

Procedencia como herramienta para la subdivisión estratigráfica del Mesozoico temprano en el noreste de México

**José Rafael Barboza-Gudiño^{1,*}, Yam Zul Ernesto Ocampo-Díaz²,
Aurora Zavala-Monsiváis² y Rubén A. López-Doncel¹**

¹ Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
Manuel Nava # 5, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S. L. P., México.

² Área de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Manuel Nava # 8,
Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P., México.

* rbarboza@uaslp.mx

RESUMEN

En el noreste de México, capas rojas y rocas volcanogénicas del Mesozoico temprano conocidas como Grupo Huizachal, fueron descritas desde 1959 como una sucesión de origen fluvial que abarca del Triásico Superior al Jurásico Inferior (Formación La Boca) y una sucesión de origen aluvial y lacustre que sobreyace a la primera y que registra el inicio de la transgresión marina del Jurásico Medio al Superior (Formación La Joya). Se estima inconveniente agrupar secuencias depositadas a lo largo de un lapso tan grande, lo cual resulta en una pérdida de detalle en la interpretación de la evolución tectónica y paleogeográfica. En el presente estudio, la interpretación de procedencias y ambientes de depósito, se hizo con base en la petrografía así como en la geocronología de circones detriticos, las cuales resultaron de gran utilidad para la subdivisión estratigráfica. Hemos usado estas técnicas para separar una unidad exclusivamente triásica, recientemente definida como Formación El Alamar, de una sucesión del Jurásico Inferior, la cual mantendría el nombre de Formación La Boca. Mientras que la unidad triásica muestra usualmente procedencias de un orógeno reciclado y, parcialmente, de un bloque continental, las capas jurásicas incluyen además productos volcánicos de un arco continental del Jurásico Temprano y de manera generalizada, diversos productos epiclásticos y volcanogénicos de otros arcos magmáticos. De igual forma, las edades máximas del depósito son del Triásico Tardío (220 Ma) y del Jurásico Tardío (160 Ma), respectivamente, con poblaciones de circones grenvillianos, panafricanos y pérmino-triásicos en las rocas de la Formación El Alamar y grenvillianos, panafricanos, pérmino-triásicos y del Jurásico Temprano a Medio en las rocas de la Formación La Boca.

Palabras clave: capas rojas; noreste de México; Triásico; Jurásico; geocronología.

ABSTRACT

In northeastern Mexico, early Mesozoic red beds and volcanogenic rocks known as the Huizachal Group have been described as an Upper Triassic to Lower Jurassic fluvial succession (La Boca Formation), overlain by alluvial and lacustrine deposits representing the base of the Jurassic marine transgression (La Joya Formation). We estimate inconvenient to

group together different sedimentary successions deposited over such a long period, which results in a loss of resolution concerning the tectonic evolution and paleogeographic interpretation. Petrographic provenance studies and detrital zircon geochronology were used as a tool for stratigraphic subdivision: we separated a exclusively Triassic unit, recently defined as El Alamar Formation, from Lower Jurassic red beds of La Boca Formation, now considered Early Jurassic in age. While the Triassic unit usually displays recycled orogen and subordinate continental block provenances, the Lower Jurassic red beds interlayered with volcanic rocks and epiclastic deposits, indicate a more consistent provenance from magmatic arc settings. Moreover, their maximum depositional ages are Late Triassic (220 Ma) and Late Jurassic (160 Ma), respectively, with several Grenvillian, Pan-African and Permian-Triassic detrital-zircon populations included in El Alamar Formation and Grenvillian, Pan-African, Permian-Triassic and Early Jurassic clusters in La Boca Formation.

Key words: red beds; northeastern Mexico; Triassic; Jurassic; geochronology.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente investigación ha sido la separación de unidades de capas rojas que afloran en distintas localidades del noreste de México (Figura 1), las cuales presentan características litológicas muy similares en el reconocimiento de campo y en algunos casos aun después de un análisis más exhaustivo, lo que ha ocasionado frecuentes problemas para la cartografía y la correlación, además de confusión en la nomenclatura estratigráfica (Mixon *et al.*, 1959; Carrillo-Bravo, 1961; Rueda-Gaxiola *et al.*, 1999; Barboza-Gudiño *et al.*, 1999, 2008, 2010).

Los estudios petrográficos que aquí se reportan (Zavala-Monsiváis, 2008 y el presente estudio) han sido realizados con el fin de probar la validez de algunos criterios para reconocer y separar unidades que hasta ahora se habían agrupado y cuya subdivisión proporcionará un mayor detalle en la reconstrucción paleogeográfica de la región. De igual forma puede hacerse una interpretación de la evolución tectónica a través de los diferentes ambientes geotectónicos de procedencia, que pueden ser determinados por el empleo de diagramas de discriminación basados en la abundancia relativa de minerales estables e indicadores de la composición de la roca madre, lo cual puede ser robustecido por el estudio geocronológico de circones detriticos. Se ha

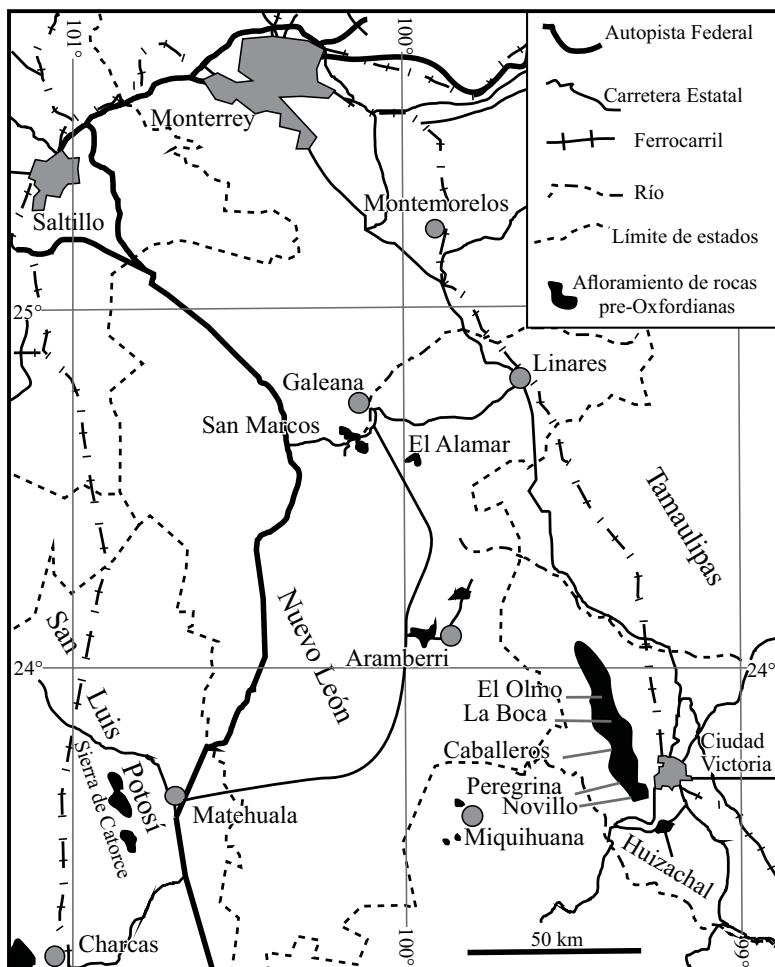


Figura 1. Principales afloramientos de rocas pre-oxfordianas (Triásico Superior y Jurásico Inferior). Se indican las áreas de muestreo.

tratado así, de probar la efectividad de estas técnicas para la identificación y separación de dos unidades cuya procedencia distinta ya ha sido previamente demostrada en algunas localidades por medio de dicha geocronología de circones detriticos (Barboza-Gudiño *et al.*, 2007, 2009, 2010; Rubio-Cisneros y Lawton, 2011). Esta técnica es bastante efectiva aunque más costosa y difícil de aplicarse a un número elevado de muestras. En el presente estudio se ha aplicado a dos muestras: la primera de ellas (SM07-6, n=88) procedente de la parte superior de la Formación El Alamar en la sección expuesta en el cerro La Nieve, en el área de San Marcos, al sur de Galeana Nuevo León, y la segunda (MIQ06-8, n=92), de la Formación La Boca, expuesta en el área de Miquihuana, al suroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas.

ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES

Las sucesiones de capas rojas de origen fluvial, aluvial y, en menor abundancia lagunares, que afloran en algunas localidades de Nuevo León y Tamaulipas en el noreste de México (Figura 1), fueron agrupadas por Mixon *et al.* (1959) como Grupo Huizachal. De acuerdo con estos autores, el Grupo Huizachal estaría compuesto de una unidad inferior definida como Formación La Boca del Triásico Tardío-Jurásico Temprano, y una unidad superior de edad Jurásico Medio a Tardío, que descansa en discordancia angular sobre la primera y fue definida por los mismos autores como Formación La Joya. Previamente las

capas correspondientes a la Formación La Boca, habían sido definidas por Imlay *et al.* (1948) como Formación Huizachal, en tanto que la Formación La Joya se consideró como un miembro clástico en la base de la sucesión de calizas y evaporitas del Jurásico Superior-Cretácico. Carrillo-Bravo (1961) dio, por su parte, prioridad al nombre de Formación Huizachal con respecto al de Formación La Boca, pero reconociendo de acuerdo con Mixon *et al.* (1959) a La Formación La Joya y a ambas como Grupo Huizachal.

Rueda-Gaxiola *et al.* (1993, 1999) propusieron una subdivisión diferente para estas unidades, a las que describieron como aloformaciones y así definieron al Alogrupo Los San Pedros, compuesto de la Aloformación Huizachal, a su vez compuesta del Alomiembro Río Blanco (volcánico) y el Alomiembro Huizachal (volcanoclástico), además de la Aloformación La Boca, compuesta por una sucesión de capas rojas de edad Sinemuriano. Las diferentes subdivisiones estratigráficas propuestas por los autores antes citados, se muestran en la Figura 2.

Barboza-Gudiño *et al.* (2007) y Barboza-Gudiño (2009) señalaron la existencia de una unidad dentro de la Formación La Boca, exclusivamente triásica que por su diferente distribución, origen y composición puede ser separada de la parte superior de las capas rojas; estas capas incluyen, a diferencia de la unidad inferior, productos volcánicos intercalados del Jurásico Inferior. Finalmente, la nueva unidad triásica fue definida formalmente por Barboza-Gudiño *et al.* (2010) con el nombre de Formación El Alamar, por encontrarse expuesta en el cañón del Alamar, en la sierra de Pablillo, en el estado de Nuevo León.

