

ESTUDIOS DE PROCEDENCIA DE MATERIALES ARQUEOLOGICOS MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

S. Angeles-García^{a*}, A. M. Reyes-Salas^a, L. M. Alva-Valdivia^b, A. Cisneros de Leon^a, F. Ortega-Gutiérrez^a

^a Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

^b Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

*Autor de correspondencia, e-mail: ags@unam.mx, Tlf: +52 55 56 22 42 83, 135

Recibido: Septiembre 2013. Aprobado: Julio 2014.

Publicado: Noviembre 2014.

RESUMEN

En México existen dos importantes yacimientos de ilmenita, en Motozintla estado de Chiapas y en Huitzo, estado de Oaxaca; la ilmenita es un óxido compuesto por hierro y titanio acompañado generalmente de apatita. Se encontraron varias toneladas de pequeños cubos de roca compuestos principalmente por ilmenita en San Lorenzo Tenochtitlan (Estado de Veracruz), este tipo de roca fue el objeto de estudio. Las muestras se observaron en el Microscopio Electrónico de Barrido Jeol 6300 y en la microsonda JEOL JXA 8300R se hicieron análisis por energía de longitud de onda de rayos X (WDS), los cuáles contribuyeron a determinar que, por comparación, el material muy probablemente procede de la región de Huitzo, Oaxaca, donde sí se encuentra geológicamente in situ.

Palabras claves: ilmenita, microscopio electrónico de barrido, materiales arqueológicos, procedencia, Huitzo, Oaxaca

PROVENANCE STUDIES OF ARCHAEOLOGICAL MATERIALS BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

ABSTRACT

Mexico has two main sources of ilmenite, in the Oaxaca and Chiapas states. Ilmenite is an oxide composed by iron and titanium generally accompanied with apatite. About six tons of small cubic rocks mainly composed of ilmenite were found in San Lorenzo Tenochtitlan (Veracruz state), where Olmec culture flourished. This rock type was the object of study. Samples were observed by an electron scanning microscopy (JEOL JSM- 6300 and microsonde JEOL JXA 8300R) and WDS analyses, which contributed to determine that, by comparison, the most probable source of these samples is Huitzo Precambrian rocks in Oaxaca state.

Keywords: ilmenite, scanning electron microscopy, archaeological materials, provenance, Huitzo, Oaxaca.

INTRODUCCION

La cultura Olmeca, conocida también como cultura madre, floreció en Mesoamérica durante los años 1400 a 950 A.C. En San Lorenzo Tenochtitlan se encontraron aproximadamente 6 tons [1] [2] de artefactos fabricados de ilmenita, material que no es nativo de esta zona. Probablemente la fuente lejana de éste material debe haberse encontrado en el terreno Pre-cámbrico Oaxaquia como lo menciona Ortega-Gutiérrez [3] [4].

En el sur de México existen dos yacimientos importantes de ilmenita, uno en la región de Huitzo, Oaxaca y el otro en Motozintla, estado de Chiapas [5] [6].

El propósito de este trabajo es tratar de dilucidar, usando la microscopía electrónica de barrido, la procedencia del material con el que los Olmecas fabricaron herramientas que fueron utilizadas para tallar, por ejemplo, las monumentales cabezas que distinguen a esta cultura.

Ortega Gutiérrez [3] sostiene que la mayor parte de México descansa sobre una corteza de edad Grenvilliana, que es el microcontinente Oaxaquia y que está formado por varios fragmentos de terrenos tecno-estratigráficos.

Las unidades principales de Huitzo son anortositas masivas, meta-dioritas, meta-gabros, acumulaciones máficas y charnockitas con granate, mientras que las de Chiapas se encuentran también asociadas a anortositas masivas, anfibolitas, monzonitas y meta-gabronoritas enriquecidas en óxidos y apatita.

Las características de los afloramientos de Chiapas muestran que no hubo metamorfismo de alto grado como se presenta en Oaxaca.

