



## Xenolitos peridotíticos del manto: una oportunidad de investigación hacia las profundidades de la tierra

JUAN ALONSO RAMÍREZ FERNÁNDEZ\*, ADALBERTO TREVIÑO CÁZARES\*, FERNANDO VELASCO TAPIA\*

La palabra xenolito se deriva del griego *xenos* (extraño) y *lithos* (roca), es decir, es aquella roca emplazada dentro de otra, con una composición y origen diferentes. Para describir los xenolitos se han utilizado muchos términos como: nódulos, bombas de olivino, secreciones básicas, inclusiones y "ventanas hacia el manto de la tierra", entre otros. Los xenolitos del manto son rocas que fueron transportadas hacia la superficie, provienen de grandes profundidades. El mecanismo está dado por el transporte en un magma ascendente a velocidades relativamente altas, y que al llegar a la superficie se manifiestan como eventos volcánicos. Estas rocas representan una evidencia muy importante para determinar la composición química y petrográfica del manto superior, bajo la corteza terrestre.

En las últimas décadas, el estudio de los xenolitos ha hecho posible tener una idea más clara de la naturaleza del manto litosférico de la tierra, su composición y los procesos a los que ha estado sometido. Sin embargo, el hecho de que el manto superior de la tierra sea prácticamente sólido y esté compuesto de rocas ultramáficas peridotíticas, fue propuesto apenas a principios de este siglo.<sup>1</sup> Las peridotitas son rocas silicatadas oscuras, compuestas en >90% en volumen de minerales máficos ricos en Fe y Mg. La mayoría de los xenolitos localizados en todo el mundo se han encontrado en rocas máficas y

ultramáficas (basaltos alcalinos, kimberlitas, gabros de olivino, diabasas y basanitas) y en casos poco comunes en rocas diferenciadas, como fonolitas.<sup>2</sup>

Los xenolitos se pueden clasificar de acuerdo a su composición mineralógica. Los minerales más comunes que se encuentran en éstos son: olivino, clinopiroxeno, ortopiroxeno y hornblenda, que, de acuerdo a sus relaciones volumétricas, se pueden agrupar en los diagramas de las rocas ultramáficas. Como fases accesorias destacan plagioclasa, espine-la, granate, anfíbol, entre otras.

El estudio detallado de los ensambles o paragénesis mineralógicos presentes en los xenolitos puede ser útil para deducir en forma indirecta las presiones y temperaturas a las que se formaron en el manto terrestre.

### Xenolitos del manto en el noreste de México

En la bibliografía publicada, concerniente al estudio de rocas provenientes del manto, solamente se hacía mención esporádica de algunas localidades del noreste de México. Entre éstas se puede mencionar Demant & Robin,<sup>3</sup> que indican la presencia de xenolitos de dunitas en el Cerro Murciélagos, cerca de Ébano, S.L.P. Por otra parte, Pettus<sup>4</sup> reporta xenolitos en las cercanías de Llera de Canales, Ta-

\*Posgrado de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. [juanaram@mail.uanl.mx](mailto:juanaram@mail.uanl.mx)

maulipas, específicamente en la Mesa de San Francisco. Y recientemente, Ramírez-Fernández<sup>2</sup> reportó algunas lom, en las cercanías de Llera de Canales. De manera más detallada, Treviño *et al.*<sup>5</sup> presentan modelos para relacionar los xenolitos con los magmas portadores. Escalante *et al.*,<sup>6</sup> por otra parte, analizan el potencial económico de estas rocas ultramáficas.

Las localidades estudiadas se encuentran en el estado de Tamaulipas, en los alrededores de la Sierra de San Carlos y la Sierra de Tamaulipas (figura 1). Aunque las rocas portadoras en estas localidades son todas rocas volcánicas, cada una de éstas tiene una evolución geológica diferente.

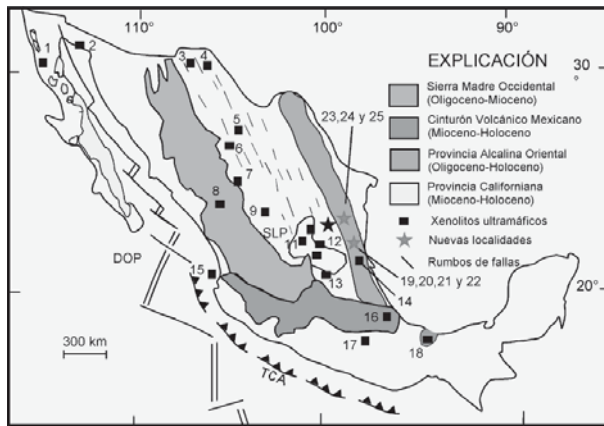


Fig. 1. Distribución de las localidades con xenolitos del manto en México. Se muestran además nuevas localidades y los límites de las provincias geológicas.<sup>2</sup>

