

Cinturones orogénicos sepultados bajo la Sierra Madre Oriental: basamento precámbrico y paleozoico

JUAN ALONSO RAMÍREZ FERNÁNDEZ*, UWE JENCHEN*

La Sierra Madre Oriental (SMOr) es el elemento geográfico y geológico más destacado del noreste de México. Es un cinturón montañoso que se extiende por más de 1,500 km, con un ancho que ronda en los 80 km y con una elevación máxima en el Cerro del Potosí de 3,713 metros sobre el nivel del mar.¹ La SMOr se extiende por los estados de Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León en el norte y se prolonga hacia el centro del país donde es cubierta por los productos del Cinturón Volcánico Mexicano.² En la región limita con la Planicie Costera del Golfo de México, mientras que hacia el oeste lo hace con el Altiplano Mexicano o Mesa Central.

La SMOr forma parte del Sistema Cordillerano de Norteamérica, que se prolonga desde Canadá y EUA, hasta nuestro país. Geológicamente es un cinturón cabalgado y plegado, que consiste en una potente secuencia primordialmente marina de edad mesozoica. Ésta se depositó en la incipiente cuenca del Golfo de México una vez que se desmembró el megacontinente Pangea a fines del Paleozoico. Posteriormente, y ya en el Cenozoico, estos potentes paquetes sedimentarios fueron levantados del fondo marino y deformados en dirección NE. Este proceso orogénico se asocia a la acreción del gran Terreno Guerrero³ y a la subducción en la margen pacífica de nuestro país. Esta deformación ha sido relacionada con los eventos Laramide y Sevier en EUA, pero en nuestro país algunos autores lo denominan Orogenia Hidalgoana.⁴

La SMOr cuenta con un basamento geológico ancestral que subyace a la potente secuencia sedimentaria (figura 1). Basamento se define como un complejo indiferenciado de rocas que subyacen a otra secuencia litológica de interés en un área en particular.⁵ El basamento de la SMOr está conformado por testigos litológicos de importantes procesos geológicos de alcances no solamente regionales, sino globales. Estos procesos están íntimamente ligados a movimientos a escalas continentales de las placas tectónicas, durante el Precámbrico y el Paleozoico. En nuestro país son muy escasas las rocas de



Figura 1. Ejemplo de afloramiento de la secuencia sedimentaria mesozoica sobre el basamento de la SMOr. La cima de este último representa la máxima altura de una antigua cadena montañosa que fue sepultada durante una transgresión marina, para posteriormente ser nuevamente exhumada y erosionada hasta su situación actual. Localidad Virgen del Contadero, Aramberri, N.L.

estas edades, debido a que se encuentran generalmente sobreycadas por secuencias de provincias geológicas más jóvenes.

Los afloramientos del basamento precámbrico y paleozoico de la SMOr en el NE de México se localizan en los estados de Tamaulipas y Nuevo León, en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina (AHP), los Altos de Bustamante y Miquihuana (Tamps.) y Aramberri (N.L.; figura 2).⁶ Estos complejos fueron exhumados gracias a profundas fallas a lo largo de rampas que permitieron que las rocas del basamento fueran traídas hasta la superficie actual.

Estos complejos han sido estudiados a detalle desde hace más de medio siglo. Sin embargo, no es sino hasta los últimos años y gracias a trabajos de campo más detallados, a la aplicación de técnicas analíticas más avanzadas y la correlación con complejos similares de otras partes de México y del mundo,

* Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra. Contacto: alonso_fct@hotmail.com

