

Estudio composicional y textural de restos de vasijas de rocas blandas (*soft-stones*) procedentes del yacimiento arqueológico de Jhebel Buhays (Emirato Árabe Unido de Sharjah)

M. Pozo⁽¹⁾, J. Casas^(1,2), J.A. Medina⁽¹⁾ y J.A. Martín Rubí⁽³⁾

(1) Departamento de Química Agrícola., Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias. U.A.M. Cantoblanco 28049. Madrid.
E-mails: m.pozo@uam.es - ja.medina@uam.es

(2) Centro de Ciencias Medioambientales. C.S.I.C. Serrano 117. 28006 Madrid.
E-mail: j.casassainzdeaja@uam.es

(3) Instituto Geológico y Minero de España. c/ Calera, 1. Tres Cantos 28760. Madrid.
E-mail: ja.martin@igme.es

RESUMEN

Se han estudiado mediante técnicas mineralógicas, químicas y texturales, ocho muestras de vasijas de rocas blandas obtenidas en la excavación arqueológica española de Jhebel Buhais. Debido a las notables propiedades de tallado de estos materiales, se ha hecho un especial hincapié en sus rasgos texturales y de microfábrica. Los diagramas de rayos X permiten caracterizar las muestras como clorita casi pura. Las reflexiones $d(060)$ entre 1,565 and 1,568 Å indican un carácter trioctaédrico, aunque ocasionalmente pueden detectarse además pequeñas reflexiones indicando un componente dioctaédrico. Basándonos en los análisis químicos se calculó la siguiente fórmula promedio: $(\text{Si}_{5.78} \text{Al}_{2.22}) (\text{Al}_{2.13} \text{Fe}^{3+}_{0.93} \text{Fe}^{2+}_{0.34} \text{Ti}_{0.04} \text{Mg}_{8.07}) \text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$. Estas fórmulas permiten, teniendo en cuenta los diagramas de rayos X, clasificar las muestras como clinocloro, aunque con un contenido más alto en hierro en la muestra M-27. Texturalmente, se han diferenciado tres tipos de clorita: 1- Clorita equigranular. 2- Clorita inequigranular. 3- Clorita esferulítica. Los tipos 1 y 2 son texturas de reemplazamiento de rocas básicas-ultrabásicas, mientras que el tipo 3 se interpreta como una textura de neoformación. Los rasgos texturales de estas cloritas explican sus propiedades de tallado. Así, su pequeño tamaño de grano, el hábito laminar y la disposición de sus agregados formando fábricas abiertas que permiten la deformación continua (ductilidad), justifican plenamente su especial comportamiento mecánico. El origen de la clorita es especulativo pudiendo proceder tanto de las cercanas Montañas de Omán como del reconocido yacimiento de clorita de Tepe Yhayah (Irán).

Palabras clave: cloritas, Emirato de Sharjah, Jhebel Buhays, rocas blandas, texturas

Compositional and textural study of soft-stone vessel sherds from the Jhebel Buhays archaeological site (United Arab Emirate of Sharjah)

ABSTRACT

A selection of eight samples of soft-stone vessel fragments from the Spanish archaeological excavation at Jhebel Buhais have been studied by mineralogical, chemical and textural techniques. Because the noteworthy carving properties of these materials an especial emphasis is focused on their textural and microfabric features. X-ray diagrams characterize the samples as almost pure chlorite. The $d(060)$ reflections ranging between 1,565 and 1,568 Å indicate main trioctahedral character, although occasionally, small reflections suggesting a dioctahedral structure can be detected. On the basis of chemical analysis structural formulae have been calculated with an average formula: $(\text{Si}_{5.78} \text{Al}_{2.22}) (\text{Al}_{2.13} \text{Fe}^{3+}_{0.93} \text{Fe}^{2+}_{0.34} \text{Ti}_{0.04} \text{Mg}_{8.07}) \text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$. These formulae allow us to classify the samples as clinoclore, being noteworthy the higher iron content in sample M-27. From a textural point of view three types of chlorite have been differentiated: 1- Equigranular chlorite. 2- Inequigranular chlorite. 3- Spherulitic chlorite. Types 1 and 2 are replacement textures from basic-ultrabasic rocks, whilst type 3 is interpreted as a neoformation texture. The textural features of chlorite samples just explain their carving properties. Hence, the small grain size, the strong sheet-like habit and the aggregate assemblages forming open fabrics with evidences of continuous deformation (ductile), at a whole account for their especial mechanical behaviour. The origin of chlorite is speculative and might be sourced both in the near Oman Mountains or in the well known chlorite deposit of Tepe Yhayah (Iran).

Key words: chlorites, Emirate of Sharjah, Jhebel Buhays, soft-stones, textures

Introducción

En yacimientos arqueológicos de las culturas antiguas de Oriente Medio es común el hallazgo de útiles, principalmente vasijas, elaborados con materiales pétreos blandos (soft-stones) caracterizados por su facilidad para ser tallados. El estudio realizado por Khol *et al.* (1979) de 375 muestras procedentes del suroeste asiático puso de manifiesto que, aunque dentro del término "soft-stones" se incluyen diversos materiales, estos están constituidos principalmente por filosilicatos: talco-esteatita, serpentina y/o clorita. De este trabajo es de destacar que gran número de muestras procedentes del tercer y segundo milenio denominadas esteatita, eran realmente clorita, observándose que este material era uno de los más ampliamente utilizados en la región geográfica considerada.

En la Península de Omán son frecuentes los hallazgos arqueológicos de vasijas y otros útiles elaborados con rocas blandas de composición predominantemente clorítica. Aunque la clorita ya fue conocida y utilizada por las comunidades de la Edad del Bronce en el tercer milenio, fue a partir de la Edad del Hierro cuando su empleo alcanzó su máximo auge (Mouton, 1999). Este hecho, coincidió con un cambio importante en el comportamiento y hábito de vida de los antiguos pobladores de la región, que pasaron de ser nómadas al final del período Wadi Suq a sedentarios en la Edad del Hierro, lo que provocó una elevada cantidad de asentamientos, al menos desde el 800-700 a.C. (Córdoba, 1998). A lo largo de esta época la mayor concentración de asentamientos tuvo lugar en los diversos oasis que se desarrollaron al pie de las Montañas de Omán, donde el suministro de agua estaba garantizado, bien de forma natural o a través de los "falajs".

Próximo a uno de estos oasis se localiza la necrópolis de Jhebel Buhays de la que proceden las muestras estudiadas en este trabajo. El objetivo es caracterizar composicional y texturalmente muestras de rocas blandas (soft-stones) procedentes de fragmentos de vasijas recogidas por la misión arqueológica española (Pozo y Córdoba, 2002) en el Emirato de Sharjah (Emiratos Árabes Unidos). Con los datos obtenidos se pretende contribuir a comprender el origen y las causas, de carácter geológico, que justifican la amplia utilización y difusión de estos materiales por los pobladores de la Península de Omán y por extensión de áreas limítrofes del Golfo Pérsico.

Materiales y métodos

La zona de estudio se localiza en el Emirato de

Sharjah (Emiratos Árabes Unidos), dentro del oasis de Al-Madam (Fig. 1). Este oasis que forma parte de una banda de orientación N-S en la que se distribuyen los también oasis de Dhaid, Mleiha y al Ain, se halla muy próximo a las Montañas de Omán con las que enlaza hacia el este a través de un piedemonte. Al oeste del mismo se extienden los depósitos eólicos de dunas rojas recientes y entre ambos, actuando como una barrera protectora, se encuentra el Jhebel Buhays. Geológicamente, este cerro (jhebel) consiste en una estructura anticlinal desventrada y está constituido fundamentalmente por materiales carbonáticos perteneciente a la unidad E diferenciada por Glennie *et al.* (1973). Dicha unidad incluye depósitos marinos de edad cretácico terminal (Mastrichtense) a terciario, que en esta zona se disponen inconformes sobre rocas ultrabásicas de complejo ofiolítico del Manto de Semail (unidad D de Glennie *et al.*, 1973).