Otra diferencia entre los dos afloramientos son las edades, ya que la reportada para Chiapas es del Pérmico [5] y la reportada por Solari para Oaxaca es del Proterozoico (ca 1,000 Ma) [4]. La idea de Oaxaquia está basada en afloramientos formados de anortosita masivas y charnoquitas de aprox. 1.0 Ga, edad de circones U-Pb, localizados en Tamaulipas, Hidalgo y Oaxaca, todos asociados con fases granulíticas. La idea de Oaxaquia está basada en afloramientos formados de anortosita masiva y charnockitas de aprox. 1.0 Ga, edad de circones U-Pb, localizados en Tamaulipas, Hidalgo y Oaxaca, todos asociados con fases granulíticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se prepararon cuatro piezas en láminas delgadas pulidas y secciones pulidas de los materiales de la localidad de San Lorenzo Tenochtitlan, sitio arqueológico ubicado al sureste del estado de Veracruz.

También se tomaron fragmentos de menos de 1 cm con la finalidad de observar los aspectos texturales directamente con el microscopio electrónico, utilizando un equipo JEOL JSM- 6300 y electrones secundarios. En la sección pulida se caracterizaron las fases mineralógicas que acompañan a la ilmenita y se obtuvo el análisis químico cuantitativo por medio de una microsonda electrónica JEOL JXA-8900R; También se

tomaron fragmentos de menos de 1 cm con la finalidad de observar los aspectos texturales directamente con el microscopio electrónico, utilizando un equipo JEOL JSM- 6300 y electrones secundarios. En la sección pulida se caracterizaron las fases mineralógicas que acompañan a la ilmenita y se obtuvo el análisis químico cuantitativo por medio de una microsonda electrónica JEOL JXA-8900R; las muestras las muestras trabajó con 20 Kv, un diámetro de haz de 1 micra y una corriente de 20 amperes, para la calibración del equipo se utilizaron estándares de minerales naturales (ilmenita, rutilo, hematita) y algunos metales puros (titanio, hierro); .los análisis químicos cuantitativos se realizaron con cuatro espectrómetros de longitud de onda (PETJ, LIF, TAP, LDEC). Se obtuvieron imágenes de composición con electrones retrodispersados para observar las microestructuras y mineralogía.

Se obtuvieron análisis químicos cuantitativos con la microsonda electrónica JEOL JXA-8900R, utilizando las mismas condiciones de trabajo tanto para las muestras de San Lorenzo T (Olmecas) como para el análisis de ilmenitas de los yacimientos de Motozintla, Chiapas y Huitzo, Oaxaca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio con el microscopio electrónico de barrido de pequeños fragmentos de los artefactos olmecas, se obtuvieron imágenes con electrones secundarios, que muestran las caras cristalinas de la ilmenita, Fig. 1, En la Fig. 2 se muestra la superficie de un gran cristal con huecos donde probablemente hubo otras ilmenitas. En las secciones pulidas de las tres regiones observadas con electrones retrodispersados y aumento similar, se muestra la asociación mineralógica presente. En la muestra de San Lorenzo T (Figura 3), se observa un cristal de apatita de más de 100 micras acompañado de hematita y piroxena, En la Figura 4 se muestra la presencia de ilmenita, en esta muestra la presencia de apatita es de menor abundancia por el contrario, en la Figura 5 que

corresponde a la roca de Huitzo, Oaxaca, se muestra una asociación mineralógica similar a la observada en la Figura 3 también con apatitas muy notorias.

Los análisis cuantitativos que se realizaron con la microsonda, tanto de los artefactos (San Lorenzo Tenochtitlan) como de las muestras de Chiapas (Motozintla) y de Oaxaca (Huitzo), se muestran en la Tabla 1. Se obtuvieron promedios de los análisis para cada tipo de roca, los cálculos de los cationes se hizo en base a 6 oxígenos de acuerdo a Deer et al. [7]. Puede observarse que el enriquecimiento en magnesio es más parecido en las muestras de San Lorenzo (Olmecas) y Huitzo (Oaxaca) que con las de Motozintla (Chiapas).