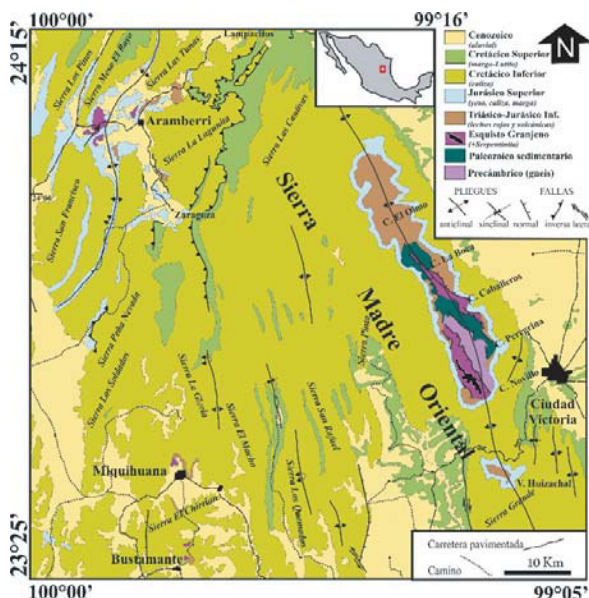


Figura 2. Distribución de las unidades del basamento premesozoico (en colores oscuros) de la Sierra Madre Oriental, en los estados de Tamaulipas y Nuevo León.⁶

que se cuenta con una visión más integral de su desarrollo. El objeto de este trabajo es presentar de manera comprensiva y sucinta los modelos geológicos más actuales para las unidades que conforman el antiguo basamento de la SMOr, y de manera muy breve su importancia económica.

UNIDADES LITOLÓGICAS DEL BASAMENTO

El basamento precámbrico y paleozoico de la SMOr se compone de cuatro grandes unidades fácilmente reconocibles en campo. Los afloramientos más completos se localizan en el Anticlinorio Huizachal Peregrina (figura 2), en las inmediaciones de Cd. Victoria, Tamaulipas. Se trata de un gran pliegue cuyo núcleo se encuentra erosionado. Las unidades del basamento se agrupan en cuatro asociaciones geológicas (de lo más antiguo a lo más joven): Gneis Novillo, Esquisto Granjeno, Tonalita Peregrina y la Secuencia Sedimentaria y Volcánica Paleozoica. Estas unidades están en contacto a lo largo de fallas con orientación NW-SE.

COMPLEJO METAMÓRFICO PRECÁMBRICO GNEIS NOVILLO

El Gneis Novillo (GN) aflora únicamente en el AHP y representa la unidad geológica más antigua de todo el noreste de México. Se trata de una compleja asociación de litologías fuer-

temente metamorizadas bajo condiciones de facies de granulita (equivalente a ~ 10 kbar y $\sim 800^\circ\text{C}$).⁷ De acuerdo a Trainor *et al.*,⁷ se compone de dos asociaciones con edades mesoproterozoicas, de extensión aún desconocida. La más antigua fue fechada con 1.1 a 1.2 Ga (U-Pb en circones)⁹ y contiene metagranitos, metagabros y calcosilicatos. La más joven tiene un rango de edad de ~ 1 Ga, y se compone de una secuencia de anortositas-mangeritas-chnoquitas-granitos. Se considera que la edad del pico del metamorfismo es de 990 millones de años. Estas rocas fueron atravesadas por diques básicos pre y posmetamórficos¹⁰ de edades de ca. 546 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda).¹¹

Los gneises son fácilmente reconocibles en el fondo de las cañadas, por sus típicas alternancias bandeadas claro-oscuras (figura 3). La mineralogía típica es plagioclasa, cuarzo, clinopiroxeno y ortopiroxeno y granate.

En el GN se ha reportado la presencia de oro¹² con leyes de hasta 4 gr/ton y titanio^{13,14} (aprox. 7,000 ton en rocas nelsoníticas).¹⁵ Otro importante georecurso son las rocas dimensionables, que sin embargo no es explotado aún.

