

Basamento paleozoico de la Sierra Madre Oriental: condiciones metamórficas de P-T en la presencia de fengita y clorita

SONIA ALEJANDRA TORRES SÁNCHEZ*, CARITA AUGUSTSSON**, RAFAEL BARBOZA GUDIÑO***, MICHAEL ABRATIS****, JUAN ALONSO RAMÍREZ FERNÁNDEZ*

La creciente demanda demográfica y de recursos energéticos en el país requiere invertir en el trabajo de exploración y reconocimiento geológico, con el fin de obtener información precisa sobre las rocas que funjan como posibles fuentes de recursos petroleros, de gas no convencional, recursos hídricos y recursos geotérmicos. Así como posibles zonas de riesgo geológico que perjudiquen los recursos y las actividades humanas. En el país se controla la distribución espacial y el origen de los complejos geológicos; sin embargo, durante las últimas cuatro décadas la falta de estudios litológicos y estratigráficos a detalle de las rocas precámbricas y paleozoicas ha propiciado diversas interpretaciones que en ocasiones no precisan la edad ni la correlación entre los complejos geológicos. Esto complica más la incertidumbre sobre la posición y la sucesión de las rocas precámbricas y paleozoicas en el tiempo y el espacio.¹

Importa conocer acerca de la geología que conforma el basamento de un área, ya que el basamento que subyace una cuenca sedimentaria generalmente controla la deposición de los sedimentos y de las estructuras en la superficie. Por lo tanto, la comprensión del origen del basamento tiene un impacto en el modelado de la evolución de la cuenca y la historia del flujo de fluidos minerales, gaseosos o del petróleo.²

¿Qué es un basamento geológico?

El basamento geológico se define como un complejo indiferenciado de rocas que subyacen a otras rocas de interés,³ siendo éstas frecuentemente ígneas o metamórficas de edades precámbricas. Sin embargo, éstas serían de edades paleozoicas, mesozoicas o cenozoicas. Las rocas del basa-

mento son de gran apoyo en la reconstrucción tectónica del planeta a través del tiempo. Comprender el origen del basamento geológico ayuda a localizar colisiones antiguas de paleocontinentes, en ocasiones revela episodios de *rifting* y de subducción antiguos. Los tipos de roca que conforman el basamento y los fósiles que llegan a contener también son indicadores de la distribución de cadenas montañosas, antiguos océanos, glaciares o condiciones climáticas.⁴

El estudio del basamento geológico de la Sierra Madre Oriental permite reconstruir en tiempo y en espacio una parte importante de la historia geológica de México. Esta historia comprende diversos eventos geológicos que han moldeado, restringido el relieve y dominado la distribución espacial y el tipo de rocas que abundan en la región.

La interpretación del basamento mexicano es amplia y compleja, como su definición. A México lo integra un conjunto de terrenos tectónicos que fueron emplazados en distintos intervalos de tiempo, con historias tectónicas y tectonotermales muy diferentes entre sí.⁵ En este trabajo se presentan resultados de química mineral primaria y secundaria de las rocas que conforman el basamento de la Sierra Madre Oriental, con el fin de especificar las condiciones y el ambiente tectónico de formación de estas rocas en la región del noreste de México.

Basamento de la Sierra Madre Oriental

La Sierra Madre Oriental consta de una unidad fisiográfica con una longitud de más de 1,500 km y un ancho de aproximadamente 80 km. Esta cordillera se extiende por los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Durango, Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Veracruz y Puebla. La Sierra Madre Oriental limita al norte con la Plataforma de Texas; al oeste y al suroeste con el Altiplano Mexicano; al sur con el Cinturón Volcánico Transmexi-

*Universidad Autónoma de Nuevo León.