## Metodología

Para este estudio se realizó primeramente un reconocimiento geológico con base en las fotografías aéreas. Después de la delimitación de las estructuras se llevaron a cabo campañas de campo, a fin de efectuar muestreos representativos. Las muestras fueron tratadas para obtener láminas delgadas, según los procedimientos estándar del Laboratorio de Preparación de la FCT. El análisis petrográfico de las láminas (aprox. 50) se efectuó en un microscopio de luz polarizada Leica DMLSP. Muestras selectas fueron pulverizadas y analizadas, posteriormente, en Activation Laboratories de Canadá. Se analizó, además, la mineraloquímica bajo un equipo de microsonda en la Universidad Complutense de Madrid.

## Resultados y discusión

Las vulcanitas que pertenecen a la Sierra de San Carlos-Cruillas son de carácter alcalino. Éstas se clasifican como basanita, foidita y fonotefrita. Por otra parte, en los alrededores de la Sierra de Tamaulipas, la composición química de las volcánicas muestra un desarrollo en el orden basaltos → traquibasaltos → traquiandesita basáltica → traquiandesita hasta traquita. Por lo regular, el vulcanismo es de tipo efusivo, con productos lávicos.

Los xenolitos presentan una composición mineralógica típica del manto superior: olivinos, ortopiroxenos, clinopiroxenos y espinela como la fase aluminica accesoria, presente en la mayoría de las muestras. En una única muestra se reconoció como fase aluminica granate. La clasificación modal se representa en el diagrama de rocas ultramáficas (figura 2); los xenolitos de la Sierra de Tamaulipas, como los del área de la Sierra de San Carlos-Cruillas, se clasifican en lherzolitas y harzburgitas principalmente.

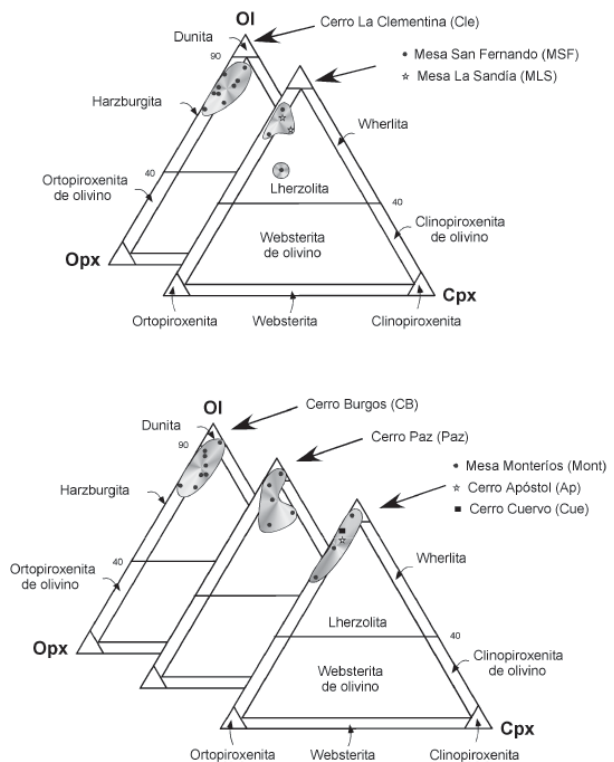


Fig. 2. Clasificaciones modales de los xenolitos de la Sierra de Tamaulipas (arriba): cerro La Clementina, mesa San Fernando y mesa La Sandía; y de la Sierra de San Carlos-Cruillas (abajo): cerros Burgos, Paz, Apóstol, Cuervo y la mesa Monteríos.

Las texturas presentes en los xenolitos son del tipo granular (figura 3) y porfiroclástica e indican, por una parte, regiones estables y, por otra, zonas tectonizadas en el manto.

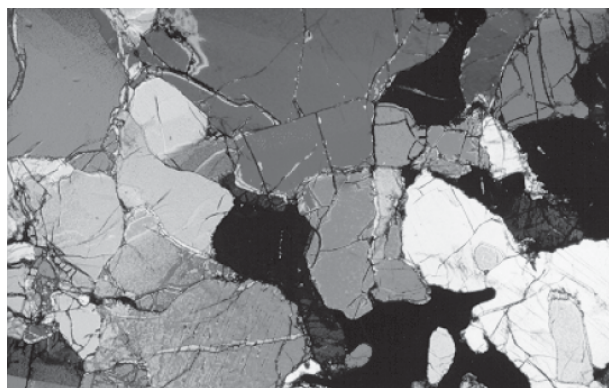


Fig.3. Ejemplo de la textura y mineralogía típica de una lherzolita de espinela del cerro La Clementina (periferia de la Sierra de Tamaulipas). Se observan olivinos, clinopiroxenos, espinelas. La barra en la parte superior indica una longitud de 0.5 mm.