En las publicaciones más antiguas el GN fue correlacionado con el cinturón grevilliano de Norteamérica.¹⁶⁻¹⁸ Asimismo, se postuló la existencia de una gran falla, conocida como Megacizalla Mojave-Sonora^{19,20} que habría desplazado al GN hacia el Este desde una posición inicial en el NW de México. Sin embargo, correlaciones con el complejo Oaxaquia (figura 4) del sur de México e incluso el análisis de las rocas paleozoicas del mismo Anticlinorio Huizachal-Peregrina,²¹ indican que el GN nunca estuvo en contacto con rocas contemporáneas de Norteamérica, sino que forman parte de un



Figura 3. Afloramiento masivo del Gneis Novillo en su variedad bandeada, Cañón Novillo, AHP. Las bandas oscuras (melanocráticas) están formadas por granates, piroxenos y albitas, mientras que las claras (leucocráticas) son cuarzo-feldespáticas.

microcontinente aislado denominado Oaxaquia, que se integró al antiguo megacontinente Rodinia (del ruso *родина*, *ródina*, patria) y más tarde se ensambló a Gondwana^{22,23} (Gondwana, en sánscrito: bosque de Gond, India). El GN es correlacionable con Oaxaquia por su litología y estilo estructural, más allá de pequeñas diferencias tectónicas.⁸ Después de la ruptura de Pangea (del griego “toda la Tierra”), a fines del Paleozoico, Oaxaquia pasa a formar la columna vertebral de la geología de México.

COMPLEJO METAMÓRFICO PALEOZOICO ESQUISTO GRANJENO

La siguiente unidad es el denominado Esquisto Granjeno (EG), que se localiza en el núcleo del AHP (figura 4), en contacto tectónico con el Gneis Novillo, y en los Altos de Bustamante, Miquihuana y Aramberri. En estas tres últimas localidades el EG es la única unidad que aflora del antiguo basamento.

El EG se compone de secuencias fuertemente deformadas, constituidas por rocas metamórficas con protolitos (rocas originales antes del metamorfismo) de lutitas, areniscas, turbiditas, escasas calizas, además de intercalaciones de tobas y lavas básicas.²⁴ Las rocas originales experimentaron modificaciones mineralógicas, texturales y químicas, bajo condiciones de metamorfismo de esquistos verdes durante el Carbonífero.²⁵ En campo se reconoce su fuerte foliación (ordenamiento de los minerales planares por esfuerzos tectónicos) y plegamiento, bandas de cuarzo y coloraciones grises (figura 5), verdes y ocre.

La litología resultante es muy variada dependiendo del protolito; desde esquistos de muscovita y albita con cuarzo, esquistos de clorita y talco hasta cuarcita. En algunos casos se presenta grafito, indicando eductos ricos en materia orgánica (lutita orgánica). Estos depósitos formaron parte de la

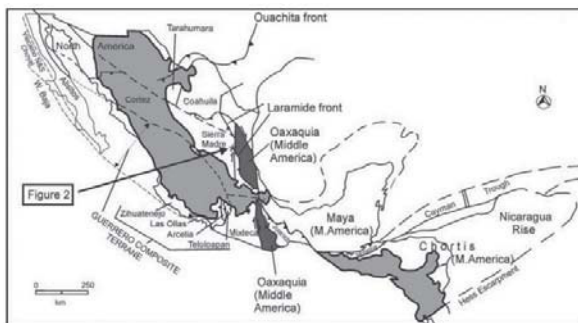


Figura 4. Distribución de los terrenos Oaxaquia y Granjeno-Acatlán.²² AHP: Anticlinorio Huizachal-Peregrina.

antigua cuenca de trinchera situada en la margen noroccidental de la ancestral Gondwana (durante el Paleozoico).