** Universitetet i Stavanger, Noruega.

***UASLP

**** Universitat Jena, Alemania.

Contacto: soniatorressan@hotmail.com

cano, y hacia el este con la Planicie Costera del Golfo de México.⁶⁻⁸

En términos geológicos, se describe la Sierra Madre Oriental como el producto del levantamiento y deformación de rocas principalmente mesozoicas, así como de su complejo basal antiguo, que fue levantado, comprimido y transportado hacia el noreste, y formó pliegues y cabalgaduras por el evento deformacional laramídico durante el Terciario.⁹ Al basamento que subyace discordantemente a la secuencia sedimentaria plegada y cabalgada de la Sierra Madre Oriental lo compone una diversidad de rocas de origen metamórfico que van desde gneises precámbricos hasta esquistos carboníferos.¹⁰

En la mayoría de sus localidades, a la Sierra Madre Oriental la forman cadenas montañosas con estructuras anticlinales, sinclinales e incluso zonas de alto de basamento. A estas estructuras las integran principalmente rocas carbonatadas y terrígenas que evolucionaron sobre el basamento paleozoico y el precámbrico.¹⁰ Una de estas estructuras corresponde al anticlinorio Huizachal-Peregrina, localizado en el noroeste de Ciudad Victoria; a los altos de Miquihuana y Bustamante, en Tamaulipas y el alto de Aramberri, en Nuevo León (figura 1).

El anticlinorio Huizachal-Peregrina consta de una estructura plegada y doblemente buzante que expone en su núcleo erosionado rocas mesoproterozoicas y neoproterozoicas como a) el Gneis Novillo, que es potencialmente correlacionable con el orógeno Grenviliano y panafricano, b) rocas paleozoicas metamórficas denominadas Esquisto Granjeno, que son el objetivo de este estudio y c) una secuencia paleozoica sedimentaria sin metamorfizar; estas dos últimas se relacionan con la evolución de la orogenia Appalachiana y el subsecuente cierre de la Pangea.

El basamento brinda la información necesaria para conocer los procesos geológicos en el desarrollo de la Sierra Madre Oriental. Se han realizado diversos estudios sobre el basamento paleozoico del noreste de México;¹⁰⁻¹⁹ sin embargo, aún hay escasa información sobre el marco de la tectónica de placas, la duración y la existencia de eventos geológicos que estuviesen relacionados con el origen del basamento paleozoico de la Sierra Madre Oriental. En este trabajo se evalúan las condiciones termodinámicas de cristalización de la fengita y de la clorita, minerales que conforman la paragénesis principal de las rocas paleozoicas del noreste de México, con el fin de resolver la interrogante sobre las condiciones de formación del basamento paleozoico en el noreste de México.

Unidad paleozoica metamórfica del basamento-Esquisto Granjeno

El Esquisto Granjeno comprende intercalaciones de rocas metamórficas de protolitos sedimentarios (psammita, pelita, turbidita, conglomerado, lutita negra) y volcánicos (toba, flujos de lava, lava almohadillada y cuerpos ultramáficos).^{18,20,21}

Las rocas de origen metasedimentario dominan aproximadamente 85% de la litología del Esquisto Granjeno. Las rocas metasedimentarias se caracterizan por presentarse en afloramientos masivos con tonalidades que van del gris verdoso al gris oscuro. Consiste en proporciones equivalentes de cuarzo, mica y clorita que le dan un aspecto sedoso a la roca. Además, es posible encontrar porfidoblastos de albita y minerales accesorios como grafito, turmalina y circón. En estas rocas se observan diferentes familias de foliación, que registran por lo menos cuatro eventos de deformación.

Las rocas metavolcánicas como la metatoba constan de grano fino, con tonalidad verdiceleste, compuestas por clorita, actinolita y epidota. La metatoba forma paquetes de espesores de 1 a 30 cm en contacto deposicional con el esquisto pelítico.

Torres Sánchez *et al.*²⁰ describen afloramientos de lava almohadillada por primera vez en el área del alto de Aramberri. Estas rocas ocurren como litosomas de aproximadamente de 2 a 5 m. Presentan grano grueso y una tonalidad verdosa, se encuentran sobreyaciendo a metapelitas y metapsammitas. Las estructuras almohadilladas, bien preservadas, presentan dominios composicionales de clorita, pumpellita y epidota.

También se reconocen flujos de metabasalto que afloran de forma masiva en contacto deposicional y de falla con las rocas metasedimentarias. Esta litología se distingue por su tonalidad verde oscuro a negro y su grano grueso. Los flujos de metabasalto presentan un fuerte fracturamiento y un débil desarrollo de la foliación.