Las muestras estudiadas proceden de una pequeña necrópolis descubierta al pie de la falda oriental

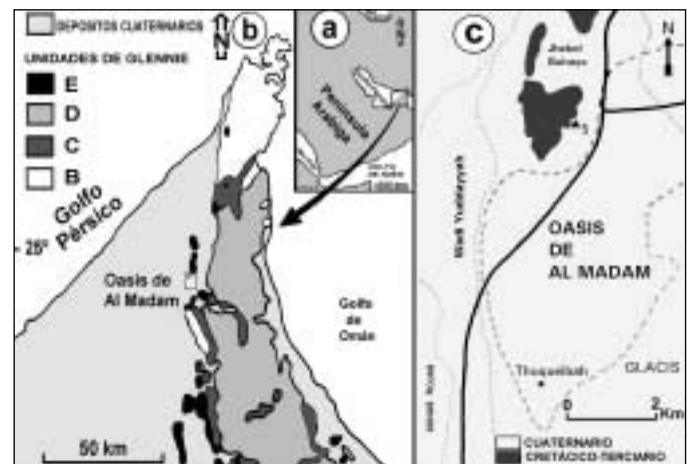


Fig. 1. a). Mapa regional mostrando la posición de los Emiratos Árabes Unidos y el Sultanato de Omán en la Península Arábiga. b). Situación del Oasis de Al Madam dentro de la geología de la zona, tomado de Glennie *et al.* (1973). Las unidades de estos autores contenidas en este mapa son: B: Pérmico-Cretácico autóctono. C: Pérmico-Cretácico alóctono (Unidad Hawasina). D: Cretácico (Manto ofiolítico de Semail). E: Cretácico final-Terciario. c). Localización del Jhebel Buhays al noroeste del Oasis de al-Madam. El número 1 señala la posición del yacimiento arqueológico donde se recogieron las muestras de vasijas elaboradas con "soft stones" Fig. 1. a). Regional map showing the situation of United Arab Emirates and Oman Sultanate in the Arabian Peninsula. b). Map indicating location of al-Madam Oasis within the zone geology as described by Glennie *et al.* (1973). The units of these authors cited in this map are: B: Autochthonous Permian-Cretaceous. C: Allochthonous Permian-Cretaceous (Hawasina Unit). D: Cretaceous (Ophiolitic Mantle of Semail). E: Late Cretaceous-Tertiary. c). Location of Jhebel Buhays to the northwest of al-Madam Oasis. Number 1 indicates the position of archaeological site where soft-stone vessel samples were collected

del Jhebel Buhays, junto al yacimiento denominado AM-32 donde se excavó una construcción que se dató como perteneciente al período islámico. La necrópolis consistía en pequeñas tumbas individuales formadas por acumulaciones pétreas que se disponían alrededor de la cavidad donde se había colocado el cadáver con su ajuar. A pesar de mostrar evidencias de saqueo, los restos cerámicos permitieron, a la misión hispano-francesa que la descubrió en 1994, datarlas como perteneciente al Hierro III, es decir entre el 600 y 300 a.C. (Benoist *et al.*, 1997).

Del muestreo realizado en la necrópolis se han seleccionado 8 fragmentos de vasijas elaboradas con rocas blandas (soft-stones) con el fin de confirmar su posible composición clorítica, tal y como han sido descritas "de visu" durante las excavaciones. En muestra de mano los restos de vasija (M-27, M-33, M-34, M-38, M-39, M-44, y M-45) presentan colores que van de gris verdoso a casi negro (6GY4/1 a 5GY6/1) mostrando a simple vista cierto hábito micáceo de grano fino. El brillo es graso a vítreo. Una excepción es la muestra M-46 de color y aspecto distinto a las anteriores, ya que presenta mayor dureza (vitrificación) y característico color anaranjado rojizo (10R4/6) que, al romperla, muestra en su interior un núcleo más oscuro.

Todas las muestras se han estudiado mediante métodos mineralógicos (difracción de rayos X, análisis térmico diferencial y termogravimétrico), químicos (fluorescencia de rayos X, absorción atómica) y petrográficos (microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido con análisis puntual EDX).

Con el fin de comparar con materiales naturales del entorno próximo al yacimiento se ha estudiado mediante DRX y MEB-EDX una muestra de roca procedente de wadi Dafta (WD), de aspecto y dureza similar al del material que constituye los restos de vasijas. Ante la imposibilidad de realizar directamente un muestreo en afloramientos de la zona, esta muestra fue suministrada por el Museo Arqueológico de Sharjah como representativa de una roca blanda no tallada y recogida en afloramientos de la localidad mencionada, en las cercanas Montañas de Omán y no demasiado alejada de la zona de estudio.

Mineralogía y petrografía

Difracción de Rayos X

Los diagramas de rayos X sobre polvo desorientado indican que todas las muestras de vasijas están formadas por clorita prácticamente pura (Fig. 2a). Esto se ha confirmado por la persistencia de los espacia-

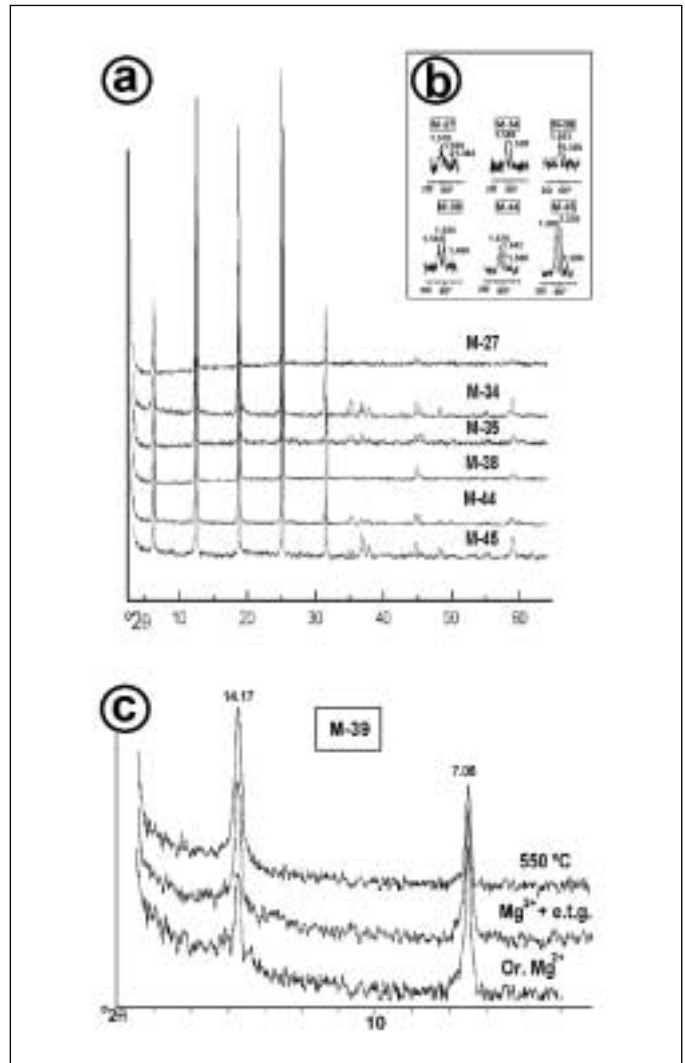


Fig. 2. Difractogramas de rayos X: a). Diagramas de polvo desorientado de varias muestras. b). Reflexiones correspondientes al espaciado $d(060)$, se observa el carácter principalmente trioctaédrico de las muestras. c). Difractogramas obtenidos a partir de agregados orientados de la muestra M-39 tras los distintos tratamientos

Fig. 2. X-Ray diffractograms: a). Randomly oriented powder of several samples. b). Reflections corresponding to the spacing $d(060)$, the mainly trioctahedral character of the samples is observed. c). Difractograms from oriented aggregates of M-39 sample after the different treatments

dos en los diagramas de muestra glicolada y el reforzamiento del espaciado a 14 Å en las muestras calcinadas a 550°C (Fig. 2c).

La intensidad máxima de las reflexiones corresponde al espaciado 002, situado entre 7.048 y 7.091 Å. (Fig. 2a). El siguiente en intensidad se identifica con $d(004)$ y se presenta entre 3.530 y 3.548 Å. Con menores intensidades aparecen el espaciado correspondiente a 003 que oscila entre 4.708 y 4.731 Å. y el $d(001)$ entre 13.985 y 14.13 Å.

Las muestras exhiben, en general, carácter trioc-taédrico, dada la posición del espaciado d(060) comprendido entre 1,565 y 1,568 Å (Fig. 2b), aunque a veces se presentan reflexiones más débiles que parecen indicar un cierto carácter dioctaédrico.

Por otra parte, las intensidades relativas de las distintas reflexiones (tabla 1), en especial las comprendidas entre 2.01 y 2.66 Å se asemejan fundamentalmente a las correspondientes al politipo IIb, de acuerdo con las características descritas por Bailey (1980).