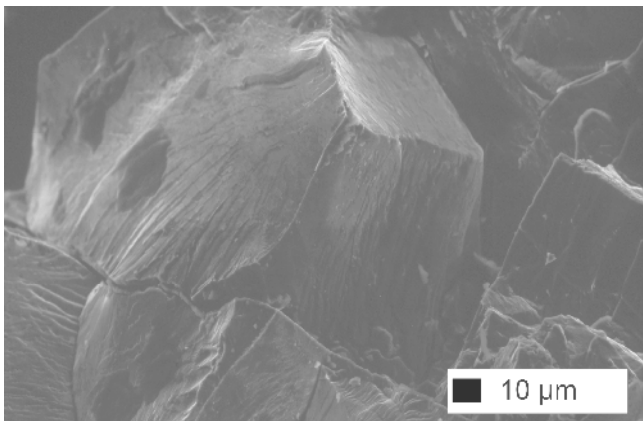


Fig. 1. Fotomicrografía obtenida con electrones secundarios, que muestra las caras cristalinas de ilmenita masiva, muestra de San Lorenzo T.

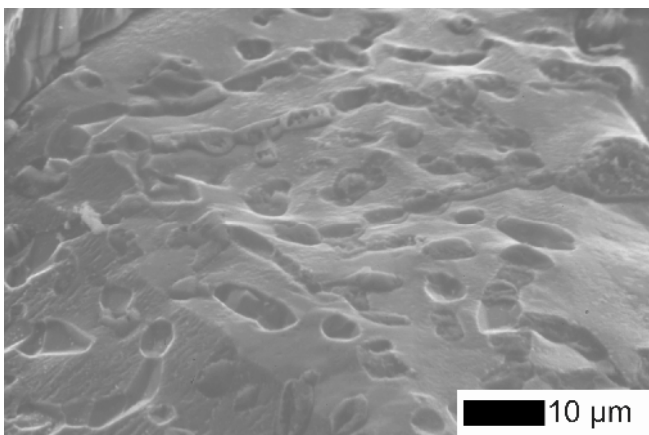


Fig. 2. Imagen con electrones secundarios en donde se observan huecos de lo que fueron inclusiones de cristales más pequeños de ilmenita sobre la superficie de un cristal masivo (muestra de San Lorenzo T).

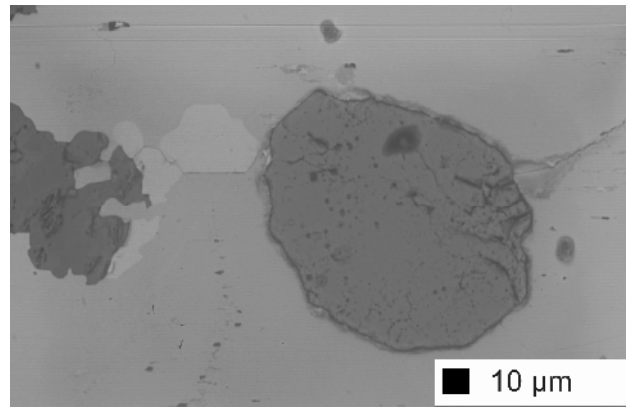


Fig. 3. Cristal de apatita de más de 100 micras, imagen con electrones retrodispersados (muestra de San Lorenzo T).

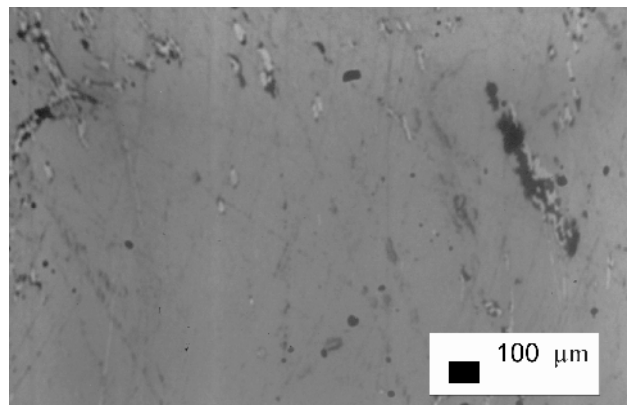


Fig. 4. Asociación mineralógica presente: Ilmenita, esfena, pirita y hematita. Imagen con electrones retrodispersados. (muestra de Motozintla, Chiapas).