El análisis detallado de estas sucesiones de origen continental en los diferentes afloramientos en los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Figura 3), muestra la existencia de: (1) Una sucesión de arenisca conglomerádica, limolita y lutita de colores café rojizo, gris, verde y ocre (Figura 4a, 4b); (2) Una sucesión volcánica y volcanoclástica de andesita, dacita y riolita, que se presenta en forma de centros de emisión, cuerpos subvolcánicos o acumulaciones de materiales piroclásticos en algunas localidades, mientras que en otras no existe o su presencia se reduce a pequeños horizontes de material volcanoclástico (Figuras 4c, 4d) y (3) Una sucesión que sobreyace a las primeras, compuesta de arenisca a lutita de color rojo intenso a café rojizo (Figuras 4e, 4f) y en algunos afloramientos se observan interestratificadas con los materiales volcánicos más superiores de la sucesión volcánica subyacente. En la mayoría de las localidades estudiadas no aflora la base de esta sucesión de rocas mesozoicas; sin embargo, en algunos casos sí se pudo ver que cubren a rocas sedimentarias y/o metamórficas del Paleozoico por una discordancia erosional-litológica, o en contacto por falla con rocas plutónicas del Pérmico-Triásico (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010). Cualquiera de estas unidades reconocidas, puede estar cubierta discordantemente por conglomerado y arenisca también rojos de la Formación La Joya del Jurásico Medio a Tardío; en muchos de los casos, las capas de esta última, son prácticamente idénticas a las capas rojas del Jurásico Inferior.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el presente estudio incluye un análisis petrográfico cualitativo y modal realizado en 33 muestras de rocas

procedentes de las capas rojas del Mesozoico inferior (Triásico y Jurásico Inferior a Medio) de las localidades San Marcos, el cañón del Alamar y Aramberri, en el estado de Nuevo León, así como las áreas de Miquihuana-Bustamante y el anticlinorio Huizachal-Peregrina en Tamaulipas.

En nuestra interpretación se consideraron los principales rasgos observados al microscopio como fueron microestructuras y naturaleza o rasgos característicos de los componentes clásticos en las muestras más representativas de las areniscas. El análisis petrográfico cuantitativo se elaboró por medio de un conteo de ~1000 puntos por lámina delgada, empleando el método Gazzi-Dickinson propuesto por Ingersoll *et al.* (1984). La composición del área fuente se determinó por medio de la identificación de: 1) los diferentes tipos de cuarzo (Basu *et al.*, 1975; Blatt y Christie, 1963; Young, 1976); 2) los líticos volcánicos de acuerdo a Dickinson (1970) y Marsaglia *et al.* (1992); 3) los líticos volcánicos tobáceos se discriminaron con base en las características que documentaron Critelli *et al.* (2002); y 4) los líticos metamórficos según Garzanti y Vezzoli (2003), en función de su grado metamórfico y protolito.

En la Tabla 1 se presenta el conteo de componentes clásticos y, en la Tabla 2 los valores calculados y utilizados en la preparación de los diagramas ternarios de clasificación y de discriminación de ambientes tectónicos. Algunos aspectos de los diferentes componentes clásticos de estas rocas se observan en la Figura 5. Los parámetros petrográficos determinados fueron los siguientes: QFL (Folk, 1980), QFL y QmPK (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson, 1985). Adicionalmente a estos parámetros se establecieron los ensambles de litoclastos granosos “Rg”, sedimentarios “Rs” y metamórficos “Rm” (Critelli y Le Pera, 1994); QpLvls y LmLvLs (Ingersoll y Suczek, 1979); finalmente, se definie-

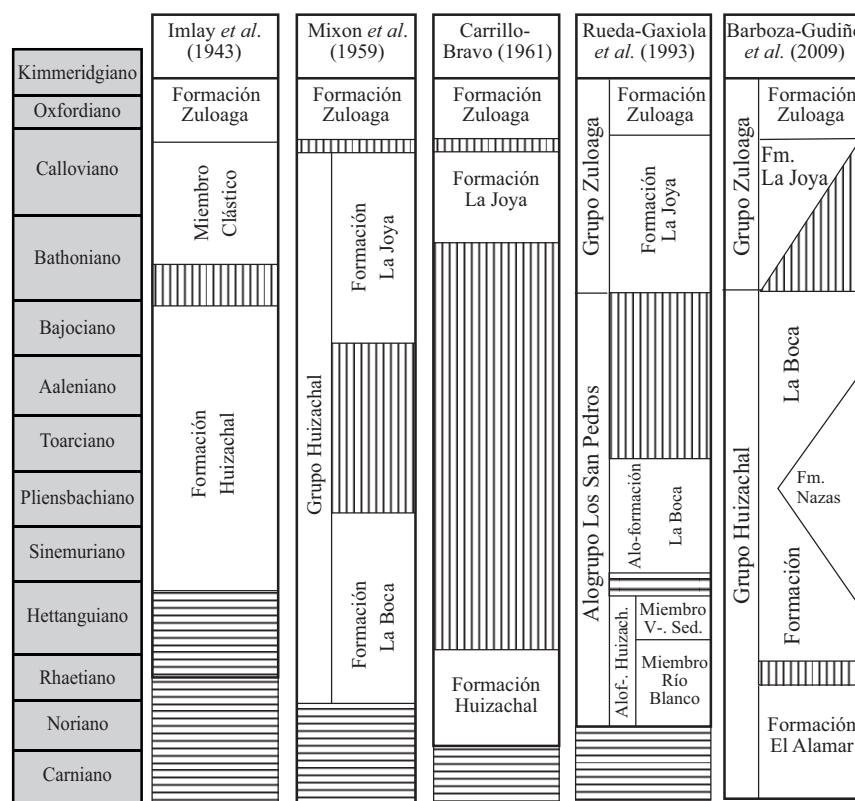


Figura 2. Subdivisión y nomenclatura propuestas por diferentes autores para las unidades estratigráficas del Mesozoico temprano en el noreste de México (modificado de Barboza-Gudiño *et al.*, 2010). Las líneas verticales representan hiatos, por erosión o no depósito; las líneas horizontales representan la ausencia de afloramientos de las unidades más antiguas en el área.

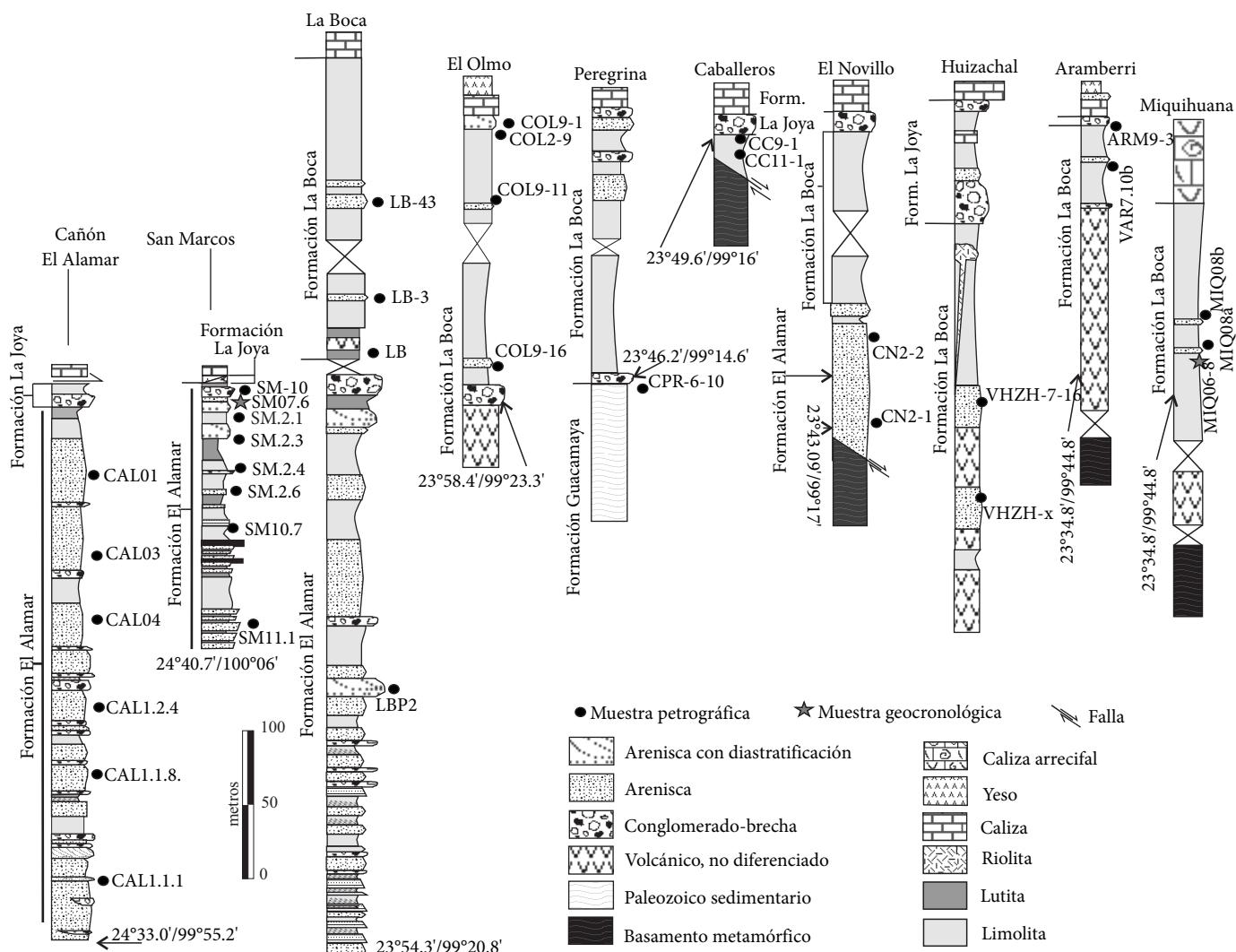


Figura 3. Columnas estratigráficas de diferentes áreas en Nuevo León y Tamaulipas. Se muestra la litología de manera simplificada y la ubicación de muestras petrográficas y geocronológicas.

ron litoclastos plutónicos “Rp”, volcánicos “Rv” y sedimentarios “Rs” (Ocampo-Díaz, 2011 y 2012). El esquema de Ocampo-Díaz (2011, 2012) considera la terminología genética descriptiva de Ingersoll (1984), empleando el apelativo del constituyente predominante, por ejemplo, arenas plutonoclásticas, lo cual brinda mejores resultados si éstos son considerados como ensambles (*e.g.* ensamble granoso, Rg), tal como lo determina Critelli y Le Pera (1994).