Los diagramas de polvo de rayos X no permiten habitualmente distinguir entre empaquetados regulares y semidesordenados dentro de cada tipo estructural a causa de las débiles intensidades de los espaciados diagnóstico $k \# 3n$ siendo necesarios estudios de monocristal. Sin embargo, con el propósito de obtener una idea de los parámetros de celda hemos calculado los valores de c_0 a partir de medidas de espaciados d(00l) y de b_0 a partir de d(060). Aplicando estos valores a los distintos espaciados d(h0l) leídos en los difractogramas se han calculado, de modo aproximado, los siguientes parámetros de celdilla:

M-44: $a_0 = 5.29 \text{ \AA}$; $b_0 = 9.26 \text{ \AA}$; $c_0 = 14.169 \text{ \AA}$; $\beta = 97.21^\circ$
 M-45: $a_0 = 5.23 \text{ \AA}$; $b_0 = 9.22 \text{ \AA}$; $c_0 = 14.15 \text{ \AA}$; $\beta = 97.31^\circ$
 M-27: $a_0 = 5.29 \text{ \AA}$; $b_0 = 9.25 \text{ \AA}$; $c_0 = 14.28 \text{ \AA}$; $\beta = 97.11^\circ$

Una excepción, dentro de las vasijas, es la muestra M-46, en ésta desaparecen las reflexiones del filosilicato, hay evidencia de desarrollo de fases amorfas y aparecen piroxeno y olivino como fases neofor-madas de alta temperatura. Estas características indican que el material sufrió la acción de temperaturas superiores a los 800°C (Brindley y Lemaitre, 1987), resultado de su empleo en actividades domésticas o como consecuencia de un incendio.

El análisis de la muestra WD (wadi Dafta) muestra una composición mineralógica totalmente diferente ya que está constituida por un filosilicato 1:1 trioctaédrico del grupo de la serpentina con un espaciado a 7.29 Å y d(060) a 1.534 Å. (Fig. 3).

Textura y microfábrica

El estudio petrográfico indica que el principal constituyente de las muestras es clorita, no pleocroica, pre-

| M-33 | | M-44 | | M-45 | | M-39 | | M-27 | | M-34 | | M-38 | |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|------|-------|------|-------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 14.06 | 682 | 14.07 | 496 | 13.93 | 602 | 14.13 | 570 | 13.985 | 427 | 14.10 | 827 | 13.93 | 572 |
| 7.08 | 1563 | 7.070 | 1277 | 7.048 | 1208 | 7.06 | 1842 | 7.059 | 1422 | 7.091 | 2047 | 7.036 | 1797 |
| 4.73 | 1652 | 4.720 | 1006 | 4.712 | 1135 | 4.708 | 1595 | 4.720 | 682 | 4.730 | 1228 | 4.70 | 1361 |
| | | | | | | | | 4.623 | 136 | | | 4.575 | 97 |
| | | | | | | | | 4.583 | 132 | | | 3.530 | 2058 |
| 3.55 | 2052 | 3.548 | 1441 | 3.540 | 1364 | 3.535 | 2100 | 3.542 | 1284 | 3.548 | 1656 | 3.530 | 2058 |
| 2.84 | 660 | 2.839 | 386 | 2.832 | 386 | 2.831 | 626 | 2.838 | 320 | 2.842 | 347 | 2.826 | 511 |
| | | | | | | | | 2.646 | 141 | | | | |
| 2.587 | 80 | | | 2.581 | 162 | 2.578 | 138 | | | 2.585 | 124 | 2.578 | 94 |
| 2.547 | 129 | 2.547 | 73 | 2.538 | 275 | 2.537 | 149 | 2.546 | 144 | 2.543 | 128 | | |
| 2.438 | 117 | 2.446 | 65 | 2.441 | 194 | 2.438 | 138 | 2.444 | 139 | 2.438 | 130 | | |
| 2.376 | | 93 | 2.382 | 60 | 2.381 | 115 | | 2.388 | 148 | 2.374 | 110 | | |
| 2.363 | | 108 | | | | | | | | | | | |
| 2.284 | 69 | | | | | | | | | | | | |
| 2.262 | 79 | 2.264 | 54 | 2.255 | 119 | | | 2.249 | 138 | | | | |
| 2.030 | 192 | 2.031 | 95 | 2.027 | 137 | | | | | | | | |
| 2.003 | 127 | | | 2.003 | 235 | 2.001 | 152 | 2.028 | 161 | 2.031 | 132 | 2.020 | 158 |
| 1.980 | 132 | 2.000 | 112 | | | | | | | | | | |
| 1.890 | 83 | 1.883 | 46 | 1.886 | 98 | | | 1.889 | 137 | 1.891 | 108 | 1.878 | 92 |
| 1.824 | 98 | 1.821 | 44 | 1.822 | 134 | 1.817 | 122 | | | | | | |
| 1.568 | 121 | 1.570 | 72 | 1.570 | 169 | 1.563 | 138 | 1.569 | 143 | 1.569 | 134 | | |
| | | | | | | | | 1.566 | 138 | | | | |
| 1.545 | 91 | 1.544 | 66 | | | | | | | | | | |
| 1.541 | 103 | | | 1.538 | 155 | 1.538 | 146 | | | 1.539 | 115 | | |
| 1.506 | 42 | | | 1.498 | 112 | | | | | | | | |
| 1.423 | 112 | 1.422 | 68 | 1.420 | 72 | 1.418 | 126 | | | 1.422 | 118 | | |
| 1.396 | 123 | 1.398 | 72 | 1.396 | 141 | 1.394 | 134 | 1.379 | 85 | | | | |

Tabla 1. Espaciados e intensidades de los picos de rayos X medidos en las muestras de clorita
 Table 1. Spacings and intensities from X-ray peaks measured in the chlorite samples

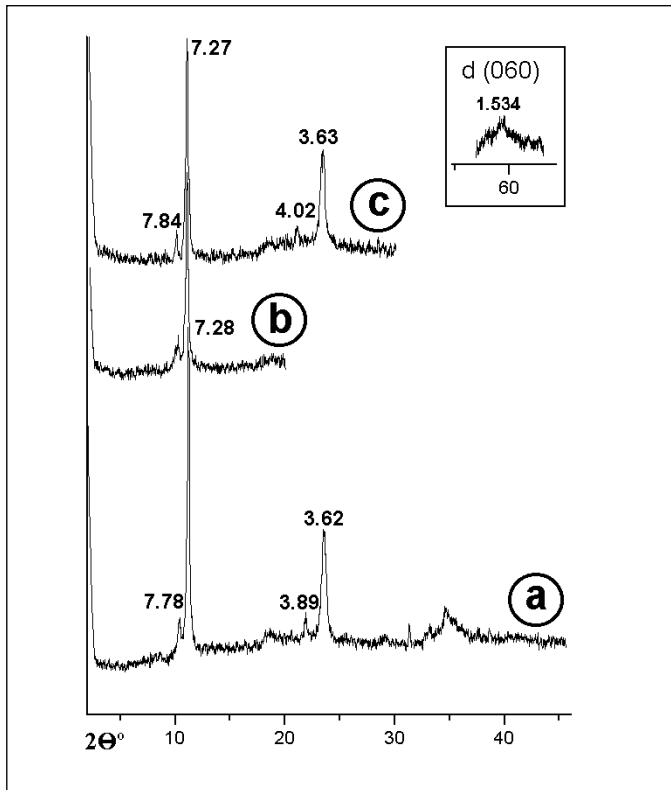


Fig. 3. Difractogramas de rayos X de la muestra procedente de Wadi Dafta. a) Diagrama de muestra total en polvo desorientado. b) Preparación orientada de muestra saturada en Mg^{2+} . c) Preparación orientada de muestra tratada con etilenglicol
 Fig. 3. X-ray diagrams of sample from Wadi Dafta. a) Bulk sample randomly oriented. b) Oriented slide of Mg^{2+} -saturated sample. c) Oriented slide of sample treated with ethylene glycol

sentando colores de interferencia de primer orden. Desde el punto de vista textural se han diferenciado tres tipos:

- Tipo 1. (M-33, 34, 38, 39, 44 y 46). Se observan texturas constituidas por morfologías equigranulares de agregados de clorita mostrando colores de polarización gris de primer orden, alcanzando ocasionalmente el amarillo. Estos granos (Fig. 4a) presentan tamaños de hasta 2,5 mm (tamaño medio 1,5 mm) destacando en ellos la existencia de alineaciones paralelas no coincidentes en todos los casos con los planos de exfoliación de la clorita.

Recubriendo estas morfologías se reconocen escasos agregados de clorita con hábito fibrorradial que se disponen entrelazados originando un auténtico entramado. Se identifican también algunos opacos dispersos, de pequeño tamaño (< 0,12 mm) y morfologías alargadas de hasta 0,6 mm. Asimismo se han identificado granos subeuhédricos de titanita con tamaños que oscilan entre 0,1 y 0,25 mm.