Esta secuencia originalmente fue correlacionada con el Cinturón Ouachita-Marathon, que forma parte del sistema colisional Apalachiano de EUA y Canadá y que se extiende hasta Europa (Cinturón Variscico). Sin embargo, las interpretaciones más recientes indican que el EG representa más bien la culminación al norte del Cinturón Granjeno-Acatlán, que se extiende al sur de nuestro país.^{6,24} Esto ha sido documentado por la presencia de circones detríticos cuyas edades por el método U-Pb son principalmente grenvillianas (1250-920 Ma) y panafricanas (730-530 Ma), lo que permite la correlación con la parte NW de Gondwana (ahora Sudamérica) y no de Laurentia (ahora Norteamérica).⁶

En la unidad del Esquisto Granjeno y únicamente en el AHP se localiza un cuerpo sumamente irregular de rocas serpentiniticas. Estas rocas de notable coloración verdosa y de tacto graso característico, se componen de minerales del grupo de la serpentina²⁶ (figura 6). De manera concreta se ha descrito la presencia de minerales exóticos, como la estichtita ($Mg_6Cr_2(OH)_{16}[CO_3]4H_2O$; figura 6) y la piroaurita ($Mg_6Fe_2^{3+}(OH)_{16}[CO_3]4H_2O$) que son carbonatos hidratados del grupo de la hidrotalcita.²⁷ La presencia de éstos se debe a la descomposición de espinelas (magnesioferrita, magnesio-cromita y espinela)²⁷ en presencia de H_2O , CO_2 y CH_4 . Cabe mencionar que estos minerales se conocen únicamente en una docena de localidades del mundo.²⁸

Alemán Gallardo²⁶ ha denominado a este cuerpo como Serpentinita Victoria (SV), en virtud que aunque esté emplazado en forma de cuña interna en el Esquisto Granjeno, sus características litológicas lo distinguen claramente del resto de las rocas. La serpentinita ha sido interpretada como un cuerpo obducido de antigua corteza oceánica, previamente hidrotermalizada (transformación de olivinos a serpentina por incorporación de H_2O). Ambas unidades, SV y EG quedarían unidas al GN (previamente ensamblado a Gondwana) durante el empuje de la Placa Paleopacífica bajo Gondwana durante el Paleozoico tardío (> 250 Ma).

En el EG se aprovechan económicamente serpentinita (Cd. Victoria) y talco y cuarcita (Aramberri). La serpentinita se utiliza como roca dimensionable, en la escultórica (como sustituto del jade), en hornos como refractario, como escudo en reactores nucleares y en la metalurgia. El talco es útil en la industria de los plásticos, de la cerámica, de las pinturas, del papel, de la cosmética, como roca dimensionable, entre otras. La cuarcita se utiliza para procesos metalúrgicos, para fabricar ladrillos de sílice y como roca ornamental.



Figura 5. Variedad pelítica del Esquisto Granjeno, Cañón de Caballeros, AHP.



Figura 6. Serpentina (verde) conteniendo estichtita (lila) en el Cañón Novillo, AHP.

TONALITA PEREGRINA DEL PALEOZOICO

Un cuerpo ígneo de composición granítica representa la tercera unidad del basamento. Éste se emplazó tectónicamente entre el Gneis Novillo y el Esquisto Granjeno como un bloque irregular, con una longitud aproximada de 15 km, con un espesor altamente variado alcanzando un máximo de 1.7 km hasta cuñarse completamente. No muestra efectos de metamorfismo, sin embargo, presenta cristales deformados lo que pone en evidencia que la falla a lo largo de su emplazamiento seguía activa durante el ascenso del cuerpo magmático.

De León Barragán²⁹ describe esta unidad como Tonalita Peregrina; se trata de un plagiogranito con plagioclasa, ortoclasa, cuarzo, biotita, sericita y otros minerales accesorios, en una textura hipidiomórfica inequigranular parcialmente

deformada. Esta unidad fue fechada con 351 ± 54 Ma, por U-Pb en circones y 313 ± 7 Ma en muscovita.²⁵

La composición geoquímica (elementos mayores y traza) de la Tonalita Peregrina²⁹ indica que este cuerpo formó parte de un arco continental, es decir, un complejo ígneo plutónico en una margen continental activa. Este modelo concuerda con la edad del metamorfismo del Esquisto Granjeno, ya que mientras este último se metamorfizaba por la compresión de la placa oceánica en subducción, ascendieron magmas formados eventualmente a partir de la anatexis (fusión parcial) de rocas corticales similares al GN.