La composición modal de las muestras estudiadas (Tabla 1), fue graficada en el diagrama ternario de clasificación según Folk (1980) que aparece en la Figura 6; se hizo lo mismo en los diagramas de discriminación de marcos tectónicos de áreas de procedencia propuestos por Dickinson *et al.* (1983), Ingersoll y Suczek (1979) y Garzanti *et al.* (2001) modificado por Marsaglia *et al.* (2007) que se representan en la Figura 7.

La geocronología de los circones se realizó en un espectrómetro de masas de multcolección con plasma acoplado por inducción y sistema de ablación laser (LA-MC-ICPMS), del Departamento de Geociencias (LaserChron Center) en la Universidad de Arizona, en Tucson, Arizona. De acuerdo con la metodología de Gehrels *et al.* (2006), se montaron entre 500 y 1000 circones detriticos en resina epóxica. Se analizaron dos muestras: la muestra SM07-6, de la parte superior de la Formación El Alamar (colectada en el cerro La Nieve,

en el área de San Marcos, al sur de Galeana Nuevo León) y la muestra MIQ06-8 de la Formación La Boca colectada en Miquihuana, al suroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas. En cada muestra se examinaron alrededor de 100 circones. La información obtenida fue filtrada de acuerdo con la precisión de las proporciones $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, con un error de 5%, y la discordia al 20%. Las incertidumbres analíticas se anotan como 1σ , (ver Tablas 3 y 4). De manera general, las edades documentadas (*best age*) se basan en la relación $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para granos con edades mayores a 1000 Ma, y $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ para aquellos granos con edades más jóvenes que 1000 Ma. De acuerdo a Ludwig (2003), los resultados fueron graficados en diagramas de concordia de Pb-U del tipo Tera-Wasserburg y diagramas probabilísticos de edades relativas o diagramas acumulativos probabilísticos empleando la versión 3.0 de Isoplot, considerando las edades significativas como aquellas que se encuentran representadas por tres o más datos similares. La distribución de las edades, se graficó como espectros de edades en forma de curvas de probabilidad de edades relativas. Estas curvas se generan mediante la suma de la distribución de la edad de cada análisis individual, considerando que el error se distribuye normalmente (Ludwig, 1988, 2003). Los picos de edades de probabilidad alta fueron calculados empleando el programa de Excel Age Pick proporcionado por el laboratorio LaserChron de la Universidad de Arizona.

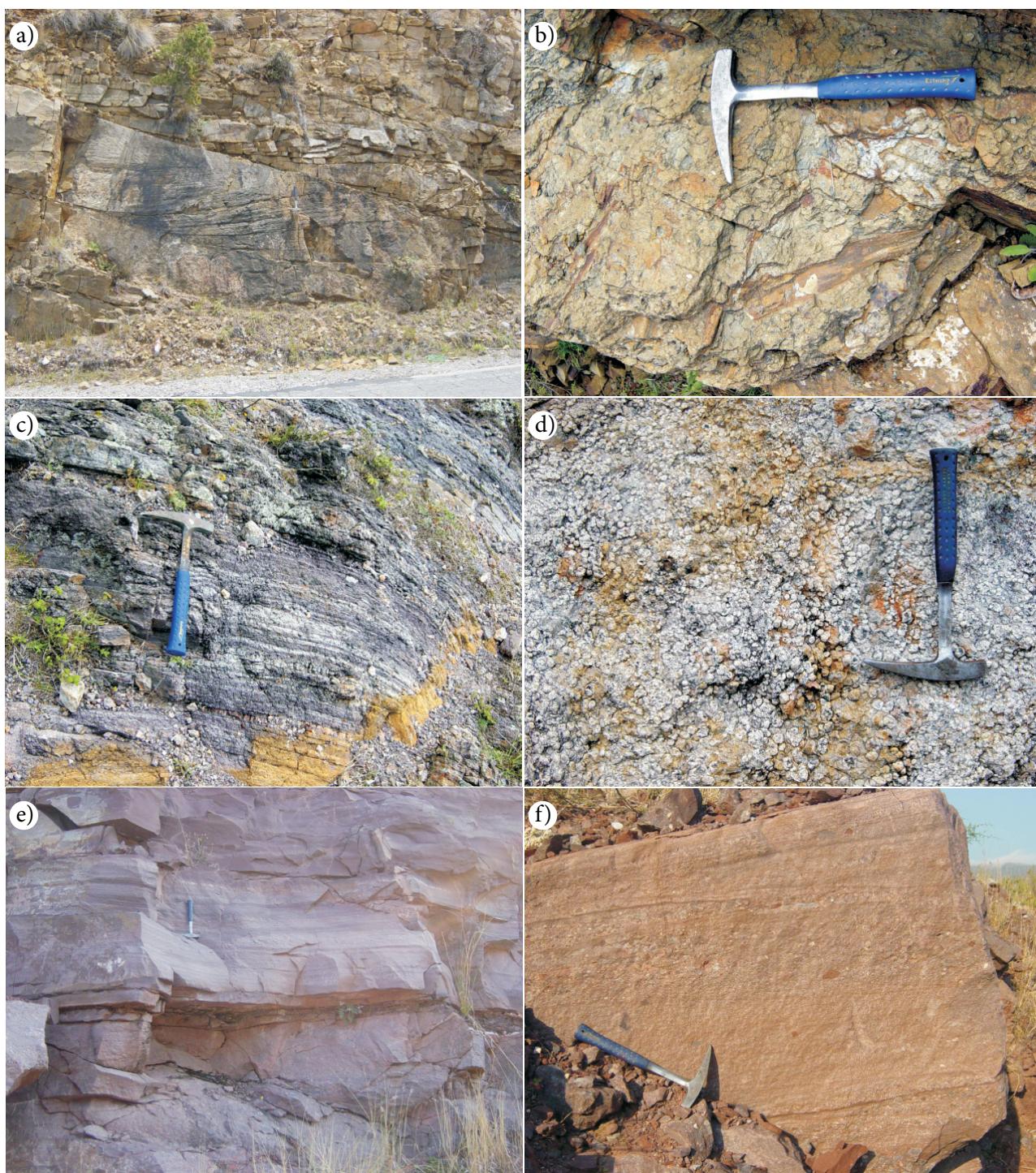


Figura 4. a) Banco de areniscas con estratificación cruzada en la Formación El Alamar del Triásico Superior, afloramiento de San Marcos, Nuevo León; b) Facies conglomerádica con fragmentos de plantas en la Formación El Alamar, San Marcos, Nuevo León; c) Bandeamiento por inyección de las riolitas jurásicas del valle del Huizachal, Tamaulipas; d) Riolita esferulítica del Jurásico Inferior expuesta en el valle del Huizachal; e) Areniscas rojas de la Formación La Boca del Jurásico Inferior del valle del Huizachal; f) Arenisca conglomerádica de la Formación La Boca del Jurásico Inferior en el valle del Huizachal.

Tabla 1. Componentes clásticos de areniscas continentales del Triásico Superior y Jurásico Inferior del noreste de México. Qt es el total de cuarzo en el conteo de puntos y es igual a la suma de cuarzo monocristalino (Qm) y policristalino (Qp). Los feldespatos (F) fueron diferenciados en feldespatos potásicos (K) y plagioclásas (Pl). Los líticos fueron categorizados por su origen en sedimentarios (Ls), incluyendo al pedernal, volcánicos (Lv) y metamórficos (Lm), cuya suma arroja el valor L, en tanto que L+Qp arrojan el valor Lt. Los puntos que correspondieron con micas (M) o con la matriz de la roca también se incluyen en la tabla.

Muestra/ Área	CAL 01	CAL 04	CAL 1.1.1	CAL 1.1.8	CAL 1.2.4	CAL 03	SMP 2.1	SMP 2.3B	SMP 2.4	SMP 2.6A	SM-10-7	SM-10	SM-11-1		
							Triásico Cañón del Alamar						Jurásico San Marcos		
Q Qmr	Cuarzo monocristalino con extinción recta <5	208	121	182	153	167	121	162	122	95	98	240	192	97	
Qmo	Cuarzo monocristalino con extinción recta >5	295	204	256	212	215	176	214	189	162	150	160	233	39	
Qp2-3	Cuarzo policristalino con 2-3 cristales	31	56	13	17	15	9	33	24	29	32	16	23	4	
Qp>3	Cuarzo policristalino con más de 3 cristales	61	130	34	52	58	37	74	65	86	50	83	49	8	
F Fs	Feldespato	31	67	17	19	3	58	29	41	33	66	67	45	252	
P Ps	Plagioclasa	53	65	26	50	3	132	71	83	71	93	22	26	167	
A c c e s o r i o s	L Lvf	Lítico vol. felsítico	37	54	19	60	50	33	93	77	116	93	119	120	128
	Lvlat	Lítico vol. <i>lathwork</i>	0	19	0	0	0	2	5	0	5	9	16	19	74
	LvM	Lítico vol. microlítico	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
	LvTb	Lítico vol. tobáceo	0	13	0	0	0	0	24	12	0	27	3	26	23
	LpM	Lítico plu. mirmequítico	6	46	0	10	0	4	0	12	14	11	10	11	0
	Lmp ₂	Lítico m. pelítico ₂	31	9	21	39	83	65	33	43	38	34	22	26	4
	Lmp ₃	Lítico m. pelítico ₃	35	0	32	132	124	145	62	83	124	61	16	11	4
	Lmp ₄	Lítico m. pelítico ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0
	Lms ₂	Lítico m. psamítico ₂	37	48	53	78	41	69	62	51	59	55	38	34	4
	Lms ₃	Lítico m. psamítico ₃	8	0	13	39	17	28	5	16	26	14	19	15	0
	Lms ₃	Lítico m. psamítico ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Lm ₂	Lítico m. báslico ₂	8	0	17	14	10	4	10	0	10	5	0	0	0
	Lmb ₃	Lítico m. báslico ₃	20	11	9	31	50	13	10	41	10	34	19	15	0
	Lmb ₄	Lítico m. báslico ₄	0	0	0	0	10	0	0	8	0	11	0	0	0
	LmC ₂	Lítico m. carbonatado ₂	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
	LmC ₃	Lítico m. carbonatado ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
	LmC ₄	Lítico m. carbonatado ₄	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
	LsA	Lítico sed. arenisca	12	0	6	0	3	6	0	2	5	0	3	41	0
	LsLu	Lítico sed. lutita	0	0	17	0	3	9	0	4	7	0	0	0	0
	Bio	biotita	6	0	0	0	0	4	0	4	10	23	6	0	0
	Mus	muscovita	4	0	28	29	21	33	0	0	0	27	6	8	19
	Cl	clorita	4	0	32	10	8	6	5	8	14	7	19	11	0
	Ep	epidota	14	0	21	14	17	9	5	2	7	11	16	15	0
	Ru	rutilo	0	0	0	4	12	0	0	8	10	0	6	0	0
	Px	Piroxeno	2	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0
	Af	Anfibol	8	0	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0
	Jr	jarosita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ht	hematita	6	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	0	0
	Mz	Matriz	4	0	0	0	2	4	0	0	0	0	3	0	0
	E-Mz	Epi-Matriz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
	C-Cal- Es	Cemento Calcítico Esparítico	39	0	32	19	25	4	19	61	36	34	0	0	97