Cuerpos de serpentinita y metagabro se encuentran en contacto por fallamiento subvertical con el esquisto pelítico, y consisten en cuerpos lenticulares de serpentinitas de aproximadamente 10 km de largo y hasta 500 m de ancho, en los cañones del Novillo y Peregrina. El cuerpo de serpentinita se caracteriza por tonalidades amarillo pálido, verde claro a oscuro, gris claro y negro. La mineralogía de la serpentinita consta de lizardita, crisotilo y antigorita. El metagabro se asocia al cuerpo de serpentinita y se encuentra en contacto por fallamiento vertical con el esquisto pelítico, consiste en una roca masiva de tonalidad verde oscuro fuertemente

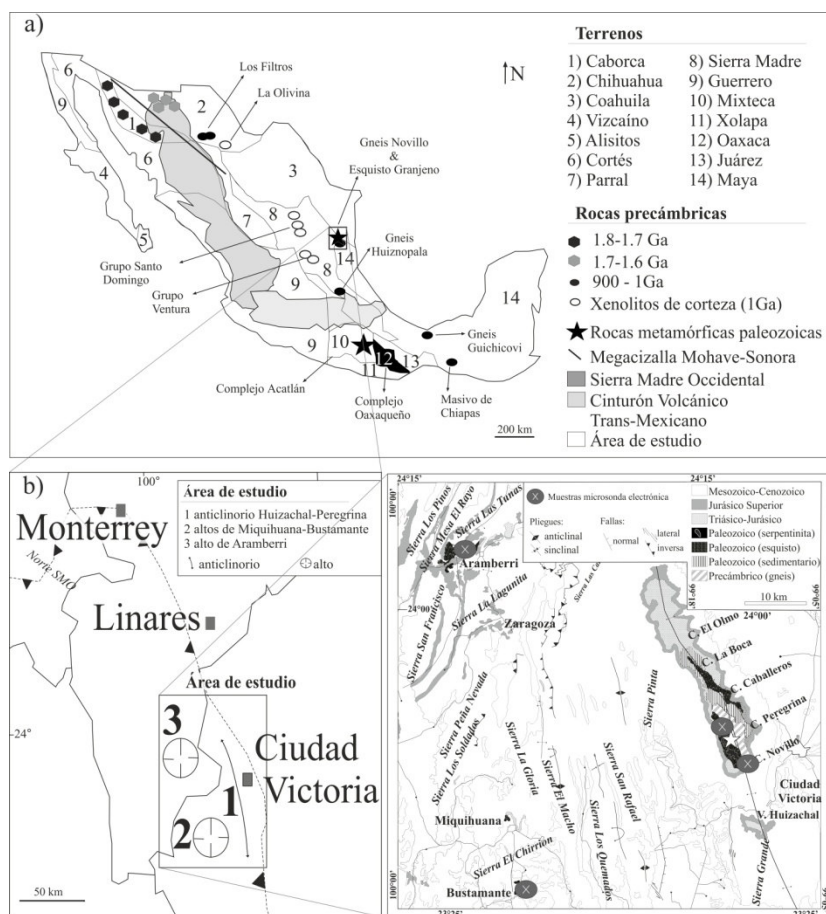


Fig. 1. Rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas en México. Modificado de Campa & Coney;⁵ Ortega *et al.*¹³ Área de estudio (modificado de Barboza *et al.*).¹⁹ SMO: Sierra Madre Oriental.

cizallada, de textura granular, y la componen plagioclasa y anfíbol.

METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo campañas de campo, a fin de revisar la delimitación de las unidades y subunidades, y se efectuaron muestreos representativos. Para esto se consideraron las cartas geológicas del INEGI Ciudad Victoria F14-2, a escala 1:250,000, y la carta del SGM Aramberri G14-C87, a escala 1:50,000. Asimismo, mapas de Ramírez-Ramírez¹¹ que muestran la distribución de las rocas en las áreas de estudio. Las muestras se trataron para obtener láminas delgadas según los procedimientos estándar del laboratorio de preparación de la Facultad de Ciencias de la Tierra (UANL) y la Universidad Friedrich-Schiller en Jena, Alemania.²²

El análisis petrográfico de las láminas delgadas se efectuó con microscopios de luz polarizada marca Leica, DMLSP

y Carl Zeiss Axioplan 2, para estudiar las texturas de las rocas y las propiedades de cada mineral para su identificación. El análisis de química mineral se realizó con un equipo de microsonda electrónica (EMPA), modelo CAMECA SX50, en la Universidad de Arizona, y con un modelo JEOL JXA 8230, en el Instituto de Mineralogía de la Universidad Friedrich-Schiller. Ambos equipos utilizaron estándares de silicatos y óxidos con condiciones de voltaje de excitación de 15.0 kV, un haz de corriente de 15 nA y de diámetro de 2.3 μm (10 μm para análisis de albíta).