SECUENCIA SEDIMENTARIA Y VOLCÁNICA PALEOZOICA

Suprayaciendo al Gneis Novillo y exclusivamente en el AHP aflora una secuencia primordialmente sedimentaria, que, aunque fue fuertemente deformada, no presenta ningún rasgo de metamorfismo.

Esta secuencia ha sido separada en formaciones, de acuerdo a criterios litológicos y de edades. Predominan las rocas sedimentarias siliciclásticas y calcáreas, con escasas volcánicas, agrupadas en las siguientes Formaciones:^{21,30} *a)* Cañón de Caballeros, del Silúrico, *b)* Vicente Guerrero, del Misisípico (Carbonífero), *c)* Riolita Aserradero, del Misisípico, *d)* Del Monte, del Pensilvánico y *e)* Guacamaya, del Pérmico. Cabe mencionar que la Riolita Aserradero debe considerarse una litodema y no una formación,⁵ ya que su origen es ígneo.

Las secuencias sedimentarias son de origen marino profundo y pueden ser correlacionadas con los protolitos del Esquisto Granjeno, es decir, son rocas depositadas en una cuenca a lo largo de una margen de convergencia, en una zona de trincheras. Las formaciones más antiguas presentan asociaciones faunísticas gondwánicas,²¹ mientras que las más jóvenes presentan más bien afinidades laurénicas. Esto implica que la cuenca en donde se depositó esta secuencia, localizada inicialmente en las inmediaciones de la margen NW de Gondwana, paulatinamente recibió la influencia de aguas cercanas del SW de Laurentia. Esto sin que se haya presentado una verdadera colisión continental, como en el caso de las rocas equivalentes en los Apalaches de EUA.

Por otra parte, la presencia de la Riolita Aserradero (figura 7), que litológicamente podría ser el equivalente volcánico de la Tonalita Peregrina, motivó al establecimiento de la hipótesis de una petrogénesis en común. Su edad, de 334 ± 39 Ma (U-Pb en circones)²¹ favorece el establecimiento de tal hipótesis. Sin embargo, ambas unidades no son equivalentes, debi-



Figura 7. Afloramiento de la Riolita Aserradero, mostrando la coloración clara típica, con textura fluidal de una lava viscosa en dos generaciones de flujo. Cañón Caballeros, Anticlinorio Huizachal-Peregrina.

do a que presentan concentraciones y relaciones geoquímicas (por ejemplo, contenidos de elementos como Rb, REE) muy dispares.²⁹ El carácter volcánico subaéreo de la riolita implica necesariamente que ésta se emplazó por un evento tectónico entre la secuencia sedimentaria marina, o bien en una fase en que ésta se encontraba expuesta en superficie. Su emplazamiento pudo bien haberse llevado a cabo durante el ensamble de Pangea.

CONCLUSIONES

Actualmente la SMOr es el elemento geográfico dominante en el paisaje del noreste de México. Sin embargo, las rocas de su basamento atestiguan la existencia de antiguas montañas (al menos de dos grandes generaciones) que fueron erosionadas y sepultadas por secuencias litológicas más jóvenes. La primera de ellas, atestiguada por el Gneis Novillo del Precámbrico, representa las raíces de un sistema montañoso denominado Grenvilliano, cuyos vestigios se localizan principalmente en el sur de México (complejo Oaxaquia), Canadá, pero también en Escandinavia, Australia y la Antártida. Éste se formó durante el ensamblado del antiguo megacontinente Rodinia. Este continente se desmembró paulatinamente y nuevamente fue unido, para formar el megacontinente Pangea a fines del Paleozoico e inicio del Mesozoico (Permo-Triásico). Durante el proceso de la separación de Rodinia se formaron cuencas sedimentarias, contenidas en el basamento de la SMOr como la secuencia no metamorfizada del Paleozoico. Parte de esta secuencia, o bien una secuencia análoga, fue la precursora del Esquisto Granjeno. El EG contiene un cuerpo emplazado