continúa

ÁREAS DE ESTUDIO

Cañón El Alamar en la sierra de Pablillo, Nuevo León

El cañón del Alamar se encuentra ubicado en la sierra de Pablillo, al sur de Galeana, Nuevo León (Figuras 1 y 3). Se trata de un sistema fluvial que drena la parte alta de la Sierra Madre Oriental, al sur de la llamada curvatura de Monterrey y fluye hacia la planicie costera como río Pablillo a la altura de la ciudad de Linares, Nuevo León. En esta

localidad aflora una columna de más de 400 m de espesor (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010) considerada por Carrillo Bravo (1961) como perteneciente a la Formación Huizachal y por Mixon (1963) como Formación La Boca, en ambos casos con una edad Triásico Tardío-Jurásico Temprano. También fue descrita por Michalzick (1991) como Formación Huizachal, quien agrupó estas rocas según las diferentes litofacies del esquema de Miall (1977) para secuencias de origen fluvial: Gm y Gt (conglomerados con estratificación normal y con

Tabla 1 (continuación). Componentes clásticos de areniscas continentales del Triásico Superior y Jurásico Inferior del noreste de México. Qt es el total de cuarzo en el conteo de puntos y es igual a la suma de cuarzo monocristalino (Qm) y policristalino (Qp). Los feldespatos (F) fueron diferenciados en feldespatos potásicos (K) y plagioclásas (Pl). Los líticos fueron categorizados por su origen en sedimentarios (Ls), incluyendo al pedernal, volcánicos (Lv) y metamórficos (Lm), cuya sumatoria arroja el valor L, en tanto que L+Qp arrojan el valor Lt. Los puntos que correspondieron con micas (M) o con la matriz de la roca también se incluyen en la tabla.

Muestra/ Área	ARM -09-3	VAR -07-10b	COL 02-09	LBP 2	CN 2.1	CN 2.2	COL -09-11	CC -11-1	CC 09-1	COL -09-16	COL 09-1	COL 09-2	LBO -43	
	Jurásico			Triásico Huizachal-Peregrina				Jurásico Huizachal-Peregrina						
Q Qmr	Cuarzo monocristalino con extinción recta <5	448	323	120	60	167	60	194	46	68	34	46	78	163
Qmo	Cuarzo monocristalino con extinción recta >5	93	109	216	254	156	205	83	93	235	105	128	111	212
Qp2-3	Cuarzo policristalino con 2-3 cristales	0	7	33	14	71	80	17	40	39	49	26	12	23
Qp>3	Cuarzo policristalino con más de 3 cristales	11	17	41	39	93	72	104	265	129	216	197	199	72
F Fs	Feldespato	197	160	8	10	7	0	44	113	19	16	13	6	88
P Ps	Plagioclasa	68	51	17	41	13	0	26	66	58	8	33	33	42
L Lvf	Lítico vol. felsítico	32	68	29	99	9	40	198	26	45	31	23	21	114
Lvlat	Lítico vol. <i>lathwork</i>	0	17	0	0	0	0	28	0	0	13	0	0	7
LvM	Lítico vol. microlítico	0	0	0	0	0	0	4	20	0	7	0	6	7
LvTb	Lítico vol. tobáceo	0	10	16	5	13	0	50	20	6	23	0	0	16
LpM	Lítico plu. mirmequítico	22	0	17	5	0	24	18	73	6	20	13	18	16
Lmp ₂	Lítico m. pelítico ₂	0	0	54	126	38	24	41	13	122	23	26	33	13
Lmp ₃	Lítico m. pelítico ₃	0	0	266	85	124	104	41	20	96	82	63	120	10
Lmp ₄	Lítico m. pelítico ₄	0	0	58	0	16	0	0	0	0	20	0	6	0
Lms ₂	Lítico m. psamítico ₂	0	0	50	92	93	120	26	13	39	43	171	111	16
Lms ₃	Lítico m. psamítico ₃	0	0	17	31	16	8	9	13	16	72	82	42	3
Lms ₃	Lítico m. psamítico ₄	0	0	0	0	22	0	0	20	6	46	16	0	0
Lmb ₂	Lítico m. básico ₂	0	0	33	5	4	16	0	0	6	31	72	136	7
Lmb ₃	Lítico m. básico ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	7	12	13
Lmb ₄	Lítico m. básico ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0
LmC ₂	Lítico m. carbonático ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LmC ₃	Lítico m. carbonático ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LmC ₄	Lítico m. carbonático ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LsA	Lítico sed. arenisca	14	0	0	0	0	0	11	7	0	3	0	6	20
LsLu	Lítico sed. lutita	11	10	0	0	0	0	6	0	0	0	13	6	16
Bio	Biotita	0	34	9	20	3	7	7	24	0	9	20	3	7
Mus	Moscovita	11	34	13	0	6	0	0	0	10	13	0	6	0
Cl	Clorita	4	41	0	0	3	0	10	12	3	0	0	3	0
Ep	Epidota	4	0	9	0	6	0	7	0	3	9	0	6	0
Ru	Rutilo	4	0	0	0	0	8	0	0	13	0	0	0	8
Px	Piroxena	0	0	2	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0
Af	Anfíbol	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Jr	Jarosita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ht	Hematita	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0
Mz	Matriz	0	0	9	0	0	5	0	6	0	9	0	0	5
E-Mz	Epi-Matriz	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-Cal- Es	Cemento Calcítico Esparítico	39	0	37	0	0	25	16	0	7	37	0	0	25

continúa

estratificación cruzada); St, Sp y Sh (areniscas gruesas con laminación oblicua cruzada, laminación cruzada plana y laminación horizontal); Sh y Sl (areniscas de estratificación horizontal y cruzada plana); Fl y Fm (limolita laminada y masiva); Fm y P (lilita-limolita con concresciones de carbonato y principios de pedogénesis). La interpretación que se dio a estas litofacies va desde depósitos en canales y barras (las facies de granulometría más gruesa), hasta planicies de inundación con interrupciones de la sedimentación en condiciones subaéreas y

formación local de suelos. Michalzik (1991) interpretó secuencias con sedimentación del tipo grano decreciente como depósitos en un sistema fluvial anastomosado de baja sinuosidad. Rubio-Cisneros (2012) reinterpretó estas capas como producto de depósitos de ríos de alta y baja sinuosidad, dominados por gravas y arenas, cuyos estilos fluviales varían de sistemas mezclados de alta y baja energía, con la intervención de flujos de masas por gravedad y barras de gravas. En la parte alta del cañón del Alamar, la sucesión está cubierta de manera discordante por

Tabla 1 (cont.). Componentes clásticos de areniscas continentales del Triásico Superior y Jurásico Inferior del noreste de México. Qt es el total de cuarzo en el conteo de puntos y es igual a la suma de cuarzo monocrystalino (Qm) y policristalino (Qp). Los feldespatos (F) fueron diferenciados en feldespatos potásicos (K) y plagioclásas (Pl). Los líticos fueron categorizados por su origen en sedimentarios (Ls), incluyendo al pedernal, volcánicos (Lv) y metamórficos (Lm), cuya sumatoria arroja el valor L, en tanto que L+Qp arrojan el valor Lt. Los puntos que correspondieron con micas (M) o con la matriz de la roca son también incluidos en la tabla.

Muestra/ Área		LB-3	LB	CPRG 10	MIQ	MIQ	VHICH -07-16	VHZCH	
					-08-b	08-a			
		Jurásico La Boca			Miquihuana		Huizachal		
Q	Qmr	Cuarzo monocrystalino con extinción recta <5	232	110	117	49	40	53	17
	Qmo	Cuarzo monocrystalino con extinción recta >5	132	292	245	58	34	86	83
	Qp2-3	Cuarzo policristalino con 2-3 cristales	17	42	20	0	0	23	22
	Qp>3	Cuarzo policristalino con más de 3 cristales	41	85	40	13	28	89	83
F	Fs	Feldespato	71	54	34	209	158	162	209
P	Ps	Plagioclasa	44	82	54	138	59	121	113
	Lvf	Lítico vol. felsítico	159	85	117	191	297	97	74
	Lvlat	Lítico vol. <i>lathwork</i>	27	17	0	136	121	105	96
	LvM	Lítico vol. microlítico	0	11	0	64	90	70	61
L	LvTb	Lítico vol. tobáceo	12	6	12	18	0	19	78
	LpM	Lítico plu. mirmequítico	24	0	0	18	23	24	26
	Lmp₂	Lítico m. pelítico ₂	5	20	47	2	0	6	9
	Lmp₃	Lítico m. pelítico ₃	0	11	27	0	0	10	17
	Lmp₄	Lítico m. pelítico ₄	0	8	0	0	0	0	0
	Lms₂	Lítico m. psamítico ₂	2	14	57	4	0	29	17
	Lms₃	Lítico m. psamítico ₃	0	0	7	0	0	10	0
	Lms₄	Lítico m. psamítico ₄	0	0	0	0	0	0	0
	Lmb₂	Lítico m. básico ₂	5	0	40	2	0	6	11
	Lmb₃	Lítico m. básico ₃	20	17	7	0	0	13	43
	Lmb₄	Lítico m. básico ₄	0	0	0	4	0	24	0
	LmC₂	Lítico m. carbonáítico ₂	0	0	0	0	0	0	0
	LmC₃	Lítico m. carbonáítico ₃	0	0	0	0	0	0	0
	LmC₄	Lítico m. carbonáítico ₄	0	0	0	0	0	3	0
	LsA	Lítico sed. arenisca	0	0	0	16	6	19	9
	LsLu	Lítico sed. lutita	0	0	0	9	37	8	26
Accesorios	Bio	Biotita	20	6	7	4	6	0	0
	Mus	Moscovita	12	0	0	0	0	0	0
	Cl	Clorita	17	0	3	0	0	0	7
	Ep	Epidota	17	6	3	4	3	6	2
	Ru	Rutilo	22	0	0	0	0	0	0
	Px	Piroxena	0	6	3	0	3	0	2
	Af	Anfibol	0	0	0	0	3	11	4
	Jr	Jarosita	0	3	0	0	0	0	0
	Ht	Hematita	0	3	3	0	3	3	2
	Mz	Matriz	0	0	0	0	0	0	0
	E-Mz	Epi-Matriz	24	0	0	4	0	0	0
	C-Cal-	Cemento Calcítico	37	34	17	22	14	0	0
	Es	Espártico							

conglomerados de abanico aluvial y brechas de la Formación La Joya, que en la zona alcanza solo algunos metros de espesor y en parte está fuertemente afectada por estructuras o superficies de despegue (“*détalement*”) que también afectan a las unidades evaporíticas y calcáreas superiores.