RESULTADOS

Petrografía

Las asociaciones minerales que caracterizan a las rocas metasedimentarias del Esquisto Granjeno corresponden a cuarzo, albíta, mica blanca, clorita, grafito, turmalina, cir-

cón y minerales opacos (figura 2). Esta mineralogía se encuentra en arreglos texturales que varían desde texturas granoblásticas, lepidoblásticas, porfidolepidoblásticas y granolepidoblásticas.^{18,20,21} En las unidades metavolcánicas es posible reconocer algunos minerales relictos como clinopiroxeno, principalmente diópsido, y minerales metamórficos: prehnita, pumpellita ferro-alumínica, minerales del grupo de la epidota (zoisita- clinozoisita), anfíbol con variaciones de ferroactinolita a actinolita, mica blanca, clorita y albita^{23,24} (figura 2). Las muestras metavolcánicas preservan algunos rasgos texturales originales como texturas de enfriamiento rápido en feldespato, vesículas originales reemplazadas por albita, cuarzo y clorita, mientras que los clinopiroxenos originales ocurren como agregados en masa, y varían de texturas metaporfidíticas a metaporfidolepidoblásticas.²⁰⁻²⁴

En los cuerpos ultramáficos se identificaron texturas metagranular y metaofítica en metagabros y texturas en malla y hoja en serpentinitas. Estas muestras presentan asociaciones minerales de serpentina (crisotilo-antigorita), Crespina, petlandita y estichtita en serpentinitas, mientras que en el metagabro se identifican grosularia, anfíbol y clinopiroxeno.^{20,21}

MINERALOQUÍMICA

Mica (fengita)

La mica la contienen todas las rocas metasedimentarias y metavolcánicas del Esquisto Granjeno. Ocurre como cristales tabulares, en venas y en contacto con fenocristales de albita.

La mica del Esquisto Granjeno presenta relaciones Si/Al en la posición tetraédrica mayor a 3:1, y valores de Si = 3.3 apfu (por sus siglas en inglés) para O = 11 por unidad de fórmula, así como relaciones catiónicas $^{VI}R^{2+}/(^{VI}R^{2+}+^{VI}R^{3+})$, que incluyen Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Mn, Al y $^{VI}Al/(^{VI}Al+^{VI}Fe^{3+})$ que varían desde 0.34 a 1.00 y de 0.13 a 0.26, de acuerdo a estos valores, la composición de las micas en las rocas metasedimentarias corresponde a fengita.

La mica de las rocas metavolcánicas presenta relaciones Si/Al en la posición tetraédrica mayor a 3:1, y valores de Si = 3.4 apfu. Según los valores de las relaciones catiónicas $^{VI}R^{2+}/(^{VI}R^{2+}+^{VI}R^{3+})$ 0.31 a 0.36 y 0.84 a 0.88, y $^{VI}Al/(^{VI}Al+^{VI}Fe^{3+})$ 0.21 a 0.24 y 0.83 a 0.92, la composición de las micas corresponde a fengita y fengita aluminoceladonítica en las rocas metavolcánicas.

Clorita

La clorita consta del mineral metamórfico más abundante en las rocas metasedimentarias y metavolcánicas. Se presenta como matriz fina, al rellenar colas de presión en las rocas metasedimentarias, como parches intersticiales irregulares en plagioclasa, y rellena amígdalas en las rocas metavolcánicas.

La clorita de las rocas metavolcánicas presenta relaciones de Fe/(Fe+Mg) con valores aproximados de 0.5 y 0.3 a 0.4 (apfu) y de Si = 2.5 a 2.7 y de 2.8 a 3.5 (apfu), valores que corresponden a ripidolita y picnoclorita, respectivamente.

Los valores de las relaciones Fe/(Fe+Mg) de 0.4 y 0.1 (apfu) y de Si = 2.7 a 3.7 y 3.0 (apfu) corresponden a ripidolita y clinocloro, respectivamente, para la clasificación de la clorita en las rocas metaultramáficas.

