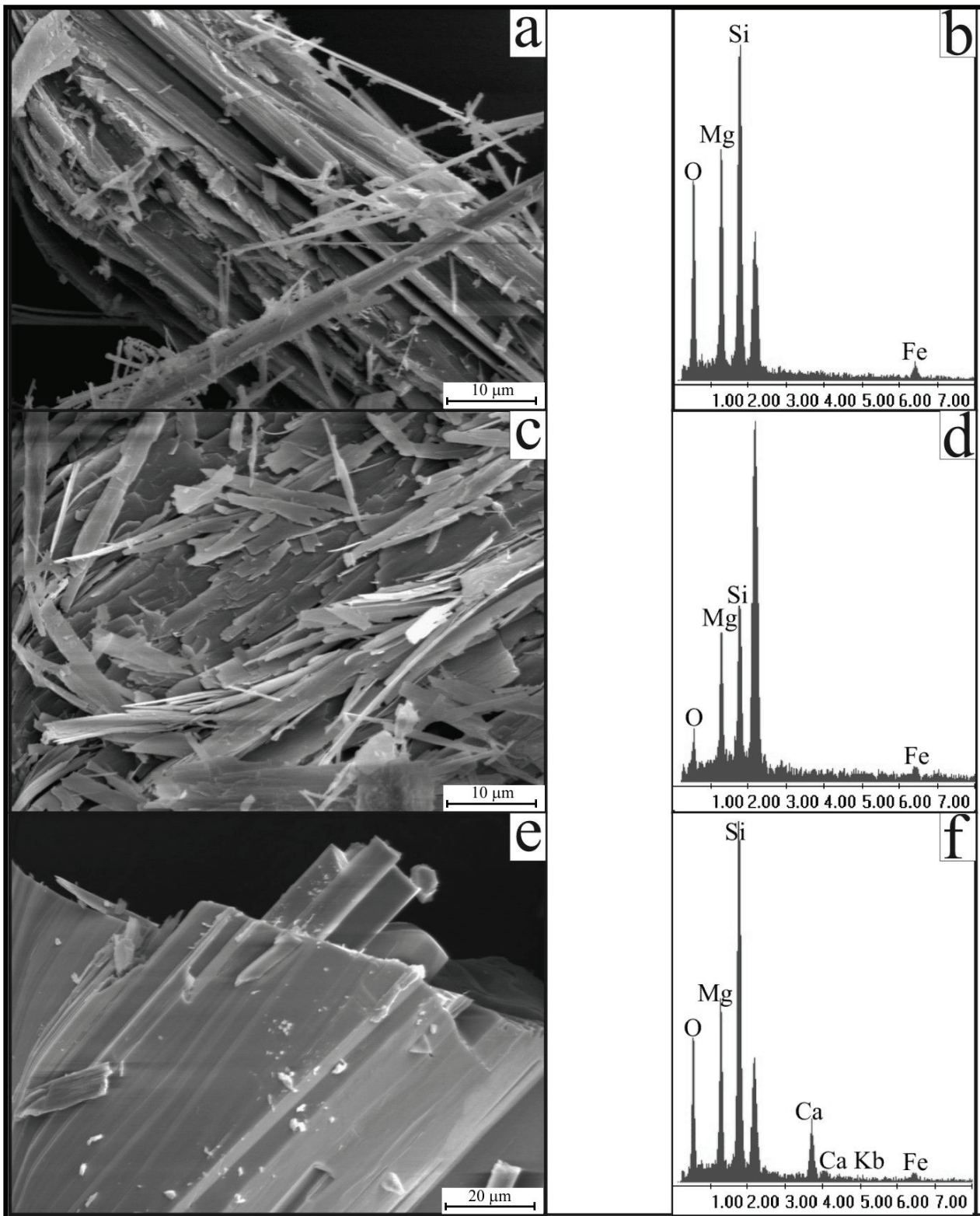


Figura 4: SEM - EDS: a: antofilita; b: EDS de la imagen a; c: lizardita; d: EDS de la figura c; e: tremolita-ferroactinolita; f: EDS de la imagen e.

tumores cancerosos (Oyarzun, et al. 2009). Por esto debe realizarse un estudio de detalle de los diferentes minerales removidos, caracterizando sus propiedades. Una vez

reconocidas las mismas, se obrará de manera diferente para la movilización y tratamiento de cada una de ellos.