En general, la secuencia estudiada consiste de capas gruesas de arenisca, predominantemente de color gris a gris verdoso en superficie fresca y ocre a café rojizo en superficie intemperizada.

En la mayoría de los casos los depósitos alternan de manera cíclica de arenisca conglomerádica, en su base, a arenisca fina, limolita finamente laminada y localmente lutita en su cima. La alternancia es interpretada como el cambio de un depósito de canal hacia barras de arena y localmente planicies de inundación. Principalmente en las facies conglomerádicas es notable la abundancia de madera petrificada, regularmente silicificada. Sin embargo en algunos casos, en la parte baja del cañón, en las cercanías de San José del Río, también se

Tabla 2. Valores calculados para los diagramas de clasificación y discriminación de areniscas a partir del conteo de componentes principales.

Muestra/ Diagrama	QFLt			QmFLt			QpLvLs			LmLvLs			Qmr/ Qp	P/F
	Q%	F%	Lt%	Qm%	F%	Lt%	Qp	Lv	Ls	Lm	Lv	Ls		
CAL 01	68	10	22	64	11	25	65	26	9	56	39	5	2	2
CAL 04	60	16	24	49	20	31	68	32	0	27	73	0	1	1
CAL 1.1.1	68	6	26	65	6	28	52	21	26	68	21	11	4	2
CAL 1.1.8	48	8	44	44	8	48	54	46	0	73	27	0	2	3
CAL 1.2.4	53	1	46	49	1	50	56	38	5	85	13	2	2	1
CAL 03	38	21	42	34	22	44	48	37	15	64	33	3	3	2
SMP 2.1	54	11	34	48	13	39	47	53	0	49	51	0	2	3
SMP 2.3B	46	14	40	40	16	45	48	48	3	56	43	1	1	2
SMP 2.4	42	12	47	33	13	53	46	49	5	55	43	2	1	2
SMP 2.6A	38	18	44	31	20	49	39	61	0	51	49	0	1	1
SM-10-7	58	10	31	53	12	35	41	57	1	41	58	1	2	0
SM-10	56	8	36	52	9	39	26	59	15	29	59	12	3	1
SM-11-1	17	50	33	16	50	33	4	96	0	3	97	0	8	1
VAR-07-10b	59	27	14	58	28	14	18	74	8	0	93	7	14	0
ARM-09-3	62	30	9	61	30	9	16	47	37	0	83	17	42	0
CN 2.1	58	2	40	48	3	50	88	12	0	90	10	0	1	2
CN 2.2	55	0	45	44	0	56	79	21	0	81	19	0	0	
COL 02-09	42	3	55	37	3	60	62	38	0	86	14	0	2	2
LBP 2	42	6	52	39	6	55	34	66	0	69	31	0	1	4
COL-09-11	44	8	48	36	9	55	29	67	4	26	71	4	2	1
CC-11-1	52	21	27	26	33	41	81	18	2	27	70	2	0	1
CC 09-1	53	9	39	42	11	48	76	24	0	71	29	0	0	3
COL-09-16	43	3	55	20	4	76	78	22	1	80	19	1	0	1
COL 09-1	43	5	52	25	7	69	86	9	5	84	13	3	0	3
COL 09-2	42	4	54	25	5	69	84	11	5	84	14	2	0	6
LBO-43	55	15	30	49	17	34	35	52	13	21	67	12	2	0
LB-3	53	15	32	50	16	35	23	77	0	11	89	0	4	1
LB	62	16	22	55	19	26	52	48	0	26	74	0	1	2
CPRG 10	46	10	44	43	10	47	22	47	32	41	40	19	2	2
MIQ-08-b	13	37	50	12	38	50	3	91	6	2	94	4	4	1
MIQ 08-a	11	24	64	8	25	66	5	88	7	0	93	7	1	0
VHICH-07-16	26	29	45	16	33	51	26	68	6	18	77	5	0	1
VHZCH	21	32	47	11	36	53	23	69	8	17	77	6	0	1

presenta la sustitución por carbonato de calcio. Las dimensiones de la madera fósil pueden ir desde pequeños fragmentos de unos cuantos centímetros hasta troncos de más de 10 metros de largo que Carrillo-Bravo (1961, de acuerdo con la descripción de R. A. Scott) reporta como *Araucarioxylon* sp.

Área de San Marcos, Nuevo León

El área de San Marcos se encuentra ubicada en el poblado del mismo nombre, al sureste de Galeana, Nuevo León, sobre la carretera federal No. 60, en su tramo Linares-San Roberto (Figuras 1 y 3). En esta localidad aflora una sucesión de más de 200 m de capas de arenisca, limolita y lutita de color café rojizo a naranja en superficie intemperizada, y gris a pardo en superficie fresca. La sucesión contiene más de 50 m de capas de coloración más roja hacia la cima, que Rubio-Cisneros (2008) describió como el miembro superior de la unidad a la que asignó el nombre de Formación Huizachal.

En la facies de limolita y lutita, cuya mejor exposición se observa en la zona del cerro La Nieve, al poniente de San Marcos, Nuevo León, son comunes los fragmentos de plantas y algunas estructuras cilíndricas, regularmente en una posición perpendicular al plano de

la estratificación, con un tamaño que varía de 30 a 40 cm de largo y de 5 hasta 15 cm de diámetro. El relleno de las estructuras es limolita a lutita de color gris a ocre y rojizo, muy similar a la roca a su alrededor pero frecuentemente más endurecido o compactado. Michalzick (1991) interpretó estas estructuras como cavidades de peces pulmonados, similares a las reportadas por Dubiel *et al.* (1987) en las areniscas del Triásico Superior de la Meseta del Colorado. Sin embargo, dichas estructuras han sido motivo de discusión ya que posteriormente fueron interpretadas como producidas por la actividad de especies de artrópodos u otros organismos como rizolitos (Tanner and Lucas, 2006).

Área de Aramberri, Nuevo León

La municipalidad de Aramberri se encuentra enclavada en la Sierra Madre Oriental, aunque ya en las proximidades de la Mesa Central, hacia el sur del estado de Nuevo León (Figuras 1 y 3). En varios puntos a lo largo del llamado río Blanco, que atraviesa a la población de Aramberri y especialmente en el área de Mezquital, al norte de esta cabecera municipal, aflora una sucesión de capas rojas de espesor variable que no rebasa los 200 m. Dicha secuencia sobrepone a rocas volcánicas del Jurásico Inferior (U-Pb, 193.3±1.5 Ma; Barboza-Gudiño