tectónicamente, que representa restos de corteza oceánica que no fue subducida. En su conjunto el Esquisto Granjeno se acrecionó contra el Gneis Novillo, que formaba parte en aquel entonces de Gondwana. Durante los eventos de sedimentación marina y metamorfismo se desarrollaron arcos magmáticos de tipo andino en la antigua Gondwana. Estos cuerpos ígneos de los cuales formaron parte la Tonalita Peregrina y la Riolita Aserradero, fueron su momento importantes elevaciones geográficas. Todo este ensamble litológico fue parte de Gondwana (que comprendía Sudamérica, África, Arabia, India, Antártida y Australia) hasta fines del Paleozoico (>250 Ma). Una vez que se ensambla Pangea a fines del Paleozoico, incluyendo todas las masas continentales, se revierte la dinámica de las placas tectónicas y éstas inician un nuevo proceso de separación. Durante esta fase, sectores de Gondwana se dispersan, quedando como vestigios integrados en la actual Norteamérica.

Así, el basamento de la Sierra Madre Oriental contiene restos de cinturones montañosos que durante su formación se localizaban en otros continentes y en otras latitudes. Una vez que Pangea se desmembró a inicios del Mesozoico, se abren nuevas cuencas, entre ellas el Golfo de México y el Océano Atlántico, cuyos bordes cubrieron grandes partes del territorio mexicano actual. Los materiales depositados en esas cuencas representan las rocas clásticas y calcáreas que predominan en la secuencia litológica que cubre al basamento y por ende los antiguos cinturones montañosos que ahora yacen sepultados.

RESUMEN

La geología y, por ende, el paisaje del noreste de México están dominados por la presencia del cinturón montañoso de la Sierra Madre Oriental. Gracias al registro litológico del basamento que la subyace, es posible interpretar una serie de eventos orogénicos de tiempos ancestrales de la Tierra: Precámbrico (~1,000 millones de años) y Paleozoico (550-250 millones de años). Durante el Precámbrico se desarrolló la Orogenia Grenvilliana, mientras que en el Paleozoico se formó el Cinturón Granjeno-Acatlán. Asociados a este último se emplazaron arcos plutónicos y volcánicos continentales. Cada uno de estos procesos formaron cinturones orogénicos que con el paso del tiempo fueron paulatinamente transportados a distancias continentales, yuxtapuestos, erosionados, sepultados por secuencias más jóvenes y, finalmente expuestos nuevamente en superficie. Estos son testigos de los continuos y poderosos procesos de los movimientos de las placas tectónicas que moldean la faz de la Tierra.

Palabras clave: Sierra Madre Oriental, basamento, Rodinia, Gondwana, Pangea.

ABSTRACT

The geology of Northeastern Mexico and therefore, its landscape, is dominated by the Sierra Madre Oriental mountain range. By studying the lithological record of the SMO basement, it is possible to interpret orogenic events from ancient times: Precambrian (~1,000 Ma) and Paleozoic (550-250 Ma). During Precambrian times the Grenville orogenic belt was developed, whereas during Paleozoic times the Granjeno-Acatlán was formed. Contemporaneously plutonic and volcanic continental arcs were emplaced. Each of these events were responsible for the building of large mountain belts. They were later transported at continental distances, accreted, eroded, covered by younger sequences, and finally exposed on the surface. All of these events and their geological products are witnesses of the continuous and powerful processes of the tectonic plate movements which mold the Earth's surface.

Keywords: Sierra Madre Oriental, basement, Rhodinia, Gondwana, Pangea.