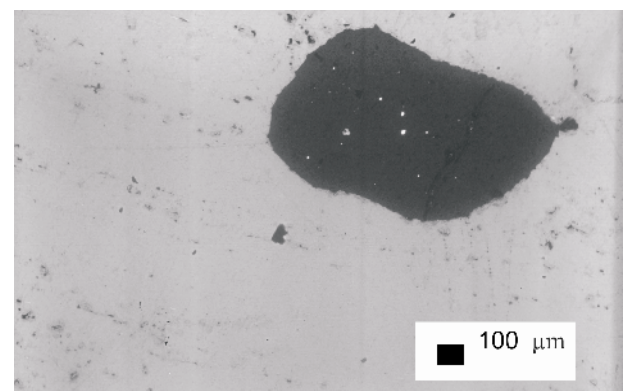


Fig. 5. Cristal de apatita de más de 100 micras, imagen con electrones retrodispersados. (muestra de Huitzo, Oaxaca).

Tabla 1. Análisis de microsonda electrónica de ilmenita, promedio entre corchetes.

Oxidos (% en peso)	Olmecas (San Lorenzo Tn) [7]	Chiapas (Motozintla) [6]	Oaxaca Huitzo) [9]
SiO2	0.039	0.008	0.200
TiO2	42.67	46.62	46.62
Al2O3	0.034	0	0
FeO T	52.186	50.508	49.303
MnO	0.588	0.575	0.334
MgO	1.335	0.627	1.443
CaO	0.006	0	0.030
Cr2O3	0.071	0	0
SUMA	97.0	98.335	97.91
Cationes			
Si	0.003	0.002	0
Ti	0.819	0.888	0.893
Al	0.001	0	0
Fe+3	0.357	0.218	0.212
Fe+2	0.756	0.854	0.837
Mn	0.043	0.012	0
Mg	0.051	0.023	0.055
Ca	0	0	0
Cr	0.005	0	0
TOTAL	2	2	2

CONCLUSIONES

El estudio de las asociaciones minerales mediante técnicas cuantitativas de microscopía electrónica aporta elementos para la valoración de la procedencia de minerales arqueológicos.

Las muestras de Huitzo se caracterizan por la abundante presencia de cristales grandes de apatita, como se observa en las figuras 3 y 4, mientras que la presencia de apatitas en las muestras de Chiapas es escasa y los cristales son pequeños.

Las muestras de ilmenita de Oaxaca presentan un contenido mayor en magnesio.

La asociación mineralógica que se observa en las Fig. 3 y 4, muestra las relaciones texturales que sugieren un origen térmico metasomático para la ilmenita y que refuerzan la hipótesis de que las rocas anortosíticas provienen de la región de Huitzo, Oaxaca.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Carlos Linares del Instituto de Geofísica, por permitirnos el uso de la microsonda electrónica JEOL JXA-8900R

REFERENCIAS

[1] Los artefactos multiperforados de ilmenita en San Lorenzo (1996) *Arqueología* 16: 3-14. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

[2] Alva V. L., Cyphers A., Rivas S. M.L., Zurita, J. (2013) “Mineralogical and magnetic characterization of Olmec ilmenite artifacts: Tools to create sculptures?” enviado a *J. Archaeological Science*

[3] Ortega G. F., Ruiz J., Centeno G. E., (1995) “Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic”. *Geology*, 23:1127-1130.

[4] Solari L., Keppie D., Ortega G. F., Cameron K. L., López R. (2004) “~990 MA Peak Granulitic Metamorphism and amalgamation of Oaxaquia, Mexico: UPB Zircon Geochronological and Common PB Isotopic Data. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*: 21: 212-225. Universidad Nacional Autónoma de México.

[5] Estrada-Carmona, J., Weber, B., Martens, U., & López-Martínez, M. (2012). Petrogenesis of Ordovician magmatic rocks in the southern Chiapas Massif Complex: relations with the early Palaeozoic magmatic belts of northwestern Gondwana. *International Geology Review*, 54(16), 1918-1943.

[6] Cisneros de León A. O., (2011) “Caracterización petrográfica y geoquímica de las anortositas en la zona titanífera Barranca de Rosendo, Mazapa de

Madero, Chiapas.” Tesis de Licenciatura no publicada”, Facultad de Ingeniería, UNAM.

- [7] Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., (1966) “An Introduction to the Rock-Forming Minerals”. Longman Scientific & Technical.