- Tipo 2. (M-45). Presenta una textura con tendencia inequigranular en la que se reconocen morfologías grandes flotando en una masa de cristales de menor tamaño, todos ellos de clorita y con color de polarización gris de primer orden. Los granos mayores pueden alcanzar los 2 mm (tamaño medio 1 mm) y presentan en su interior aspecto granular con mosaicos de cristales con contactos muy irregulares y pequeño tamaño (<0,05 mm), destacando la ausencia de orientaciones o desarrollo de hábito fibroso (Fig. 4 b y c). La población de clorita de menor tamaño (0,5 mm) se presenta en agregados fibrorradiales con morfología de abanico, entrelazándose unos con otros de forma similar a lo mencionado en la textura 1. Presenta frecuentes inclusiones de granos euhédricos prismáticos, de color amarillo y pequeño tamaño (25 μm) que se identifican como rutilo.
- Tipo 3. (M-27). Su textura es muy distinta a la de las dos anteriores. Se reconocen agregados fibrorradiales de tipo esferoidal unidos entre sí, no observándose otras formas de clorita (Fig. 4d). Los esferulitos pueden alcanzar 0,75 mm, siendo su tamaño medio 0,5 mm. Destaca la frecuente presencia de titanita con opacos asociados en su interior, pudiendo alcanzar tamaños de 0,2 mm (Fig. 4e).

Los tipos 1 y 2 muestran texturas indicativas del reemplazamiento de una roca ígnea fanerítica, con abundantes ferromagnesianos, donde los granos corresponden a biotita, anfíboles y/o piroxenos probablemente asociados a facies de diques (doleritas). La población de menor tamaño, presente principalmente en los tipos 2 y 3, sería posterior y podría ser el resultado de la cristalización (neoformación) de clorita a partir de fluidos hidrotermales, los agregados esferulíticos podrían relacionarse con la alteración hidrotermal de una roca peridotítica.

El examen mediante microscopía electrónica de barrido puso de manifiesto que la clorita de las vasijas está formada por láminas, cuyas dimensiones sobrepasan a veces las 500 μm de extensión (Fig. 5a) y llegan a 1 μm de espesor, que forman bloques compactos, no orientados entre sí, sino imbricados unos con otros de forma casi perfecta, lo que hace que la porosidad interlaminar sea casi inexistente y la única que se observa, aunque escasa, es entre los bloques. (Fig. 5b). Las láminas y bloques, examinados en detalle, se presentan como un material hojoso, exfoliable y sin embargo plástico, con propiedades mecánicas peculiares que se deducen de la observación de abundantes láminas deformadas sin ruptura, amoldadas a los espacios libres cuando

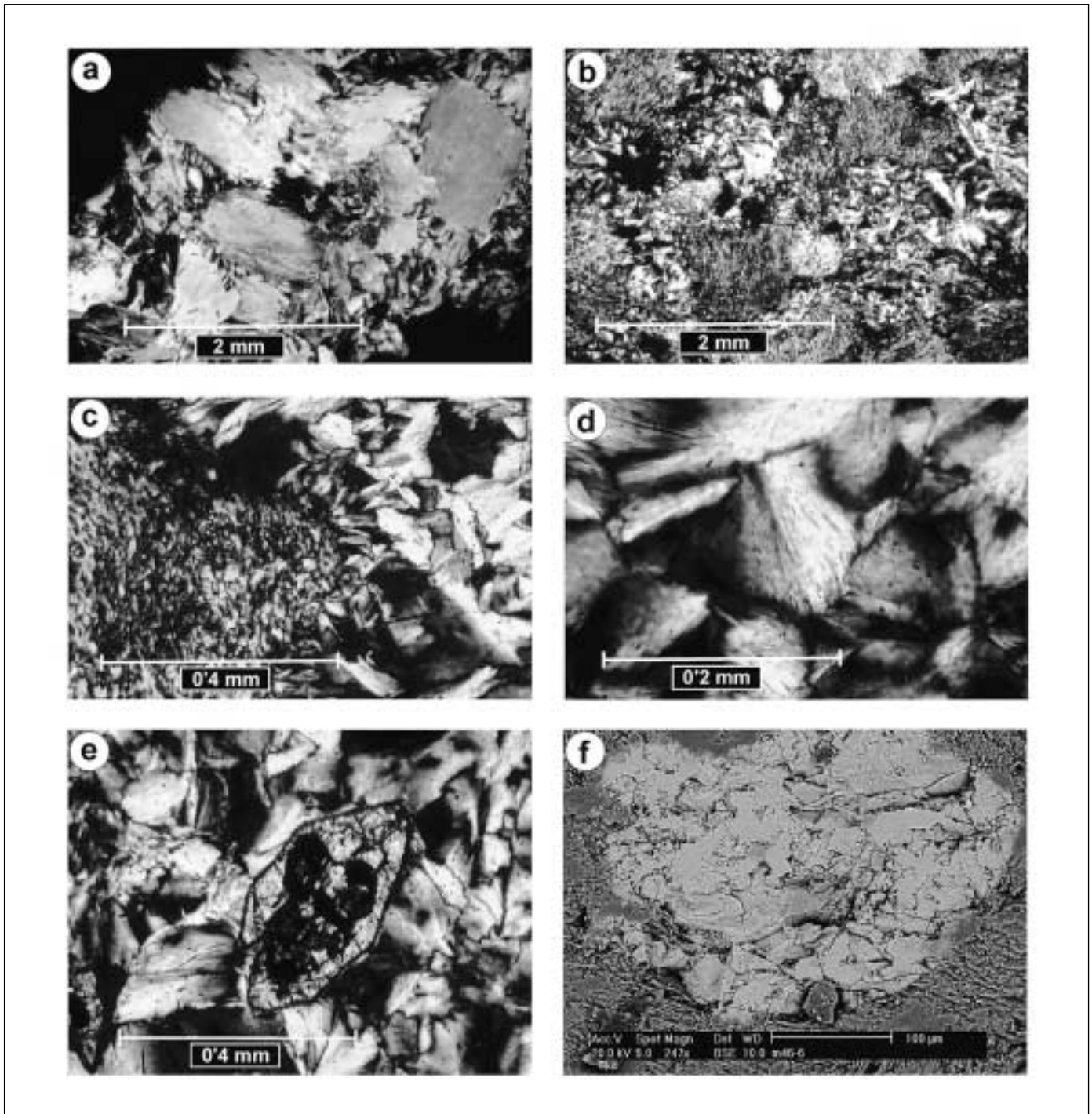


Fig. 4. a). Tipo 1. textura equigranular mostrando granos de clorita reemplazando minerales ferromagnesianos. b). Tipo 2. textura inequigranular. La clorita se presenta en granos de reemplazamiento formados por cristales de pequeño tamaño. Alrededor de estos granos se observan agregados de clorita de grano fino. c). Tipo 2. detalle del contacto entre la clorita de las morfologías de reemplazamiento y de la matriz de grano fino. d). Tipo 1. Textura esferulítica. Los agregados de clorita muestran un hábito fibrorradial. e). Inclusión euedral de titanita dentro de la masa de clorita. f). Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de un grano rico en titanio (gris claro) incluido en los agregados de clorita (gris oscura)

Fig. 4. a). Type 1. Equigranular texture showing chlorite grains replacing ferromagnesian minerals. b). Type 2. Inequigranular texture. Chlorite occurs as large replacement grains made-up of small sized crystals. Fine-grained chlorite aggregates surrounding these grains are observed. c). Type 2. Close-up of chlorite boundary between replacement morphologies (ghosts of ferromagnesian minerals) and the fine-grained matrix. d). Type 1. Spherulitic texture. Chlorite aggregates exhibit fibrorradial habit. e). Euhedral titanite inclusion within the chlorite groundmass. f). BSE image of Ti-rich grain (light grey) as inclusion in chlorite aggregates (dark grey)