REFERENCIAS

- Ramírez Fernández, J.A. y Masuch Oesterreich, D. Desarrollo geológico de continentes ancestrales y océanos a sierras. En Cantú Ayala, C. y Sariñá Garza, F. (eds.): Historia natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México, Universidad Autónoma de Nuevo León. La Comisión de Áreas Naturales Protegidas de la SEMARNAT y el Fondo Editorial de Nuevo León, 2013, p. 59-77.
- Lugo-Hubp, J. El relieve de la república mexicana, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, 1990, vol. 9, núm. 1, p. 82-111.
- Centeno-García, E., Guerrero-Suastegui, M., and Talavera-Mendoza, O. The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone, in Draut, A., Clift, P.D., and Scholl, D.W., eds., Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones, Geological Society of America Special Paper, 2008, vol. 436, p. 279-308.
- Gray, G.G., Lawton, T.F. New constraints on timing of Hidalgoan (Laramide) deformation in the Parras and La Popa basins, NE Mexico, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 2011, vol. 63, núm. 2, p. 333-343.
- Jackson, J.A. Glossary of Geology, American Geological Institute, 1997, 4ª. Edición, 769 pp.
- Barboza-Gudiño J.R., Ramírez Fernández, J.A. Torres Sánchez, S.A. y Valencia, V.A. Geocronología de circones detríticos de diferentes localidades del Esquisto Granjeno en el noreste de México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Volumen especial Evolución sobre avances y paradigmas de la tectónica y la historia geológica del noreste de México), 2011, vol. 63, núm. 2, 2011, p. 201-216.
- Orozco Esquivel, M.T. Zur Petrologie des Kristallins im Huizachal-Peregrina-Fenster, Sierra Madre Oriental, Mexiko, Institut für Petrographie und Geochemie der Universität Karlsruhe, Tesis de Maestría, 1990, 133 pp. (no publicado).
- Trainor, R.J., Nance, R.D., Keppie, J.D. Tectonothermal history of the Mesoproterozoic Novillo Gneiss of eastern México: support for a coherent Oaxaquia microcontinent, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 2011, vol. 28, núm. 3, p. 580-592.
- Cameron, K.L., López, R., Ortega-Gutiérrez, F., Solari, L.A., Keppie, J.D., Schulze, C. U-Pb geochronology and Pb isotopic compositions of leached feldspars: constraints on the origin and evolution of Grenville rocks from Eastern and Southern Mexico, Geol. Soc. Am. Memoir 2004, vol. 197, p. 755-769.
- Casas García, R. Petrogénesis de los diques máficos del complejo grenvilliano Gneis Novillo en el Anticlinorio Huizachal Peregrina, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Licenciatura, 2012, 142 pp. (no publ.).
- Keppie, J.D., Dostal, J. Nance, R.D., Miller, B.V., Ortega-Rivera A., Lee, J.K.W. Circa 546 Ma plume-related dykes in the ~1Ga Novillo Gneiss (east-central Mexico): Evidence for the initial separation of Avalonia, Precambrian Research 2006, vol. 147, 342-353.
- Eguiluz de Antuñano, S., Amezcua Torres N., y Aquino, A. Oro en el Gneis Novillo, Tamaulipas, México, Geos, 2004, Vol. 24, No. 2.
- Ramírez Ramírez, C. Pre-Mesozoic geology of Huizachal-Peregrina anticlinorium, Ciudad Victoria, Tamaulipas and adjacent parts of Eastern Mexico. University of Texas at Austin, Tesis Doctoral, 1992, 313 pp. (no publ.).
- Casas García, R., Ramírez Fernández, J.A., Rodríguez Díaz, A.A. Revisión sobre el origen de los depósitos de óxidos de Fe-Ti y apatito (nelsonitas), usos del titanio y sus perspectivas: caso de estudio Cd. Victoria, Tamaulipas. Memorias Congreso AIMMG, Acapulco, Gro., 2013, p. 38-44.
- Priego de Wit, M. Exploración por titanio en el Cañón del Novillo, Mpio. de Cd. Victoria, Edo. de Tamaulipas, Archivo Técnico, Consejo de Recursos Naturales no Renovables, 1971, 13 pp.
- De Cserna, Z., Graf, J.L., Ortega, F. Alóctono del Paleozoico inferior en la región de Ciudad Victoria, estado de Tamaulipas, Rev. Inst. Geol. UNAM, 1977, p. 33-42.
- Garrison, J.R., Ramírez Ramírez, C., Long, L.E. Rb-Sr isotopic study of the ages and provenance of Precambrian granulite and Paleozoic greenschist near Ciudad Victoria, Mexico. In: Pilger, R.H.: The origin of the Gulf of Mexico and the early opening of the central North Atlantic Ocean. Proc. Symp. Louisiana State Univ., 1980, vol. 1, p. 37-49.
- Ruiz, J., Patchett, P.J., Ortega Gutiérrez, F. Proterozoic basement terranes of Mexico from Nd isotopic studies. Bull. Geol. Soc. Amer., 1988, vol. 100, p. 274-281.
- Silver, L. T. and Anderson T.H. Possible left-lateral early to middle Mesozoic truncation of the southwestern North American craton: Geological Society of America Abstracts with Programs, 1974, vol. 6, p. 955.
- Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., and Steiner, M.B., editors. The Mojave-Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives, Geological Society of America Special Paper, 2005, vol. 393, 712 pp.
- Stewart, J.H., Blodgett, R.B., Boucot, A.J., Carter, J.L. y López, R. Exotic Paleozoic strata of Gondwanan provenance near Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico: Laurentia-Gondwana connections before Pangea, Geological Society of America Special Paper 1999, vol. 336, p. 227-252.
- Nance, R.D., Fernández-Suárez, J., Keppie, J.D., Storey, C., and Jeffries, T.E. Provenance of the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, México: Detrital zircon U-Pb age constraints and implications for the Paleozoic paleogeography of the Rheic Ocean, in Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., and Zulauf, G., eds., The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision: Geological Society of America Special Paper, 2007, vol. 423, p. 453-464.
- Keppie, J. D., Ortega Gutiérrez, F. 1.3-0.9 Ga Oaxaquia (Mexico): Remnant of an arc/backarc on the northern margin of Amazonia,