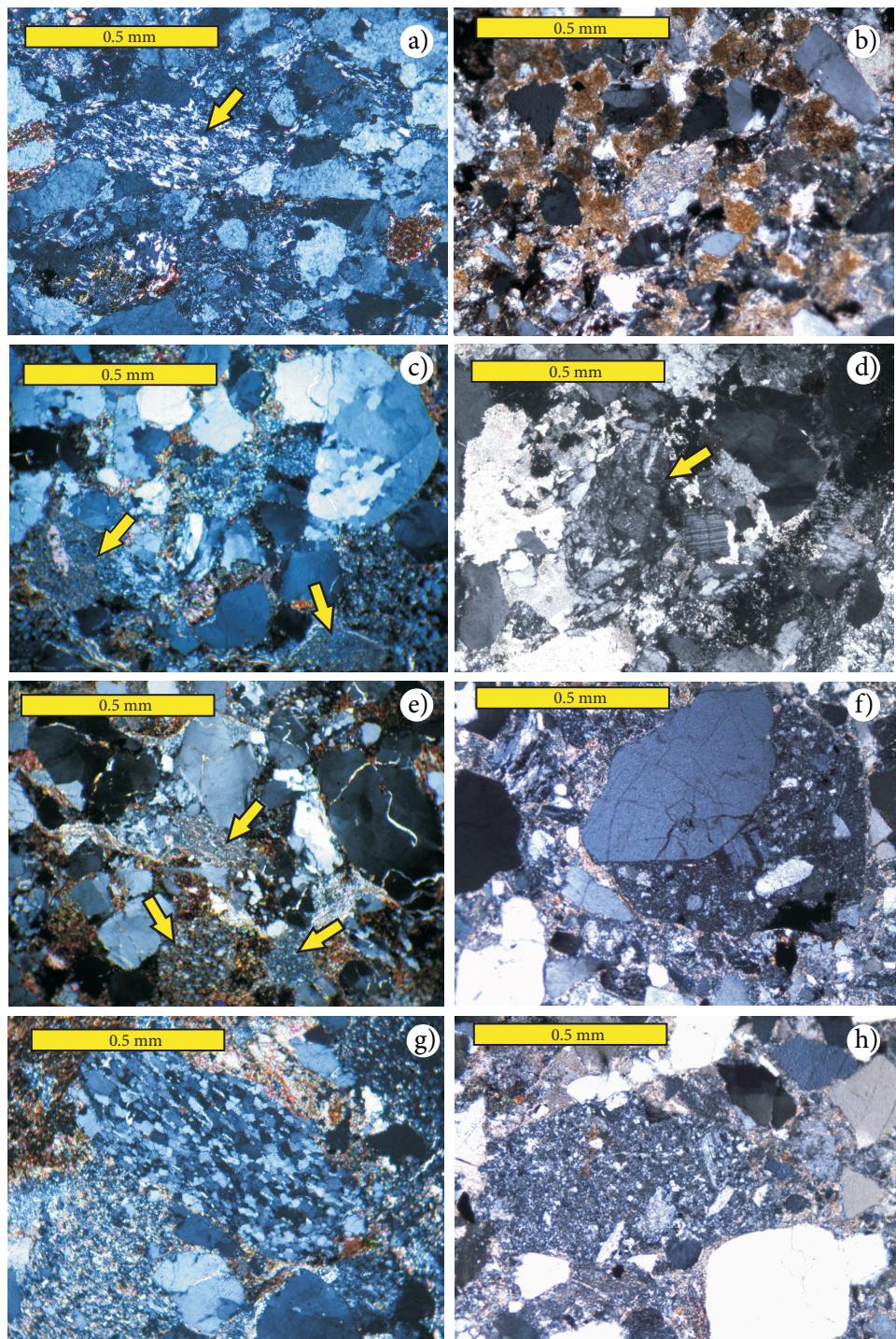


Figura 5. Algunos aspectos al microscopio de los diversos componentes clásticos de las areniscas de la unidad inferior o Formación El Alamar del Triásico Superior (fotomicrografías de la columna izquierda de la lámina), y de la unidad superior considerada como Formación La Boca, del Jurásico Inferior (fotomicrografías de la columna derecha). En todos los casos las fotomicrografías han sido tomadas con polarizadores cruzados y se indica la escala de manera gráfica: a) Fragmento lítico de roca metamórfica con clivaje (flecha) rodeado de cuarzo principalmente policristalino en una arenisca procedente de la Formación El Alamar expuesta en el Cañón de La Boca, Tamaulipas; b) Fragmento muy alterado de feldespato en la arenisca procedente de la unidad superior (Formación La Boca) expuesta en el Cañón de Peregrina; c) Fragmento de cuarzo policristalino en la parte superior izquierda y líticos sedimentarios (flechas) en una muestra procedente del Cañón del Novillo (Formación El Alamar); d) Fragmento lítico de origen volcánico con un cristal pequeño de plagioclasa maclada en el centro de la fotografía; Formación La Boca (Muestra CC11-1) procedente del Cañón de Caballeros, Tamaulipas; e) Fragmentos de rocas sedimentarias (flechas) en la Formación El Alamar (muestra CN 2.1) procedente del Cañón del Novillo; f) Fragmento de roca volcánica, porfirítica, de composición posiblemente intermedia a felsica, procedente de la Formación La Boca expuesta en el Cañón del mismo nombre, Tamaulipas; contiene pequeños cristales de plagioclásas y feldespato, así como un gran cristal de cuarzo; g) fragmento de cuarcita al centro, mostrando claramente un arreglo de pequeños cristales de cuarzo, alargados, con una orientación preferencial que le imprimen a la roca clivaje, además de la presencia de muy finas laminillas de mica blanca. Muestra procedente de la unidad inferior (fm El Alamar) expuesta en el Cañón del Novillo, h) Lítico volcánico de composición intermedia, contenido en una arenisca de la unidad superior (fm La Boca) expuesta en el Cañón de La Boca.

et al., 2008), y subyace discordantemente a brecha, arenisca y limolita también rojas de la Formación La Joya. Las capas que sobreyacen a las rocas volcánicas son arenisca y limolita de color café rojizo y contienen horizontes de material volcániclastico, localmente con una pobre estratificación, apreciándose principalmente laminación paralela y en determinadas zonas laminación cruzada y/o curvada.

Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas

En la parte norte del anticlinorio Huizachal-Peregrina, en el frente de la Sierra Madre Oriental, al poniente de Ciudad Victoria, Tamaulipas, aflora una potente sucesión de arenisca roja que, hacia el núcleo o parte interna del anticlinorio, en el cañón del Olmo o del Tigre (Figuras 1 y 3), presenta un límite por falla con rocas volcánicas andesíticas hasta riolíticas, posiblemente del Jurásico Inferior. En el cañón de la Boca la arenisca de facies fluviales presentan un límite por falla con rocas plutónicas pre-Triásicas, a juzgar por la presencia de algunos clastos de unidades subyacentes en las capas del Triásico Superior. Hacia el sur, en el cañón de Caballeros aunque el límite de las capas rojas con esquisto paleozoico se encuentra cubierto y se ha interpretado como una zona de falla, también pudiera ser una discordancia, relación que se observa más claramente en el cañón del Novillo, sobre el flanco occidental, hacia la parte sur del anticlinorio; por otro lado, en el cañón de Peregrina las capas rojas sobreyacen de manera discordante a sedimentos paleozoicos. En todas las localidades antes mencionadas, estas sucesiones de capas rojas están cubiertas en discordancia angular de hasta más de 50°, por conglomerado de abanico aluvial, brecha y arenisca roja de la Formación La Joya. En la porción suroccidental del anticlinorio y en su parte norte, se reconoce claramente una sucesión inferior de capas a bancos de arenisca conglomerádica de color gris a ocre y café rojizo; esta secuencia es comparable en su litología y contenido fósil, principalmente madera silicificada, con la sucesión expuesta en las localidades de El Alamar y San Marcos, antes descritas. Sobreayeciendo a esta unidad se observa en esta porción de Tamaulipas, una sucesión de capas rojas con intercalaciones de material volcánico y epiclástico, que no se reconoció en las áreas del Alamar y San Marcos en Nuevo León. La coloración de las capas de la unidad superior es rojo hasta púrpura y, en la mayoría de los afloramientos, se aprecia un predominio de las facies pelíticas. Las muestras procedentes de estas dos sucesiones de capas rojas, ambas interpretadas como de facies fluvial, han sido separadas para su descripción petrográfica.

Las rocas de la sucesión inferior, considerada del Triásico, son de grano fino a medio con algunos gránulos mayores, de formas subangulosas, variando desde mal clasificadas hasta bien clasificadas, con matriz arcillosa y cementante de carbonatos. En algunos casos se observa una laminación en el rango de 4 mm hasta 2 cm, y algunos clastos pelíticos de color gris claro a verde olivo, de 3 mm hasta 4 cm de largo, así como restos de plantas mal preservados.

Las rocas características de la sucesión superior, consideradas del Jurásico Inferior, son arenisca, limolita y lutita roja a café rojizo y púrpura, que forman capas medianas a gruesas o en muchos de los casos, principalmente en las facies pelíticas, con muy mala estratificación. Estas rocas presentan el desarrollo de un clivaje que, en general, en estos afloramientos posee un rumbo norte-noroeste, por lo que su origen se interpreta relacionado a la deformación laramídica.

En el valle del Huizachal afloran capas de arenisca roja a limolita y lutita, comúnmente con algunos bancos conglomerádicos y arenisca de grano grueso con laminación cruzada. Se puede ver en estos afloramientos una relación de intrusión por algunos cuerpos riolíticos en domo; a su vez, se presenta la intercalación de productos volcánicos de este mismo tipo en la sucesión de arenisca roja. Hacia la parte inferior de la sucesión volcánica-sedimentaria también se pueden ver derrames de andesita brechada, posiblemente a manera de brecha de desinte-

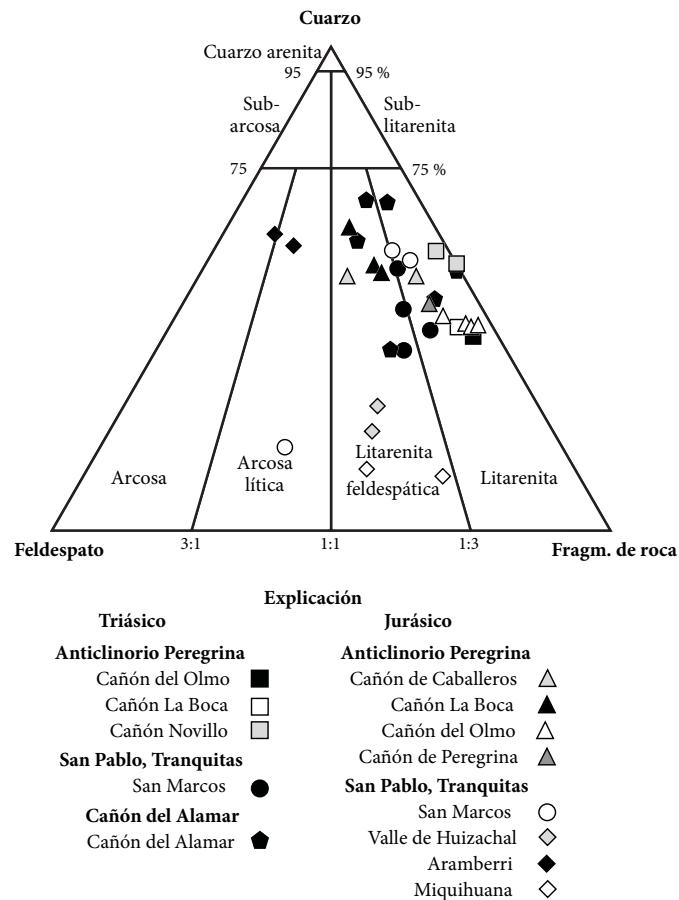


Figura 6. Diagrama ternario de clasificación según Folk (1980), con las muestras de arenas rojas colectadas en la unidad inferior (Formación El Alamar, del Triásico Superior) y en la unidad superior (Formación La Boca). En el vértice Q se incluyen todos los tipos de cuarzo y los fragmentos de metacuarcite. En el vértice F, se incluyen los feldespatos potásicos y las plagioclasas sódicas y cárnicas, más los fragmentos de granito y gneises. En el vértice R se incluyen todos los fragmentos de rocas de grano fino, más el pedernal.

gración en los flujos o derrames, así como mezclas de sedimentos y lavas ocurridas aparentemente en una etapa previa a la litificación de los sedimentos, dentro de cuerpos acuosos en forma de peperitas.