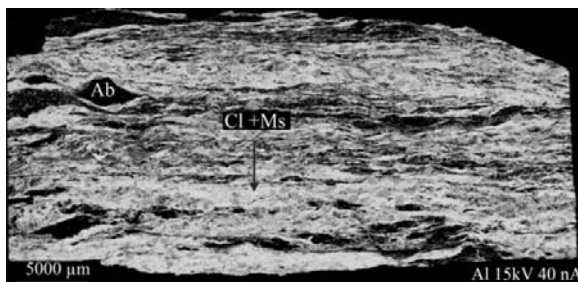


Fig. 2a. Mapa composicional obtenido por análisis de EMPA. Muestra cc7 de metapelita, según su concentración de Al (wt%). En negro, aparecen los porfidoblastos de albita rodeado por micas y clorita. Ab: albita, Al: aluminio, Cl: clorita, kV: kilovoltio, Ms: micas, nA: nanoamperio.

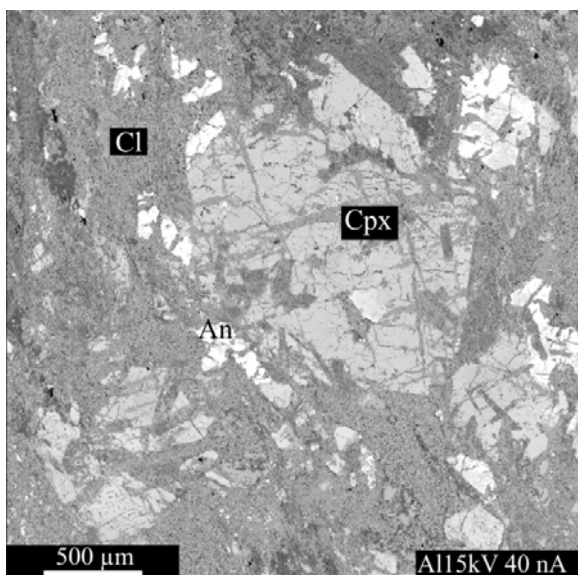


Fig. 2b. Muestra metavolcánica Bu1 según su concentración de Al (wt%). Cristales de anfíbol y clinopiroxeno, inmersos en una matriz de clorita. An: anfíbol, Cl: clorita, Cpx: clinopiroxeno, kV: kilovoltio, Mg: magnesio, Ms: micas, nA: nanoamperio.

Geotermobarometría

Los caracteres texturales, paragenéticos y químicos de la fengita estudiada revelan un origen metamórfico. La fengita es un buen indicador de presión, según Massonne & Schreyer,²⁵ quienes idearon un geobarómetro basado en su contenido en Si por unidad de fórmula (apfu).

El Si apfu analizado en la fengita es de aproximadamente 3.4. Dachs²⁶ pondera como de alta P a aquellas fengitas cuyo Si (apfu) = 3.4; por lo que, con base en este autor, las fengitas del Esquisto Granjeno cristalizaron a presiones de 2.5 a 4 kbar, ya que la clorita es un mineral común en diversos tipos de rocas y ambientes geológicos. Este mineral muestra una amplia gama de composiciones químicas que reflejan sus condiciones fisicoquímicas de formación. Por lo tanto, la clorita presenta un interesante potencial para realizar estimaciones termométricas.

Con el fin de conocer las condiciones térmicas en que estas unidades metamórficas se formaron, se utilizó un geotermómetro empírico de clorita $T(^{\circ}\text{C}) = 213.3 \text{ Al}^{\text{IV}} + 17.5$, propuesto por Cathelineau & Nieva.²⁷ Las condiciones de temperatura para las unidades del Esquisto Granjeno se presentan en la tabla I.