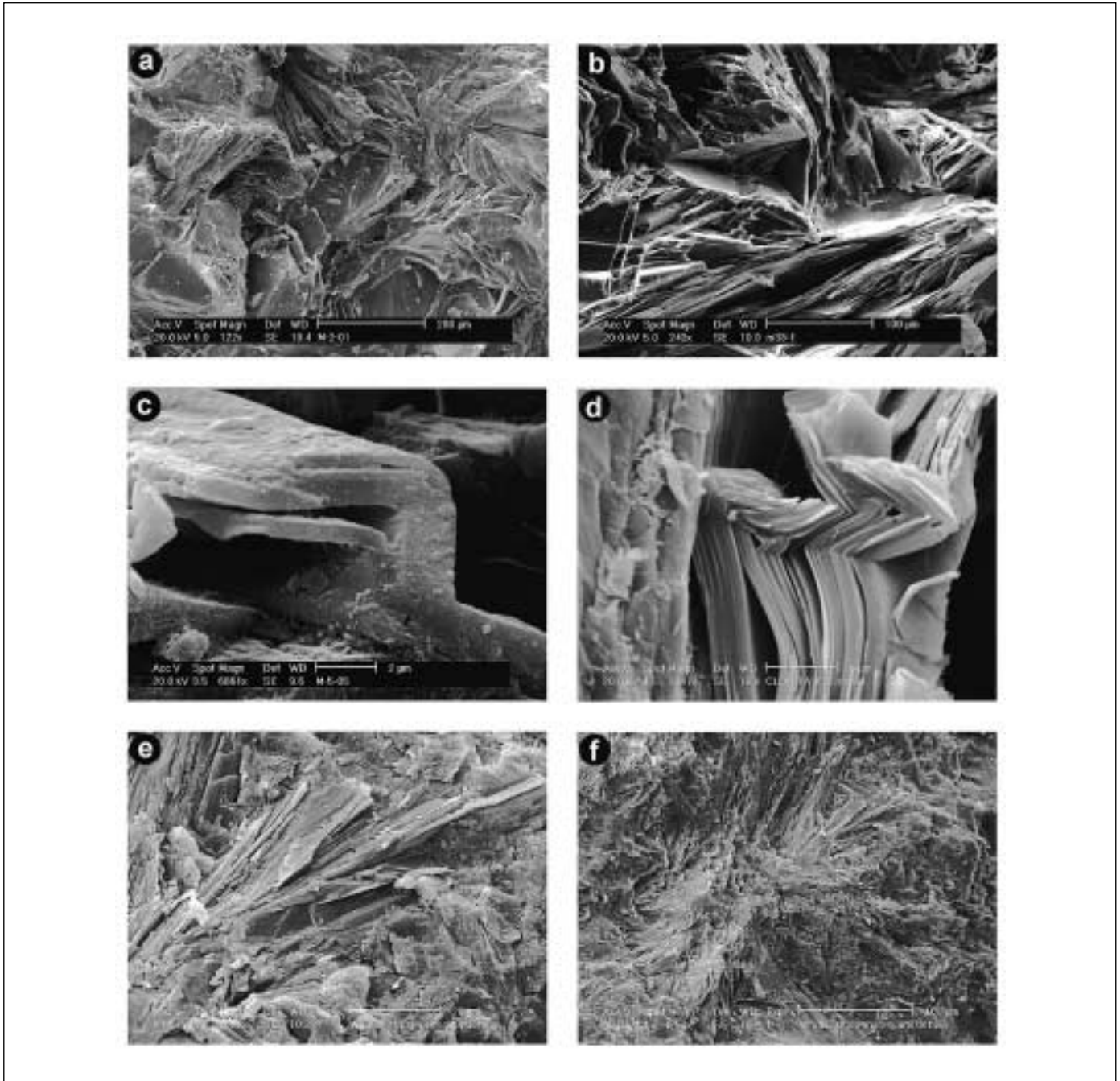


Fig. 5. a). Imbricación prácticamente total de láminas de clorita con distinta orientación. Nótese el aspecto compacto del material. b). Agregados de cristales de clorita con hábito laminar dispuestos aleatoriamente. Obsérvese la disposición cara-borde de los contactos entre microagregados dejando espacios que durante el tallado actúan como sitios de acomodación. c). Detalle de la deformación plástica en ángulo recto de la clorita que pone de manifiesto su peculiar comportamiento mecánico. d). Detalle de la deformación plástica sin ruptura de las láminas de clorita. Es destacable el carácter local del comportamiento mecánico de las mismas. e) Serpentina procedente de Wadi Dafta. Destaca el hábito fibroso-tabular de este material. f). Aspecto masivo de la serpentina de Wadi Dafta. Localmente la forma de los granos sugiere pseudomorfismo de los minerales ferromagnesianos procedentes de las rocas básicas-ultrabásicas alteradas

Fig. 5. a). Almost complete assemblage of chlorite laminae with different orientations. The massive aspect of aggregates can be observed. b). Aggregates made-up of chlorite crystals with randomly oriented laminar habit. It can be observed disposition face-edge of boundaries between microaggregates, leaving spaces that during the carving might act as accommodation sites. c). Detail of plastic deformation in right angle of chlorite laminae. It shows the characteristic mechanical behaviour of these laminae. d). Close-up of plastic deformation without fracture of chlorite laminae. It is noteworthy the local character of mechanical behaviour of the laminae. e). Serpentine collected from Wadi Dafta. A fibrous-tabular habit can be observed in this material. f). Massive appearance of serpentinite from Wadi Dafta. Locally the grain shape suggests pseudomorphism of ferromagnesian minerals from altered basic-ultrabasic rocks

han sido sometidas, aparentemente, a esfuerzos mecánicos. (Fig. 5c y d). La facilidad de exfoliación de la clorita unida a su tenacidad, la disposición en bloques de los cristales y su comportamiento plástico, hacen que el material pueda ser fácilmente tallado y explica su utilización en la fabricación de vasijas.

El estudio mediante análisis EDX ha permitido localizar en el interior de las láminas de clorita inclusiones (Fig. 4f) que presentan anomalías en algún elemento químico, principalmente titanio asociado a hierro, lo que se correspondería con pequeñas inclusiones de titanita y rutilo, minerales ya identificados en el estudio petrográfico en lámina delgada.

El estudio de la muestra de Wadi Dafta (WD) muestra cristales de serpentina con tendencia local al hábito fibroso o tabular, que predomina sobre el hábito laminar (Fig. 5e), y que se asocian a otras morfologías de aspecto masivo que sugieren pseudomorfos de las fases mineralógicas de la roca básica-ultrabásica alterada (Fig. 5f). El análisis puntual (EDX) de las zonas fibrosas y masivas da una composición similar, con ligeras variaciones en la proporción de magnesio y sílice: SiO₂ (42-47%), Al₂O₃ (6%), MgO (30-35%) y FeO (16%).

Análisis térmico diferencial

Los gráficos de los análisis térmicos (ATD-TG) corresponden a los típicos de las cloritas, aunque muestran en detalle dos comportamientos térmicos ligeramente diferentes. El primero se observa en los tipos texturales 1 y 2 (Fig. 6a), y se caracteriza por presentar endotérmicos en torno a 600 y 840°C y un exotérmico alrededor de 875°C. El segundo corresponde al tipo textural 3 (Fig. 6b) y presenta endotérmicos en torno a 675°C, un doblete entre 780 y 805°C y un exotérmico próximo a 860°C.

Estos comportamientos térmicos son característicos de las cloritas trioctaédricas: el primer endotérmico corresponde a la deshidroxilación de la capa interlaminar, el segundo se justificaría por la pérdida de los dos grupos hidróxilo de la capa octaédrica 2:1 y el exotérmico entre 850-900°C por la neoformación de olivino.

Variaciones, a veces complejas, como las observadas en la morfología de las curvas pueden deberse al tamaño de partícula o incluso a cambios en la composición, por ejemplo como resultado del reemplazamiento de magnesio por hierro (Mackenzie, 1970).

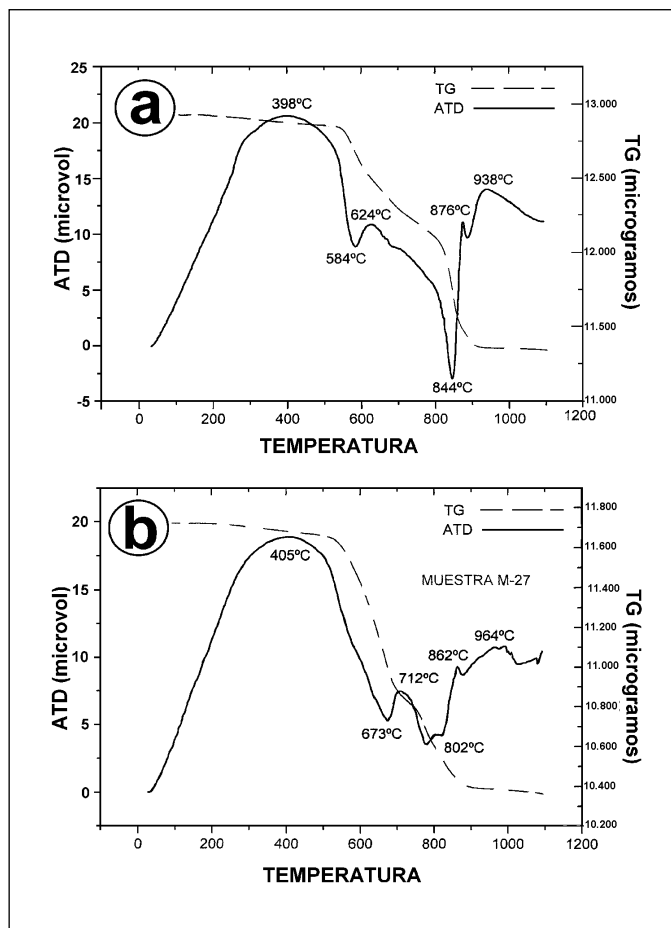


Fig. 6. a) Curvas ATD-TG de una muestra representativa de los tipos texturales 1 y 2. b). Curvas ATD-TG de la muestra representativa del tipo textural 3

Fig. 6. a) DTA-TG curves of a representative sample of textural types 1 and 2. b). DTA-TG curves of the representative sample of textural type 3

Características químicas

Los análisis químicos realizados en estas muestras se representan en la tabla 2a. El análisis de elementos mayoritarios confirma el carácter fundamentalmente trioctaédrico ya observado en el estudio por DRX, siendo el magnesio el catión octaédrico más abundante, con porcentajes que oscilan entre el 27,26 y el 30,91, excepto en la muestra M-27 en que sólo se presenta en un 22,8%. Por lo que respecta a esta última muestra, hay que destacar su elevado porcentaje en hierro, principalmente Fe³⁺. Los bajos contenidos en CaO, Na₂O y K₂O se justificarían como originados por contaminación.