Área de Miquihuana-Bustamante, Tamaulipas

En el área de Miquihuana y Bustamante (Figuras 1 y 3), dos comunidades ubicadas en la Sierra Madre Oriental, 40 km al poniente de la ciudad de Jaumave, Tamaulipas, afloran capas rojas que han sido consideradas del Triásico (Bartolini et al., 1999), hasta el Jurásico Medio (Mixon, 1963), y que de acuerdo con nuestras observaciones de campo corresponderían a las capas del Jurásico Inferior a Medio, así consideradas en este trabajo. Estas rocas son arenisca y limolita rojas que sobreyacen a esquisto paleozoico y subyacen a caliza del Cretácico pertenecientes al extremo norte de la plataforma carbonatada Valles-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1961).

PETROGRAFÍA

Las muestras analizadas de las secuencias triásicas y jurásicas de los cañones del Alamar, área de San Marcos, anticlinorio de Huizachal-Peregrina, y los afloramientos de Aramberri y Miquihuana,

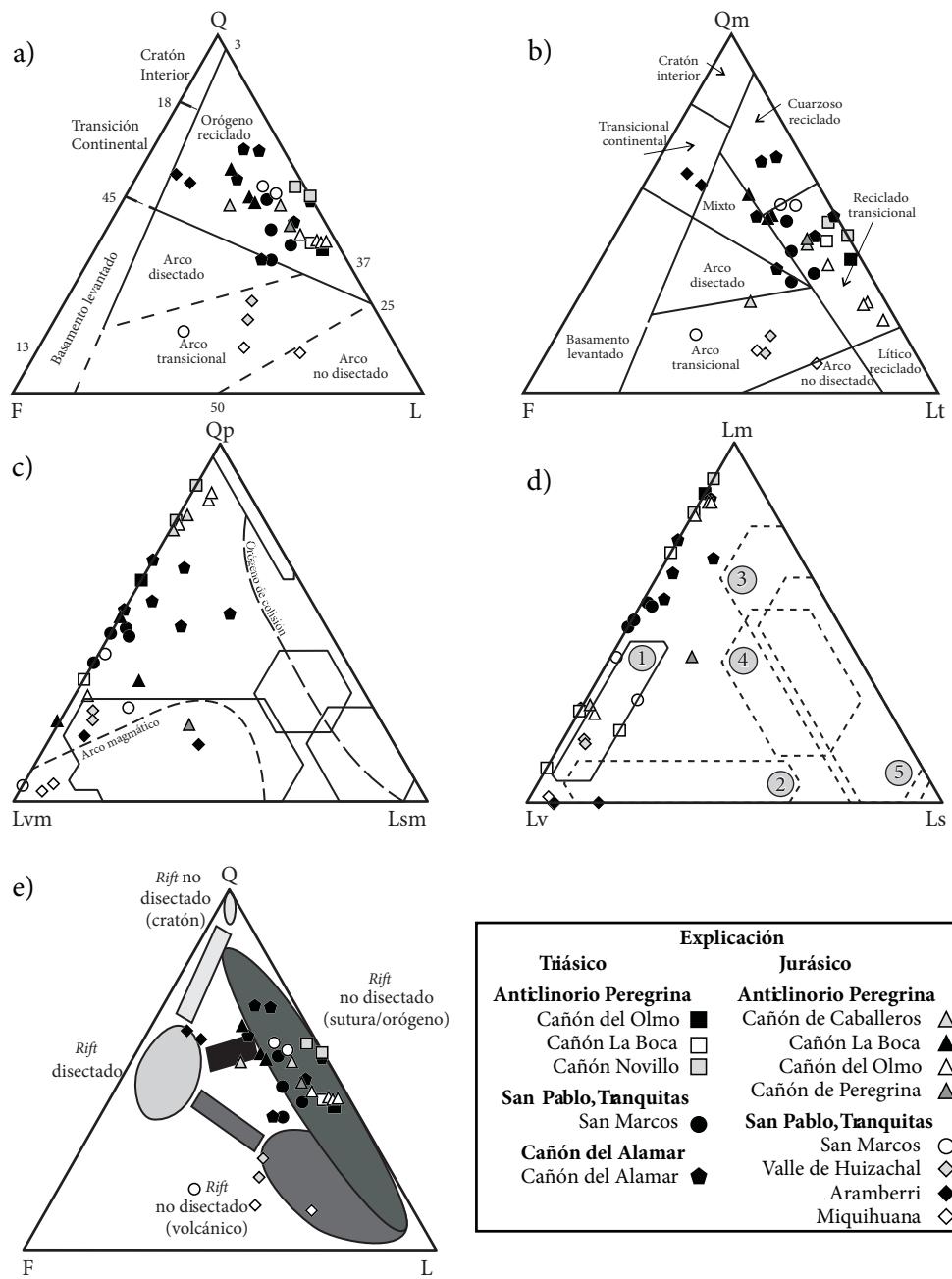


Figura 7. Diagramas ternarios para discriminar areniscas según su ambiente tectónico: a) y b) diagramas QFL y QmFL de Dickinson *et al.* (1983); c) y d) diagramas que ilustran las relaciones de QpLvmLsm y LmLvLs, según Ingerson y Suczek (1979); e) diagrama ternario QFL de Garzanti *et al.* (2001) modificado por Marsaglia *et al.* (2007).

muestran una variación composicional de arcosas líticas, litoarenitas feldespáticas, arenitas feldespáticas, litoarenitas, sublitoarenitas y subarcosas, dentro del esquema de clasificación de Folk (1980). Composicionalmente todas las muestras presentan diferentes relaciones de abundancia de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca. En orden de abundancia, el cuarzo es monocristalino y policristalino. El cuarzo monocristalino muestra un predominio de extinción ondulante sobre la recta, con inclusiones de apatita y circones; presentan estrías (*cf.* Folk, 1980), vacuolas y pocos golfos de corrosión. El cuarzo policristalino que predomina es el que está formado por más de tres cristales ($Qp > 3$), que exhiben tramas tectónicas, poliagregados de cuarzo monocristalino con contactos suturados y extinción ondulante individual (de cristal a

cristal); son comunes las texturas metármicas recristalizadas (Folk, 1980) o bien, texturas faneríticas constituidas por cuarzo, feldespato y plagioclasa con contactos rectos en forma de "Y", en ángulos cercanos a los 120° , de posible origen plutónico. Texturalmente, ambos grupos de cuarzo son subredondeados a redondeados con una esfericidad que varía de moderada a alta. El grupo del Feldespato está constituido por feldespato potásico y plagioclasa, en proporciones variables. La plagioclasa se presenta con maclado polisintético y comúnmente altera a sericitita. El feldespato potásico que comúnmente altera a caolinita, se presenta con o sin maclado de tipo Carlsbad. Otro feldespato potásico presente es la microclina, caracterizada por mostrar maclado en enrejado. Texturalmente los feldespatos son redondeados, con baja a

moderada esfericidad. Los fragmentos líticos son del tipo metamórfico, volcánico, plutónico y sedimentario, los cuales varían en abundancia en cada área estudiada (ver Tablas 1 y 2). Los líticos metamórficos muestran texturas metapelíticas₂ (Lmp₂), metapelíticas₃ (Lmp₃), metapelíticas₄ (Lmp₄), metasamíticas/felsíticas₂ (Lms₂), metasamíticos/felsíticas₃ (Lms₃), metasamíticos/felsíticas₄ (Lms₄), metabásica₂ (Lmb₂), metabásicas₃ (Lmb₃), metabásica₄ (Lmb₄), metacarbonática₂ (Lmc₂), y metacarbonática₄ (Lmc₄). Texturalmente los fragmentos de rocas varían de subangulosos a redondeados con moderada a alta esfericidad. Los fragmentos volcánicos son del tipo volcánicos felsíticos (LvFel), volcánicos tipo *lathwork* (LvLat), volcánicos microlíticos (LvMic), líticos tobáceos no soldados (LvTobNs) y líticos tobáceos soldados con texturas fluidales (LvTobNs), son subangulosos a subredondeados, con moderada esfericidad. Los líticos plutónicos exhiben texturas gráficas y mirmequíticas (LpMq) compuestas por cuarzo y feldespato. Los fragmentos sedimentarios están formados por líticos de lutita (Lslu) y arenisca de grano medio a fino (Lsa), que texturalmente son redondeados con baja a moderada esfericidad.

Los minerales accesorios, la matriz y el cemento documentados en las diferentes muestras, son variables y altamente dependientes del área de estudio, constituidos por clorita férrica, biotita, epidota, círcón, turmalina, serpentina, jarosita, apatita, clinopiroxenos y hematita. La matriz es del tipo proto-, orto- y epimatriz que en todos los casos es menor al 10% y se encuentra constituida por minerales arcillosos no diferenciados y parcialmente oxidada. En algunos casos la matriz se encuentra constituida por sericitia de origen diagenético. El cemento es de cuarzo sintaxial, menor al 5% y en menores proporciones de calcita en hábito poiquilotópico que reemplaza al feldespato y bordea al cuarzo.

El análisis petrográfico revela que existen variaciones composicionales importantes en las muestras de cada área, como se aprecia en la Tabla 1 y descritas a continuación:

Características petrográficas de las sucesiones triásicas

Petrográficamente las muestras de las sucesiones triásicas de la Formación El Alamar en los cañones de El Alamar, el Olmo, la Boca, el Novillo y en el área de San Marcos, se caracterizan por mostrar altos contenidos de plagioclasa, de fragmentos de rocas que en orden de abundancia son metamórficas, volcánicas, sedimentarias y plutónicas. Los fragmentos metamórficos son de grado bajo, medio, con escasos de grado alto, que en orden de abundancia muestran texturas Lmp₃, Lmp₂, Lms₂, Lms₃, Lmb₂, Lmb₃, Lmb₄ y LmC₂ (ver Tabla 1). Los líticos con texturas felsíticas son los fragmentos volcánicos más abundantes, con presencia menor de líticos con texturas *lathwork*, microlíticas y tobáceas no soldadas. Los fragmentos sedimentarios se componen de arenisca de grano fino y lutita. Las muestras de las áreas del cañón El Alamar, la Boca y el Novillo, son las que tienen el mayor contenido de líticos metamórficos, en tanto que el contenido más alto de fragmentos volcánicos lo registran las áreas del cañón del Olmo y San Marcos (ver Tabla 1).