Tabla I. Rangos de temperatura metamórfica del Esquisto Granjeno.^{20,21}

Unidades metasedimentarias		Unidades metavolcánicas	
Localidad	Temperatura	Localidad	Temperatura
Aramberri	320 °C	Aramberri	250 °C
Novillo	330 °C	Novillo	320 °C
Peregrina	340 °C	Peregrina	350 °C
Miquihuana	270 °C	Bustamante	220 °C
Caballeros	360 °C		

DISCUSIÓN

La presencia de las asociaciones mineralógicas cuarzo + albita + muscovita / fengita + clorita + grafito + turmalina + circon¹⁸ y las asociaciones de prehnita + pumpellita + epidota + actinolita + aluminoceladonita / muscovita + clorita + albita,²⁰⁻²⁴ aunado al uso del geotermómetro de clorita de Cathelineau & Nieva²⁷ y el barómetro de fengita indican que las rocas metasedimentarias del Esquisto Granjeno fueron metamorfozadas en rangos de presión y temperaturas entre los 2.5 y 4 kbar y los 270 a 360°C, lo que corresponde a facies de esquistos verdes, mientras que las unidades

metavolcánicas presentan valores de presión similares de 2.5 y 4 kbar y temperaturas ligeramente bajas de 220 a 350°C, e indican un metamorfismo en facies subesquistos verdes.^{21,23}

CONCLUSIONES

Con base en las asociaciones minerales anteriormente descritas, se interpreta que los protolitos tienen un origen siliciclástico y volcánico de composiciones intermedia máfica, así como ultramáfica.

Barboza *et al.*¹⁹ fecharon circones detríticos con el método U-Pb procedentes de metapsammitas y metapelitas. La geocronología de circones detríticos permitió reconocer poblaciones de circones con edades de formación de 1250-920 Ma (orogenia grenviliana) y de 730-530 Ma (orogenia panafricana). Además destacan algunas diferencias en la edad máxima del depósito (530-458 Ma) para las sucesiones expuestas en las localidades de Caballeros, Miquihuana y Bustamante. Estas diferencias se interpretarían como indicativas de un periodo prolongado para el depósito de toda la sucesión metasedimentaria, que abarcaría probablemente desde el Neoproterozoico hasta el Silúrico o posiblemente el Devónico. Ya que las distintas muestras presentan una población significativa de circones, con edades afines al Mesoproterozoico, indican que el área fuente principal de los sedimentos portadores consistió en el bloque oaxaqueño. Mientras que la presencia de circones detríticos con edades afines al Neoproterozoico pueden imputarse a algún bloque de origen panafricano; por ejemplo, los bloques de Yucatán y Florida, así como otras posibles áreas del continente Gondwana.

La presencia de litologías metasedimentarias intercaladas con rocas metavolcánicas, asimismo la presencia de escamas ultramáficas en la unidad, sugiere un ambiente de corteza oceánica. El evento de metamorfismo en facies de subesquistos verdes y esquistos verdes lo causa la actividad de subducción durante el Mississippico hasta posiblemente el límite Pennsilvánico-Pérmico (340±30 a 300 Ma), en el margen occidental ecuatorial de Pangea como un cinturón no colisional, en una etapa posterior a la colisión entre Laurentia y Gondwana (figura 3).

RESUMEN

El basamento paleozoico de la Sierra Madre Oriental aflora en el anticlinorio Huizachal-Peregrina, los altos de Miquihuana-Bustamante en Tamaulipas, así como en el alto