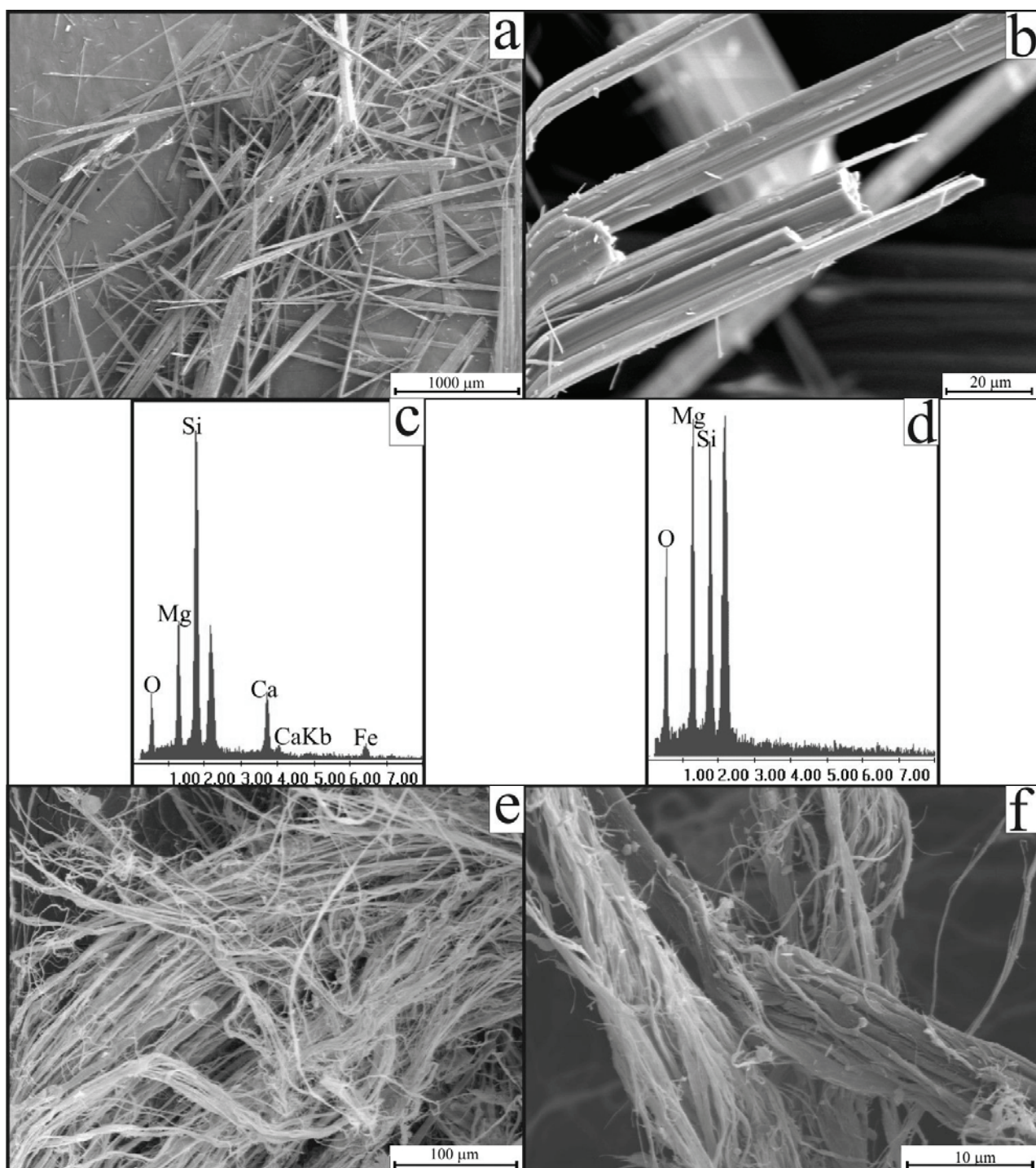


Figura 5. SEM – EDS. a: tremolita-ferroactinolita; b: detalle de la imagen de la figura a; c: EDS de la imagen b; d: EDS de crisotilo; e: morfología del crisotilo; f: detalle de la imagen anterior.