Con base en estos análisis se han calculado las fórmulas estructurales (tabla 2b), quedando la fórmula estructural promedio establecida en los siguientes

términos: $(\text{Si}_{5.78} \text{Al}_{2.22}) (\text{Al}_{2.13} \text{Fe}^{3+}_{0.93} \text{Fe}^{2+}_{0.34} \text{Ti}_{0.04} \text{Mg}_{8.07}) \text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$. Se observa una sustitución de Al por Si similar en todas las muestras, ya que oscila entre 2,11 y 2,31. El aluminio octaédrico varía entre 1,77 y 2,42, el Fe^{3+} entre 1,98 y 0,46 y el magnesio entre 6,60 y 8,62. Existe gran similitud en la composición química de las muestras excepto, como ya se indicó, en la M-27 que presenta un porcentaje más alto de Fe tanto trivalente como divalente, descendiendo correlativamente el contenido en Mg. Estas variaciones se reflejan en el gráfico $\text{Al}+\text{Fe}^{3+}$ vs. $\text{Fe}^{2+}+\text{Mg}$ (Fig. 7a) con todas las muestras agrupadas excepto la M-27 cuya fórmula estructural sería: $(\text{Si}_{5.84} \text{Al}_{2.16}) (\text{Al}_{1.77} \text{Fe}^{3+}_{1.98} \text{Fe}^{2+}_{0.71} \text{Ti}_{0.06} \text{Mg}_{6.60}) \text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$. La fórmula promedio del resto sería: $(\text{Si}_{5.78} \text{Al}_{2.22}) (\text{Al}_{2.18} \text{Fe}^{3+}_{0.77} \text{Fe}^{2+}_{0.29} \text{Ti}_{0.04} \text{Mg}_{8.32}) \text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$.

Estas composiciones químicas, junto con los diagramas de rayos X antes descritos, permiten clasificar las muestras como clinocloro, aunque la M-27 (textura de tipo 3) presenta una composición distinta,

con mayores contenidos en hierro y más bajos en magnesio, como refleja su fórmula estructural, situándose en una zona más periférica dentro del campo del clinocloro (Fig. 7b y c).

En la tabla 2c de análisis de elementos traza sólo se reflejan aquellos con contenidos superiores al límite de detección. Se observan valores relativamente elevados correspondientes a cromo y níquel, lo que es coherente con el origen básico o ultrabásico de las rocas cloritizadas, donde son frecuentes los minerales conteniendo estos metales.

Consideraciones geológicas y aspectos genéticos

El origen y área fuente de materiales cloríticos es, a veces, difícil de precisar dado que este mineral se puede formar en contextos geológicos tan dispares como el diagenético, el metamórfico o el hidrotermal. La pureza y rasgos petrográficos de la clorita estudia-

| Muestra | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | CaO | TiO ₂ | MnO | K ₂ O | MgO | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O |
|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|-------|-------------------|-------------------------------|------------------|
| M-27 | 30.08 | 17.78 | 13.57 | 4.37 | 0.37 | 0.41 | 0.07 | 0.03 | 22.80 | 0.02 | 0.03 | 10.14 |
| M-34 | 31.16 | 18.54 | 4.89 | 2.20 | 0.09 | 0.34 | 0.02 | 0.02 | 30.35 | 0.03 | 0.02 | 12.09 |
| M-38 | 29.74 | 20.08 | 6.79 | 3.05 | 0.47 | 0.34 | 0.03 | 0.06 | 17.26 | 0.04 | - | 11.81 |
| M-39 | 30.74 | 20.06 | 4.40 | 1.09 | 0.23 | 0.31 | 0.02 | 0.04 | 30.67 | 0.02 | 0.03 | 12.34 |
| M-44 | 30.53 | 19.13 | 7.52 | 1.76 | 0.22 | 0.30 | 0.03 | 0.08 | 28.70 | 0.03 | 0.02 | 11.60 |
| M-45 | 30.85 | 21.07 | 3.29 | 0.89 | 0.06 | 0.11 | 0.01 | 0.05 | 30.91 | 0.04 | - | 12.69 |
| M-46 | 32.53 | 21.44 | 5.56 | 2.51 | 2.40 | 0.32 | 0.04 | 0.06 | 31.35 | 0.08 | 0.02 | 3.35 |

| | | R ³⁺ (VI) | R ²⁺ (VI) | ∑(VI) | Si |
|------|---|----------------------|----------------------|-------|------|
| M-27 | $(\text{Si}_{5.84} \text{Al}_{2.16}) (\text{Al}_{1.77} \text{Fe}^{3+}_{1.98} \text{Fe}^{2+}_{0.71} \text{Ti}_{0.06} \text{Mg}_{6.60} \text{Mn}_{0.01})$ | 3.75 | 7.32 | 0.88 | 5.84 |
| M-34 | $(\text{Si}_{5.89} \text{Al}_{2.11}) (\text{Al}_{2.02} \text{Fe}^{3+}_{0.70} \text{Fe}^{2+}_{0.35} \text{Ti}_{0.05} \text{Mg}_{8.55})$ | 2.92 | 8.90 | 0.33 | 5.89 |
| M-38 | $(\text{Si}_{5.69} \text{Al}_{2.31}) (\text{Al}_{2.22} \text{Fe}^{3+}_{0.98} \text{Fe}^{2+}_{0.49} \text{Ti}_{0.05} \text{Mg}_{7.77})$ | 3.20 | 8.26 | 0.49 | 5.69 |
| M-39 | $(\text{Si}_{5.78} \text{Al}_{2.22}) (\text{Al}_{2.22} \text{Fe}^{3+}_{0.62} \text{Fe}^{2+}_{0.17} \text{Ti}_{0.04} \text{Mg}_{8.59})$ | 2.84 | 8.76 | 0.36 | 5.78 |
| M-44 | $(\text{Si}_{5.77} \text{Al}_{2.23}) (\text{Al}_{2.03} \text{Fe}^{3+}_{1.07} \text{Fe}^{2+}_{0.28} \text{Ti}_{0.04} \text{Mg}_{8.09})$ | 3.10 | 8.37 | 0.49 | 5.77 |
| M-45 | $(\text{Si}_{5.77} \text{Al}_{2.23}) (\text{Al}_{2.42} \text{Fe}^{3+}_{0.46} \text{Fe}^{2+}_{0.14} \text{Ti}_{0.02} \text{Mg}_{8.62})$ | 2.88 | 8.76 | 0.34 | 5.77 |
| M-46 | $(\text{Si}_{5.76} \text{Al}_{2.27}) (\text{Al}_{2.24} \text{Fe}^{3+}_{0.74} \text{Fe}^{2+}_{0.26} \text{Ti}_{0.04} \text{Mg}_{8.28})$ | 2.98 | 8.54 | 0.40 | 5.76 |

| Muestra | Co | Cr | Ni | Pb | Sc | V | Zn |
|---------|-----|------|------|-----|----|-----|----|
| M-27 | 138 | 576 | 430 | 83 | 40 | 320 | 43 |
| M-38 | 137 | 431 | 871 | <10 | 28 | 279 | 12 |
| M-39 | 72 | 1532 | 1179 | <10 | 34 | 152 | 26 |
| M-44 | 105 | 323 | 758 | 41 | 42 | 240 | 21 |
| M-45 | 53 | 1176 | 1298 | <10 | 16 | 152 | 46 |

Tabla 2. a). Análisis químicos de elementos mayores expresados en % de óxidos. Los análisis se efectuaron por FRX excepto el Na analizado por absorción atómica. El Fe total analizado por FRX se expresó como Fe₂O₃, estableciendo la proporción Fe³⁺/Fe²⁺ por volumetría; b). Fórmulas mineralógicas. (Calculadas sobre O₂₀ (OH)₁₆); c). Análisis químicos de elementos traza realizados mediante ICP óptico. Los resultados se expresan en partes por millón