En la tabla I se muestran resultados selectos de análisis de la mineraloquímica. Se calculó la fórmula estructural para cada mineral analizado, siguiendo un procedimiento estándar que incluye: (a) el cálculo de las proporciones atómicas para cada elemento, (b) la distribución de esas proporciones entre los lugares disponibles en la estructura cristalina. Los olivinos muestran una composición caracterizada por un contenido de forsterita de  $Fo_{94.86}$ . No se observó una variación significativa en el contenido de %Fo en un mismo cristal. Los piroxenos presentan una composición dominante en enstatita ( $En_{88.93}$ ), aunque algunos ejemplares mostraron contenidos altos de hierro ( $En_{78}$ ). Los bordes de cristales de ortopiroxeno varían hasta <1% comparados con el centro. Por otro lado, los clinopiroxenos, medidos en el centro y borde, muestran un rango composicional de  $En_{44-51}Fs_{3-10}Wo_{43-50}$ . En cuanto a las espinelas analizadas, éstas son ricas en cromo y

Tabla I. Resultados selectos de la determinación de la composición química de silicatos de los xenolitos del manto. Lh: Lherzolita, D: Dunita, Hz: Harzburgita.

Mineral	Olivino	Olivino	Piroxeno	Piroxeno	Espinela	Espinela
Roca	Lh	D	Lh	Hz	Lh	D
SiO <sub>2</sub>	40,54	57,61	50,76	51,57	0,07	0,14
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,12	0,45	0,33	0,14	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,28	6,54	4,47	57,03	40,28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,33	0,68	0,78	7,48	29,61
FeO	12,62	5,31	4,04	2,20	15,65	11,36
MnO	0,30	0,21	0,08	0,03	0,21	0,20
MgO	45,98	34,43	14,36	15,47	18,98	18,11
NiO	0,18	0,12	0,04	0,02	0,25	0,26
CaO	0,07	1,26	22,71	24,64	0,01	0,33
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	1,17	0,58	0,18	0,01
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00
<b>Total</b>	99,77	99,78	100,87	100,11	100,04	100,39
Si	1,009	1,327	1,83	1,87	0,00	0,00
Al	0,001	0,007	0,28	0,19	1,75	1,31
Ti	0,000	0,002	0,01	0,01	0,00	0,00
Cr	0,000	0,006	0,02	0,02	0,15	0,65
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	7,97
Mg	1,706	1,182	0,77	0,84	0,74	0,75
Fe <sup>2+</sup>	0,263	0,102	0,03	0,07	0,24	8,24
Mn	0,006	0,004	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,004	0,002	0,00	0,00	0,01	0,01
Ca	0,002	0,031	0,88	0,96	0,00	0,01
Na	0,00	0,00	0,08	0,04	0,01	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Suma de Cationes</b>	2,991	2,664	4,00	4,00	3,00	3,00

presentan composiciones de  $Mg/(Mg + Fe^{+2}) = 0.76-0.83$  y  $Cr/(Cr + Al) = 0.10-0.25$ .

Los análisis en microsonda de pares de ortopiroxeno-clinopiroxeno coexistentes en los xenolitos del Manto fueron utilizados para estimar las temperaturas de equilibrio. Para este cálculo se empleó el geotermómetro de dos piroxenos propuesto por Lindsley,<sup>8</sup> arrojando una temperatura de equilibrio de 850-1165°C para los xenolitos del manto de las localidades de la Sierra de Tamaulipas (figura 3).

## Conclusiones

Según la información disponible, el vulcanismo de la zona se originó en una zona extensional de intraplaca continental. El magma primario es basáltico proveniente de una o varias cámaras magmáticas con pulsos desde el Mioceno hasta el Pleistoceno. Estos magmas han transportado xenolitos a la superficie que representan muestras del manto litosférico. De acuerdo a la información generada hasta el momento, el modelo propuesto implica la atenuación de la corteza, aunado al paso hacia la corteza transicional, en dirección al Golfo de México. El adelgazamiento fue acompañado por fallas profundas que facilitaron el ascenso del magma hacia la superficie. Las profundidades de origen se han estimado por la presencia de granate y las temperaturas calculadas, entre 45 y 55 km, en concordancia con datos geofísicos como los presentados por Mickus y Montana.<sup>9</sup>