Respecto a los minerales del grupo de los anfíboles, se analizaron dos muestras de la serie tremolita-ferroactinolita, y una de antofilita. Las características morfológicas varían, si bien son fibrosas, no todas tienen características asbestiformes. La actinolita presenta variedades asbestiformes y no asbestiformes, lo cual implicaría que el riesgo

para la salud humana lo generen solo las primeras. Sin embargo una variedad que originalmente no es asbestiforme puede llegar a serlo si se la somete a tratamiento mecánico, como molienda en una mina, y posterior meteorización. Esto contribuye a un desmenuzamiento de la estructura fibrosa del inosilicato y junto con el clivaje prismático del

mineral generarían partículas aciculares con alto potencial de daño al tejido pulmonar (Oyarzun, *et al.* 2009). En los cristales que se observaron en el SEM, se distinguen diferentes estadios de particiones de las fibras, desde cristales aciculares que muestran un avanzado grado de partición a cristales mayores con un desmenuzamiento o quiebre inicial de las fibras. Es decir que a partir de una fibra larga se pueden generar cientos de fibras de menor tamaño y a medida que éstas se hacen más pequeñas y livianas son más móviles y arrastradas con mayor facilidad por el aire (Battista, R; *et.al.* 2006). Debido a la relación entre las fibras de anfíboles y el medio ambiente es necesario evaluar el estadio de partición de las mismas *in situ*, ya sea en relaves mineros, zonas industriales u hogareñas, para poder estudiar las implicancias que estas generan en la salud humana.

Por EDS se pudo determinar que los minerales estudiados corresponden al extremo de la tremolita ya que el contenido de hierro es muy escaso.

Contrariamente a los anfíboles, los minerales del grupo de la serpentina, poseen características químicas y morfológicas diferentes, observadas en los difractogramas, EDS y SEM. Los polimorfos antigorita y lizardita se caracterizan por poseer una estructura planar, en hojas, característica de los filosilicatos. Estos minerales no poseen hábito asbestiforme, pero es necesario realizar un estudio de los mismos para poder diferenciarlos del crisotilo, principal mineral del grupo de los asbestos, ya que estos son químicamente iguales, en la naturaleza aparecen asociados y en muestras de mano poseen características similares. Para realizar un estudio ambiental, este dato es muy valioso ya que la lizardita y antigorita no presentan serios riesgos para la salud humana.

Con respecto al crisotilo, se pudo distinguir la morfología típica de los asbestos, con fibras rizadas, flexibles y blandas perfectas para hilar o tejer.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, a la cátedra de mineralogía de esta Universidad, a la Comisión de Investigaciones de la Provincia de Buenos Aires y al CONICET por el apoyo brindado. Agradecemos también la colaboración del Sr. Rodolfo Salomón en la compaginación de las láminas.

REFERENCIAS

Battista R., Speltini C., Choren H., Sota J., Carrizo E., 2006. Reciclado de residuos conteniendo asbestos. Transformación de fibras de asbestos por sinterizado en matriz cerámica. Reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) y de residuos de procesos (RP). PROCQMA-Universidad Tecnológica Nacional, San Rafael, Mendoza. ISBN 950-42-0056-7

International Centre for diffraction Data (ICDD), Powder Diffraction, 1994.

Klein, C., 1993. Health effects of mineral dusts. Reviews in mineralogy, vol. 9A. Mineralogical Society of America, Washington D. C..6 pp.

Oyarzún J., Lillo J., Oyarzun R., Andreani S., Canut de Bon C., Maturana H., 2009. Hallazgo de actinolita asbestiforme en desechos mineros de La Higuera, Región de Coquingo (Chile): Implicancias médico-ambientales. Minería Chilena N° 341, 142-146.

Rodríguez, E. J., 2004. Prohibición del asbesto en Argentina. RETEL (Revista de Toxicología en línea) N° 6.

Ross, M., 1981. Amphiboles and other hydrous pyriboles-mineralogy. En: Veblen, D.R. (Ed.), Reviews in mineralogy, vol. 9A. Mineralogical Society of America, Washington D. C..279 pp.

Skinner, H.C.W., Ross, M. y Frondel, C. (1988) Asbestos and Other Fibrous Materials. Oxford University Press, New York.

Veblen, D., Wylie, A., 1993. Health effects of mineral dusts. Reviews in mineralogy, vol. 9A. Mineralogical Society of America, Washington D. C..61 pp.

Wicks, F.J., Whittaker, E.J.W., 1975. A reappraisal of the structures of the serpentine minerals. The Canadian Mineralogist. 13, 227-243.