Table 2. a). Chemical analysis of major elements expressed in % of oxides. Analyses were realised by XRF except the Na analysed by atomic absorption. The total Fe analysed by XRF was expressed as Fe₂O₃, establishing the Fe³⁺/Fe²⁺ ratio by volumetric methods; b). Mineralogical formulas. (Calculated on the basis of O₂₀ (OH)₁₆); c). Chemical analysis of elements made up by means of optical ICP. Results are expressed in parts by million

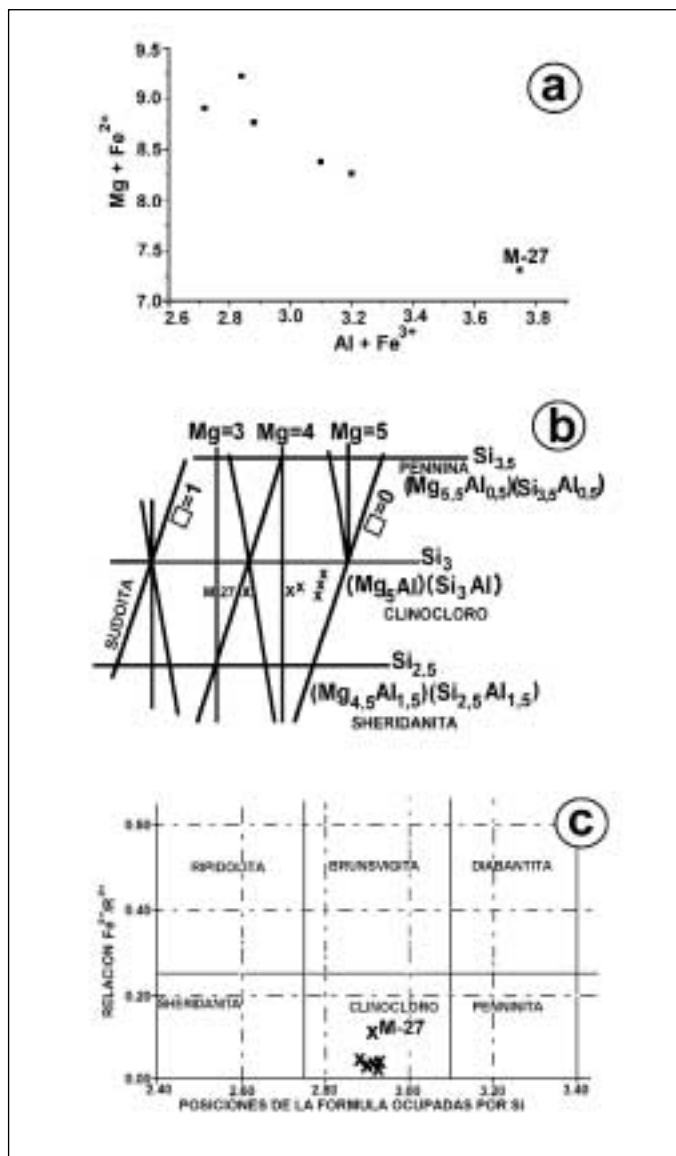


Fig. 7. Quimismo y clasificación. a). Proyección de las muestras en un diagrama $Mg+Fe^{2+}/Al-Fe^{3+}$. b). Clasificación de las muestras representadas sobre parte del diagrama de Wiewiora y Weiss (1990). c). Clasificación de las muestras según el gráfico de Foster (1962)

Fig. 7. Chemical composition and classification. a). Projection of the samples in a $Mg+Fe^{2+}/Al-Fe^{3+}$ diagram. b). Classification of the samples represented on part of the diagram of Wiewiora and Weiss (1990). c). Classification of the samples according to the graphic of Foster (1962)

da sugieren para ella un origen ligado a la alteración hidrotermal de minerales ferromagnesianos por lo que los materiales afectados, y por consiguiente el área madre, deberían tener una composición básica o ultrabásica. La abundancia relativa de elementos químicos como cromo y níquel apoyarían este origen. La acción de fluidos hidrotermales, a través de fracturas

y diques, podría ser responsable del desarrollo de depósitos de clorita de elevada pureza. En este sentido se han sugerido como áreas fuente de las cloritas las cercanas Montañas de Omán o los depósitos de clorita de Tepe Yhaya en Irán (Pozo y Córdoba, 2002). El segundo mencionado es un conocido centro de producción de clorita desde el tercer milenio, en su época el más importante centro de producción para la elaboración de vasijas que fueron, posteriormente, exportadas por toda el área mediterránea (Khol 1976).

Por las características geológicas de la región (Montañas de Omán), la unidad que potencialmente puede contener depósitos de clorita es la correspondiente al Manto de Semail, constituido por ofiolitas (unidad D de Glennie et al., 1973). Esta unidad de edad cretácica y carácter alóctono incluye fundamentalmente rocas magmáticas con episodios sedimentarios subordinados.

Dentro de las ofiolitas del manto de Semail es posible diferenciar dos unidades principales con materiales de composición básica o ultrabásica que, por alteración hidrotermal, podrían originar acumulaciones de clorita: la secuencia mantélica y la secuencia cortical (David et al., 1990).

La secuencia mantélica (Fig. 8) está formada por una potente acumulación (hasta 12 km) de materiales peridotíticos tectonizados, en los que predominan los términos ricos en ortopiroxenos (harzburgita) aunque también abundan Iherzolita y dunita. Por su parte, la secuencia cortical con una potencia entre 4 y 9 km, está formada en su base por rocas estratificadas compuestas principalmente de gabros y en menor proporción de materiales peridotíticos (dunita y wehrlita), que pasan superiormente a rocas plutónicas no estratificadas (gabro, diorita, trondjemita), después a un complejo de diques planares de composición básica y finalmente a una secuencia de lavas almohadilladas intercaladas y recubiertas por sedimentos pelágicos.

Toda esta enorme acumulación de rocas básicas y ultrabásicas aparece cortada por numerosos diques, siendo frecuente la existencia de procesos hidrotermales que conducen a fenómenos de alteración con formación de rocas blandas de composición variable que va de clorita y serpentina que son los más frecuentes, hasta incluso talco. La clorita es frecuente tanto asociada a diques alterados hidrotermalmente como en lentejones localizados en la proximidad del contacto (MOHO petrológico-estructural), entre la secuencia mantélica y la cortical.

Los resultados obtenidos por nosotros en la necrópolis de Jhebel Buhays coinciden composicional y

texturalmente con los de David *et al.* (1990). Estos investigadores estudiaron comparativamente muestras de vasijas elaboradas con rocas blandas procedentes de diversos yacimientos arqueológicos de la Península de Omán y de muestras naturales recogidas en afloramientos ofiolíticos del Manto de Semail. A pesar del escaso número de muestras estudiadas diferenciaron dos tipos de cloritas tanto en las vasijas como en los depósitos naturales. Las más abundantes (9 de 11 muestras) presentaban una composición rica en magnesio (clinocloro-sheridanita), mientras que las otras, ricas en hierro ferroso (ripidolita), eran casi anecdóticas (2 de 11 muestras). Sugiriendo, sobre la base de criterios petrográficos, una procedencia mantélica de las primeras y cortical de las segundas. A pesar de estas evidencias no pudieron demostrar la existencia de un gran centro de suministro de clorita en las Montañas de Omán. De hecho, la escasa importancia volumétrica de los afloramientos con rocas blandas muestreadas a lo largo de 500 km, la existencia de frecuente milonitización afectando a rocas de caja y alteradas y la variabilidad, tanto composicional como de pureza, que observaron les hizo inferir la posible existencia de numerosos puntos locales de explotación para el abastecimiento de esta materia prima.

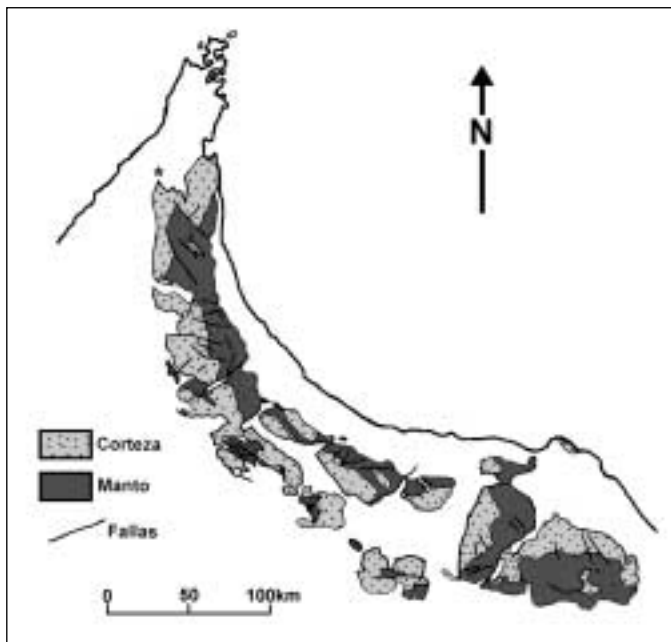


Fig. 8. Mapa regional indicando zonas de posible origen de cloritas en las Montañas de Omán (tomado de David *et al.*, 1990).