## Resumen

En la Sierra de San Carlos-Cruillas y la Sierra de

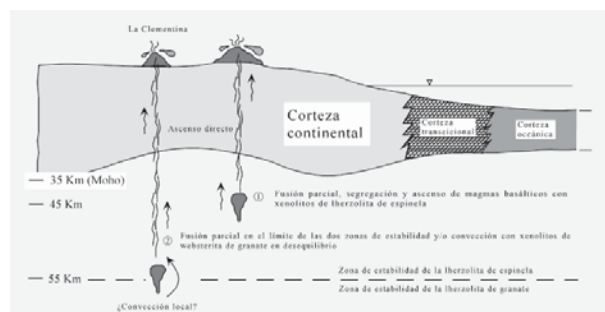


Fig. 4. Modelo genético del vulcanismo de margen pasiva en el oriente de México. Treviño Cázares,<sup>7</sup> basado en Sawyer *et al.*<sup>10</sup>

Tamaulipas las rocas volcánicas alcalinas contienen xenolitos ultramáficos: lherzolitas de espinela, harzburgitas, dunitas, webseteritas y wherlitas. La mineralogía olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno espinela es típica para nódulos frescos. Se presentan escasos granates con estructuras en desequilibrio. Temperaturas de equilibrio para los xenolitos varían entre 850 y 1170°C, de acuerdo a diferentes geotermómetros. Aproximaciones de las presiones de equilibrio indican valores de profundidad de entre 45 y 55 km. El ascenso y erupción de los magmas máficos se facilitó por el régimen extensional poslaramídico en el Terciario que actuó en el NE de México.

**Palabras clave:** Xenolito, Manto, Peridotita, Basalto.

## Abstract

In the Sierra de San Carlos and the Sierra de Tamaulipas, alkaline volcanic rocks contain ultramafic xenoliths: spinel lherzolite, harzburgite, dunite, websterite, and wherlite. The olivine + orthopyroxene + clinopyroxene spinel mineralogy is typical for unaltered nodules. Garnet with disequilibrium structures are rare. Equilibrium temperatures vary between 850 and 1170°C, calculated with different geothermometers. Depth values are estimated from 45 to 55 km. The ascent and eruption of the mafic magmas were promoted by extensional post-Laramide tectonics during the Tertiary in NE-Mexico.

**Keywords:** Xenolith, Mantle, Peridotite, Basalt.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo de la UANL, a través del proyecto Paicyt clave CT803-02, cuyo responsable fue el primer autor. Esta investigación forma parte de la tesis del maestría en ciencias geológicas del segundo autor, que fue apoyado por este mismo proyecto. Se agradecen los comentarios de los árbitros de este trabajo.

## Referencias

1. Aranda Gómez, J. J. y Ortega Gutiérrez F. 1987. Xenoliths in México. In Nixon (ed.) *Mantle Xenoliths*. 75-84.
2. Ramírez-Fernández, J. A. 1996. Zur Petrogenese des Alkalikomplexes der Sierra de Tamaulipas, NE-Mexiko. Tesis doctoral, Albert Ludwigs Universität, Freiburg, Alemania. 316 p.
3. Demant, A. y Robin, C. 1975. Las fases del vulcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico: *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, V. 2, p. 172-187.
4. Pettus, D. S. 1979. Ultramafic xenoliths from Llera de Canales, Tamaulipas, México. Tesis de Maestría. Universidad de Houston. 65 pp.
5. Treviño Cázares, A., Ramírez Fernández, J. A., Velasco Tapia, F. & Rodríguez Saavedra, P. 2005. Mantle xenoliths and their host-magmas in the Eastern Alkaline Province (NE México). *International Geol. Review*. En prensa.
6. Escalante Martínez, J.C., Ramírez Fernández, J. A., Treviño Cázares, A. y Velasco Tapia, F. 2005. Características geológicas y perspectivas económicas de un afloramiento de olivino, en el estado de Tamaulipas, México. XXVI Convención Internacional de Minería de la AIMMGM. Veracruz
7. Treviño-Cázares, A. 2001. Xenolitos del manto en la planicie costera del Golfo de México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra. 113 p.
8. Lindsley, D.H. 1983. Pyroxene thermometry. *Amer. Mineral*, 68: 477-493.
9. Mickus K. y Montana C. 1999. Crustal structure of northeastern México revealed through the analysis of gravity data. In In: Bartolini, C., Wilson, J.L. y Lawton, T.F. (eds.): *Mesozoic sedimentary and tectonic history of North-Central México*. Geological Society of America Special Paper. 340:357-371.
10. Sawyer, D.S., Buffler, Pigler, RH, Jr. 1991. The crust under the Gulf of Mexico basin. In Salvador, A. (ed.): *The Gulf of Mexico Basin*. 53-72.

*Recibido: 07 de julio de 2007*  
*Aceptado: 16 de agosto de 2007*