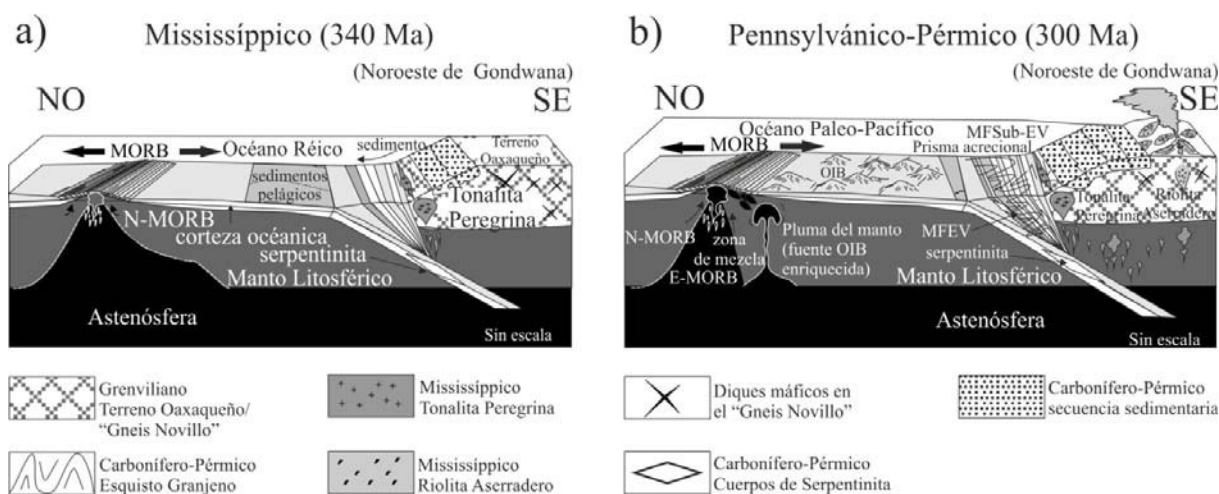


Fig. 3. Diagrama esquemático que muestra la evolución del Esquisto Granjeno.^{9,10} MORB: basalto de cresta oceánica, N-MORB: basalto normal de cresta oceánica, MFEV: metamorfismo en facies de esquistos verdes, MFSUB-EV metamorfismo en facies de subesquistos verdes, NO: noroeste, OIB: basalto de isla oceánica, SE: sureste.

de Aramberri, en Nuevo León. El basamento consiste en una secuencia volcanosedimentaria de rocas metamórficas de protolitos sedimentarios e ígneos, conocida como Esquisto Granjeno. Estas rocas representan remanentes de la configuración continental de México durante el Paleozoico tardío. El evento metamórfico de bajo grado que originó a la unidad del Esquisto Granjeno ocurrió durante el Devónico Inferior-Mississippico. Este evento se asocia a un proceso de subducción en la margen occidental de Pangea posterior a la colisión de Laurentia y Gondwana.

Palabras clave: Esquisto Granjeno, Paleozoico, Pangea, Laurentia, Gondwana.

ABSTRACT

The Paleozoic basement of the Sierra Madre Oriental crops out in the Huizachal-Peregrina anticlinorium, the Miquihuana-Bustamante uplifts in Tamaulipas, and the Aramberri uplift in Nuevo Leon. The basement comprises intercalations of metamorphic rocks with both sedimentary and igneous protoliths, known as the Granjeno Schist. These rocks represent remnants of the Mexican Paleozoic continental configuration. The low-grade metamorphic event that produced the Granjeno Schist occurred during the Late Devonian-Silurian. This event is associated with subduction related to post Laurentia-Gondwana collision.

Keywords: Granjeno Schist, Paleozoic, Pangea, Laurentia, Gondwana.

REFERENCIAS

1. Bazán-Perkins, S.D., Bazán-Barrón, S. Sucesión litoestratigráfica del Precámbrico de México y la génesis de su metamorfismo regional. Libro de resúmenes del Simposio Dr. Zoltan de Cserna, Instituto de Geología, UNAM, 2011, p. 151-158.
2. Brown, W.G. Basement involved tectonics, Foreland areas, AAPG Continuing Course Note Series, 1984, Vol. 26, p. 92.
3. Jackson, J.A. (ed.), Glossary of Geology, 4th edition, American Geological Institute, 1997, 779 p.
4. Edwards, J. The petrology and structure of the buried Precambrian basement of Colorado, Colorado School of Mines Quart, 1966, Vol. 61, No. 4, p. 2351-2380.
5. Campa, M.F., Coney, P.J. Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences, 1983, Vol. 6, No.20, p. 1040-1051.
6. Suter, M., Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold belt in east-central Mexico, Geological Society of America Bulletin, 1987, Vol. 98, p. 249-264.
7. Marrett, R.A., Aranda, G.M. Structure and kinematic development of the Sierra Madre Oriental fold belt, México. En Wilson, J.L., Ward, W.C., Marrett, R. eds., Stratigraphy and Structure of the Jurassic and Cretaceous Platform and Basin Systems of the Sierra Madre Oriental; Monterrey and Saltillo Áreas; Northeastern México, a Field Book and Related Papers. South-Texas Geological Society, San Antonio, Tx, 1999, p. 69-98.
8. Padilla y Sánchez, R.J. Las estructuras de la curvatura de Monterrey, Estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1985, Vol. 6, p. 1-20.
9. Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M., Marret, R. Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 2000, Vol. 53, p. 1-26.