* Localización aproximada del Oasis de al Madam

Fig. 8. Regional map with possible chlorite origin zones in Oman Mountains (David *et al.*, 1990).

* Approximate location of al Madam Oasis

En la zona de Mleiha muy próxima a Jhebel Buhays, Mouton (1999) puso de manifiesto la existencia de centros de elaboración de vasijas y abalorios con rocas blandas durante la Edad del Hierro. En el caso de la necrópolis de Jhebel Buhays las vasijas de clorita podrían haberse obtenido de los centros de fabricación de Mleiah, donde los resultados arqueológicos ponen de manifiesto que las rocas blandas llegaban talladas toscamente, posiblemente desde el lugar de extracción o recogida, dándose luego el toque final a las piezas. Dado que en el entorno de Mleiah no se han encontrado depósitos de clorita se ha sugerido que, al menos en parte, los habitantes de esta zona podrían haber utilizado como materia prima cantos repartidos por el piedemonte próximo (reg), con los que fabricarían pequeños objetos.

En consecuencia, el origen de la abundante clorita utilizada en esta zona no parece proceder de un único depósito local abriéndose además la posibilidad de un abastecimiento exterior de donde la clorita de gran pureza, no milonitizada y en grandes volúmenes sería importada, pudiendo ser el centro suministrador Tepe Yhaya. Las dificultades existentes en la identificación de áreas fuente de materiales cloríticos, dada su gran variabilidad composicional, ha sido puesta de manifiesto por Khol *et al.* (1979) en los mencionados depósitos iraníes.

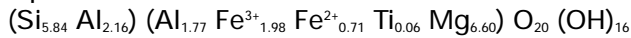
El estudio de la muestra de aspecto parecido del entorno (wadi Dafta) no ha sido de utilidad como posible material de origen de las cloritas ya que ha sido identificada como serpentina. La presencia de este mineral en la zona no es infrecuente, presentándose incluso como clastos en los depósitos de los wadis (Pozo *et al.*, 1999).

Conclusiones

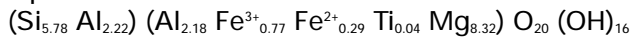
- El estudio de los restos de vasijas procedentes de la necrópolis de Jhebel Buhays pone de manifiesto una composición casi exclusiva de clorita, con indicios de titanita, rutilo y minerales opacos. La clorita se presenta bien ordenada (agudeza de pico), es trioctaédrica y con predominio del politipo 11b.
- Petrográficamente, la clorita presenta texturas equigranulares e inequigranulares (tamaño de grano hasta 2,5 mm) de reemplazamiento (tipos 1 y 2) y una textura esferulítica (tipo 3) con tamaño de grano menor (hasta 0,75 mm), todas ellas resultado de la acción hidrotermal.
- Los análisis químicos muestran diferencias en la

composición de la muestra M-27 perteneciente al tipo 3 que es algo más rica en hierro que muestras de los tipos 1 y 2. Las fórmulas mineralógicas promedio son las siguientes:

Tipo 1-2:



Tipo 3:



A pesar de las diferencias químicas observadas, todas las muestras de clorita, incluida la M-27, se clasifican como clinocloro. De los dos tipos de cloritas en que clasifican David *et al.* (1990) las muestras de rocas y vasijas recogidas en la Península de Omán, las estudiadas por nosotros se corresponden con el primer tipo (ricas en magnesio y clasificadas como clinocloro-sheridanita). Para estos autores, esta clorita procedería de la alteración de rocas del manto en tanto que las más ferríferas, clasificadas como ripidolitas, procederían de la alteración de gabros.

- El estudio térmico confirma los resultados obtenidos en el análisis químico, ya que se observan comportamientos ligeramente distintos entre la muestra del tipo 3 y las restantes. Esto se justifica como resultado del grado de sustitución de hierro por magnesio en la clorita, ya observado en dichos análisis.
- Si bien es cierto que la clorita es un mineral común, producto de la alteración hidrotermal de rocas básicas y ultrabásicas, también lo es que la producción de vasijas de este mineral no se halla repartida por todo el mundo, como cabría esperar de su abundancia. El carácter excepcional de los complejos ofiolíticos de Omán y sureste de Irán justifica que éstos proporcionaran volúmenes importantes de clorita de elevada pureza, con unas texturas que permitieron su tallado manual o mediante torno. Las microfábricas mostradas por estos materiales justifican plenamente el comportamiento plástico de los agregados laminares de clorita.
- Las causas de la amplia utilización de la clorita en las zonas del Golfo Pérsico son tanto geológicas (abundancia de mineral procedente de la alteración hidrotermal de complejos ofiolíticos bien conservados y potentes), como composicionales (cloritas de una gran pureza y alto grado de ordenamiento) y texturales (tamaño de grano y microfábrica).

Agradecimientos

Deseamos sinceramente agradecer a los dos censo-

res anónimos del Boletín Geológico y Minero sus sugerencia que han redundado en una sensible mejora del manuscrito.

Referencias

- Bailey, S.W. 1980. Structure of layer silicates. En: Brindley, G.W. y Brown, G. (eds.) *Crystal Structures of clay minerals and their x-ray identification*. Mineralogical Society. London. 1-124.
- Benoist, A., Córdoba, J.M. y Mouton, M. 1997. The Iron Age in Al-Madam (Sharjah UAE). Some notes on three seasons of work. *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies*. 27: 59-73.
- Brindley, G.W. y Lemaître, J. 1987. Thermal, Oxidation and Reduction Reactions of Clay Minerals. En: Chemistry of Clays and Clay Minerals. (ed. Newman, A.C.D.). Chap. 7: 319-370. *Mineralogical Society. Monograph n°6*. Longman Scientific & Technical.
- Córdoba, J.M. 1998. Los poblados de la Edad del Hierro en el piedemonte de las montañas de Omán. Reflexiones desde Al-Madam (Sharjah, EAU). *Isimu*. Vol I. 85-91.
- David, H., Tegye, M., Le Metour, J. y Wyns, R. 1990. Les vases en chloritite dans la péninsule d'Oman: une étude pétrographique appliquée à l'archéologie. *Comptes Rendue Académie Sciences Paris*, t.311, Série II: 951-958.
- Foster, M.D. 1962. Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. *Professional Papers U.S. Geological Survey*. 414-A, 1-33.
- Glennie, K.W., Boeuf, M.G.P, Hughes Clare, M.W., Moody-Stuart, M., Pilaar, W.F.H., y Reinhardt, B.M. 1973. Late Cretaceous nappes in Oman Mountains and their Geological Evolution. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. V.57, 5-27
- Kohl, P.L. 1976. The production of chlorite and its distribution in the early third millennium: The integration of economic theory to archaeological data. *The Memorial Volume of the VIth International Congress of Iranian Art and Archaeology*. A publication of the Iranian Centre for Archaeological Research, Teheran.
- Kohl, P.L., Harbottle, G. y Sayre, E.V. 1979. Physical and Chemical analyses of soft stones vessels from south-west Asia. *Archaeometry* 21, 131-159.
- Mackenzie, R.C. (Editor). 1970. *Differential Thermal Analysis*. Academic Press. London. 2 vols.
- Mouton, M. 1999. Le travail de la Chlorite a Mleiha, en M.Mouton ed. *Mleiha: Environnement, strategies de subsistance et artisanats*, TMO n° 29, Maison de l'Orient, Lyon. 227-243.
- Pozo, M., Casas, J. y Martín Rubí, J.A. 1999. Estudio mineralógico, químico y textural de materiales y elementos arqueológicos en asentamientos de la edad del hierro del Oasis de al Madám. (Emirato de Saryah, EE.AA.UU.) *ISIMU*. 2, 605-634
- Pozo, M. y Córdoba, J. 2002. Architecture, implements, and geological constraints: a provenance study and

Pozo, M. *et al.* 2005. Estudio composicional y textural de restos de vasijas de rocas... *Boletín Geológico y Minero*, 116 (1): 39-52

archaeological investigation of the uses of materials of an Iron Age village (AM-1 Thuqaybah, Emirate of Sharjah, UAE). *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies*. 32, 63-74.

projection of chemical composition: II the chlorite group. *Clay Minerals*. 25, 83-92.

Wiewiora, A. y Weiss, Z. 1990. Crystallochemical classifications of phyllosilicates based on the unified system of

Recibido: mayo 2004
Aceptado: febrero 2005