- Journal of South American Earth Sciences, 2010, vol. 29, p. 21–27.
24. Torres Sánchez, S.A. Petrología e interpretación geodinámica del Esquisto Granjeno en el Cañón de Caballeros, Anticlinorio Huizachal Peregrina, NE de México. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Licenciatura, 2010, 186 pp. (no publ.).
 25. 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, Mexico: constraints on the closure of the Rheic Ocean? *International Geology Review*, 2005, vol. 47, p. 920-937.
 26. Alemán Gallardo, E. A. Análisis geoquímico del cuerpo Serpentinítico Victoria, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, NE de México. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Licenciatura, 2012, 106 pp. (no publ.).
 27. Ehricke, C. Mafische und ultramafische Gesteine des Novillo-Canyons, Sierra Madre Oriental, Mexiko. Institut für Mineralogie, Petrologie und Geochemie der Alber-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Tesis de Maestría, 1998, 93 pp. (no publicada).
 28. Ashwal, L.D., Cairncross B. Mineralogy and origin of stichtite in chromite-bearing serpentinites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1997, vol. 127, 75-86.
 29. De León Barragán, L. Magmatismo ácido en el basamento de la Sierra Madre Oriental, Anticlinorio Huizachal Peregrina, Tamaulipas, México. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Licenciatura, 2012, 130 pp. (no publ.).
 30. Gursky, H. J. Paleozoic stratigraphy of the Peregrina Canyon area, Sierra Madre Oriental, NE Mexico. Stuttgart, April 1996. *Zbl. Geol. Paläont. Teil 1* 1994 Vol. 7/8, p. 973-989.

Recibido: 10-02-16

Aceptado: 15-02-16