10. Carrillo-Bravo, J., Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1961, Vol. 13, No. 1-2, p. 1-98.
11. Ramírez-Ramírez, C. Reinterpretación tectónica del Esquisto Granjeno de Ciudad Victoria, Tamaulipas: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis profesional, 1978, p. 78.
12. Cserna, Z. de, An outline of the geology of Mexico. In: Bally, A.W. y A.R. Palmer (eds.), The Geology of North America-An overview: Geological Society of America, Decade of North American Geology, 1989, p. 233-264.
13. Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno-García, E., Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. *Geology*, 1995, Vol. 23, No. 12, p. 1127-1130.
14. Keppie, J.D., Ramos, V.A.R., Odyssey of terranes in the Iapetus and Rheic oceans during the Paleozoic, en Ramos, V.A., Keppie, J.D. (eds.), *Laurentia Gondwana Connections Before Pangea*, Geological Society of America Special Paper, 1999, Vol. 336, p. 267-275.
15. Mickus, K., Montana, C., Crustal structure of northeastern Mexico revealed through the analysis of gravity data. In: Bartolini, C., J.L. Wilson y T. F. Lawton (eds.), *Mesozoic sedimentary and tectonic history of North-Central Mexico: Geological Society of America Special Paper*, 1999, Vol. 340, p. 357-371.
16. Dowe, D.S., Nance, R.D., Keppie, J.D., Cameron, K.L., Ortega-Rivera, A., Ortega-Gutiérrez, F., Lee, J.W.K. Deformational history of the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, México: constraints on the closure of the Rheic Ocean? *International Geology Review*, 2005, Vol. 47, p. 920-937.
17. Nance, R.D., Linnemann, U., The Rheic Ocean: origin, evolution, and significance. *GSA Today*, 2008, Vol. 18, No. 12, p 4-12.
18. Torres Sánchez, S.A., *Petrología e Interpretación Geodinámica del Esquisto Granjeno en el Cañón de Caballeros, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, NE de México: Linares, Nuevo León, México*, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de licenciatura, 2009, 186 p.
19. Barboza-Gudiño J.R., Ramírez Fernández, J.A. Torres Sánchez, S.A., Valencia, V.A. Geocronología de circones detríticos del Esquisto Granjeno en el Noreste de México: Implicaciones tectónicas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 2011, Vol. 63, No. 2, p. 201-216.
20. Torres Sánchez, S.A., Augustsson, C., Ramírez Fernández, J.A., Barboza Gudiño, J.R., Jenchen, U., Abratis, M., Geochemistry and metamorphism of the Paleozoic metasedimentary basement of the Sierra Madre Oriental, NE Mexico. Possible paths from their depositional environment?, *Geological Society of America Abstract with programs*, 2013, Vol. 45, No. 3, p. 60.
21. Torres Sánchez, S.A., Augustsson, C., Ramírez Fernández, J.A., Barboza Gudiño, J.R., Jenchen, U., Abratis, M., Geochemistry and metamorphism of the Paleozoic metasedimentary basement of the Sierra Madre Oriental, NE México. Possible paths from their depositional environment?, *Geophysical Research Abstracts*, 2013b, Vol. 15, p. 178.
22. Tucker, M.E., *Methoden der Sedimentologie*, Ed. Enke, 1996, 366 p.
23. Ramírez Fernández, J. A., Torres Sánchez S.A., Jenchen, U., Barboza-Gudiño, J.R., Origin of metavolcanic units of the Paleozoic metamorphic basement of the Sierra Madre Oriental, in NE Mexico, *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 2012, Vol. 44, No. 1, p. 10.
24. Torres Sánchez, S.A., Ramírez Fernández, J.A., Jenchen, U., Barboza Gudiño, J.R., Augustsson, C. Evidence of volcanism in the Paleozoic metamorphic basement of the Sierra Madre Oriental, NE-Mexico, *Geophysical Research Abstracts*, 2012, Vol. 14, p. 179.
25. Massonne H.J. & Schreyer, Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite, and quartz. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, Vol. 96, No.2, p. 212-224.
26. Dachs, E., Geothermobarometry in metasediments of the southern Grossvenediger area (Tauern Window, Austria). *Journal of metamorphic Geology*, 1990, Vol. 8, No. 2, p. 217-230.
27. Cathelineau, M., & Nieva, D., A chlorite solid solution geothermometer the Los Azufres (México) geothermal system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1985, Vol. 91, No. 3, p. 235-244.

*Recibido: 12/09/14
Aceptado: 19/10/14*