Características petrográficas de las sucesiones jurásicas

Las areniscas de las sucesiones jurásicas, se caracterizan por mostrar un mayor contenido de feldespatos potásicos, y en orden de abundancia líticos volcánicos, metamórficos, sedimentarios y plutónicos. Los líticos volcánicos con texturas felsíticas son los más abundantes, seguidos por los líticos volcánicos con textura *lathwork*, microlíticos y tobáceos soldados y no soldados (ver Tabla 1). Los fragmentos metamórficos más frecuentes son de bajo a medio grado, muy escasos de grado alto, que exhiben las texturas Lmp₂, Lms₂, Lmb₂, Lmc₂, Lmp₃, Lms₃, Lmb₃, Lmp₄, Lms₄, Lmb₄, Lmc₄. El mayor contenido de fragmentos volcánicos se presenta en las muestras de las áreas de valle de Huizachal y Miquihuana, en tanto que los fragmentos metamórficos

se concentran más en las muestras de los cañones de Peregrina, el Olmo, la Boca, Caballeros, valle de Huizachal y en el área de San Marcos (ver Tabla 1).

RESULTADOS DE LA GEOCRONOLOGÍA DE CIRCONES DETRÍTICOS

Los resultados de la geocronología de circones detriticos aparecen en las tablas 3 y 4, y en los diagramas de concordia y curvas de probabilidad relativa (Figuras 8 y 9).

La muestra SM07-6, colectada en la Formación El Alamar, en la parte superior de la secuencia en el área de San Marcos, Nuevo León (24°41.8'N; 100°06.1'W), y de la cual se analizaron 88 granos de círcón, arrojó un total de ocho circones con edades del Paleoproterozoico-Mesoproterozoico (2237 ± 37.5 – 1342.8 ± 30.3 Ma), 54 granos con edades correlacionables a dataciones grenvillianas (1287.5 ± 50.4 – 927.6 ± 13.7 Ma), diez circones paleozoicos (506.6 ± 31.1 – 307 ± 10.5 Ma) y 12 circones cuyas edades se encuentran entre 284.7 ± 3 Ma y 246.8 ± 7.7 Ma, que corresponden con el arco Pérmico-Triásico, además de cuatro circones del Triásico Tardío. En el diagrama de concordia de la Figura 8a se observa que, de manera general, los circones con edades menores que 1200 Ma tienden a ser concordantes, mientras que los circones más antiguos aparecen discordantes y presentan mayores rangos de error. La Figura 8b muestra el diagrama de curva de probabilidad relativa, en donde se reconoce una importante población de circones grenvillianos ligeramente dividida en dos picos, así como un pico menor pero representativo de circones del Paleozoico temprano y un pico prominente de circones pérmico-triásicos. La edad máxima del depósito de esta muestra está dada por tres circones con edades entre 222.4 ± 2.2 y 218.3 ± 5.8 Ma, lo que arroja en promedio 220 Ma. Un grano aislado de círcón con una edad de 203.6 ± 4.5 Ma aparece concordante y podría indicar una edad máxima del depósito aún menor. Sin embargo la incertidumbre es mayor, si consideramos que el fenómeno de pérdida de plomo podría, teóricamente, hacer aparecer un grano de mayor edad, como más joven y concordante. Es factible eliminar dicha incertidumbre únicamente ante la ocurrencia mínima de tres circones, cuyos resultados se traslapen de acuerdo con el grado de incertidumbre, en este caso 1σ (Ludwig, 2003).

De la muestra MIQ06-8, colectada en la secuencia de areniscas rojas que afloran en el cerro de la Cruz, al oriente de la comunidad de Miquihuana (23°34.9'N; 99°44.8'W), se obtuvieron 92 edades de circones detriticos: cinco con edades del Paleoproterozoico-Mesoproterozoico (1674.8 ± 18.6 – 1374.1 ± 30.5 Ma), dos granos neoproterozoicos (849.0 ± 17.6 Ma y 570.4 ± 7.4 Ma), seis granos del Paleozoico temprano y tardío (458.1 ± 7.2 Ma – 314.4 ± 3.7 Ma), 14 con edades en el rango entre 1304.9 ± 24.9 Ma y 914.9 ± 47.8 Ma, que se pueden considerar grenvillianos, solo dos granos pérmico-triásicos de 251.4 ± 2.7 Ma y 245.2 ± 4.1 Ma, 60 circones que representan la población más grande en la muestra y se consideran procedentes del arco volcánico del Jurásico Temprano a Tardío, o arco Nazas (189.1 ± 5.5 Ma y 160.6 ± 4.6 Ma), así como un círcón del Triásico Tardío, de 213.1 ± 10.1 Ma, y un grano de círcón aislado, discordante, que arrojó una edad de 137.7 ± 2.7 Ma. En el diagrama de concordia de la Figura 9a, se observa gran cantidad de circones discordantes y algunos con grandes errores, principalmente en la relación ²⁰⁷Pb/²³⁵U. Sin embargo, existe un buen número de edades de círcón concordantes y con errores poco significativos para la población principal del Jurásico Temprano, lo que da certidumbre de que se trata de una población importante de circones pertenecientes al ya mencionado arco volcánico del Jurásico Temprano o Arco Nazas. La presencia de circones del Jurásico Temprano nos da la pauta para diferenciar entre la sucesión de capas

Tabla 3. Geocronología U-Pb de circones detriticos de la muestra SM07-6 (24°41.8'N; 100°06.1'W), procedente del área de San Marcos, Nuevo León.

U (ppm)	^{206}Pb ^{204}Pb	U/Th	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	\pm (%)	Relaciones isotópicas					Edades aparentes (Ma)								
					$^{207}\text{Pb}^*$ $^{235}\text{U}^*$	\pm (%)	$^{206}\text{Pb}^*$ ^{238}U	\pm (%)	error corr.	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{238}\text{U}^*$	\pm Ma	$^{207}\text{Pb}^*$ ^{235}U	\pm Ma	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	\pm Ma	Best age Ma	\pm Ma	
15	806	34752	1.7	19.5643	4.5	0.2261	5.0	0.0321	2.2	0.45	203.6	4.5	207.0	9.4	245.9	102.9	203.6	4.5
40	233	7105	1.9	19.0917	10.0	0.2487	10.3	0.0344	2.7	0.26	218.3	5.8	225.5	20.9	302.0	227.8	218.3	5.8
98	292	3724	1.9	19.5654	7.2	0.2452	7.8	0.0348	3.1	0.40	220.5	6.7	222.6	15.6	245.8	165.3	220.5	6.7
34	461	4806	1.8	17.7955	4.2	0.2720	4.3	0.0351	1.0	0.24	222.4	2.2	244.3	9.3	460.0	92.1	222.4	2.2
1	438	18610	1.7	18.6043	3.9	0.2892	5.0	0.0390	3.2	0.64	246.8	7.7	257.9	11.4	360.6	87.5	246.8	7.7
18	246	10080	1.5	18.0066	9.1	0.2989	9.3	0.0390	2.0	0.22	246.8	4.9	265.5	21.7	433.8	202.5	246.8	4.9
14	1004	24063	2.8	19.3337	4.7	0.2824	4.8	0.0396	1.1	0.22	250.3	2.6	252.5	10.7	273.2	107.2	250.3	2.6
53	267	8656	1.6	19.3678	5.1	0.2824	5.2	0.0397	1.0	0.19	250.8	2.5	252.6	11.7	269.1	118.1	250.8	2.5
48	388	16688	1.5	20.1582	4.5	0.2777	4.7	0.0406	1.4	0.29	256.5	3.4	248.8	10.3	176.6	104.6	256.5	3.4
5	247	7046	2.4	18.6697	4.0	0.3004	8.3	0.0407	7.3	0.88	257.0	18.4	266.7	19.5	352.7	90.3	257.0	18.4
70	625	23310	2.3	18.9523	4.0	0.2989	4.7	0.0411	2.4	0.51	259.6	6.1	265.6	10.9	318.6	90.8	259.6	6.1
54	436	14473	2.0	19.6356	3.6	0.2960	3.7	0.0422	1.0	0.27	266.2	2.6	263.3	8.7	237.5	83.2	266.2	2.6
57	119	6143	2.1	16.9352	20.6	0.3461	20.7	0.0425	1.6	0.08	268.4	4.1	301.8	54.0	568.9	453.0	268.4	4.1
89	138	9216	2.3	18.9804	9.7	0.3091	9.8	0.0426	1.5	0.15	268.6	3.9	273.5	23.5	315.3	220.6	268.6	3.9
90	230	2541	1.2	18.9748	9.2	0.3119	9.3	0.0429	1.5	0.17	270.9	4.1	275.6	22.4	315.9	208.9	270.9	4.1
10	205	8512	3.5	19.8673	7.7	0.3134	7.8	0.0452	1.1	0.14	284.7	3.0	276.8	18.8	210.4	178.7	284.7	3.0
93	261	14466	2.5	19.0379	3.1	0.3532	4.7	0.0488	3.5	0.75	307.0	10.5	307.1	12.4	308.4	69.9	307.0	10.5
75	200	7529	1.3	18.6275	5.0	0.4013	5.2	0.0542	1.5	0.28	340.4	4.8	342.6	15.2	357.8	113.7	340.4	4.8
16	465	23720	2.0	18.9347	3.5	0.4271	6.0	0.0586	4.9	0.81	367.4	17.5	361.1	18.3	320.8	80.4	367.4	17.5
99	157	5012	1.1	16.6528	4.4	0.5797	8.4	0.0700	7.2	0.85	436.2	30.3	464.3	31.4	605.4	94.9	436.2	30.3
42	231	11928	1.4	17.7627	3.3	0.5798	4.2	0.0747	2.5	0.60	464.3	11.3	464.3	15.6	464.1	74.2	464.3	11.3
88	433	17539	1.1	17.2615	3.6	0.5982	5.2	0.0749	3.7	0.72	465.6	16.6	476.1	19.6	527.2	78.8	465.6	16.6
69	285	18312	1.1	17.9428	3.5	0.5769	4.2	0.0751	2.2	0.54	466.6	10.0	462.4	15.4	441.7	77.9	466.6	10.0
94	358	21476	0.7	18.3081	2.9	0.5673	3.5	0.0753	1.8	0.52	468.2	8.2	456.3	12.7	396.7	65.9	468.2	8.2
27	102	5737	1.2	16.6648	8.0	0.6329	8.3	0.0765	2.1	0.25	475.1	9.4	497.9	32.5	603.8	173.4	475.1	9.4
96	1087	13409	4.2	13.0323	3.4	0.8650	7.2	0.0818	6.4	0.88	506.6	31.1	632.8	34.0	1114.2	67.3	506.6	31.1
56	160	70000	4.0	13.8567	2.5	1.5399	3.0	0.1548	1.6	0.53	927.6	13.7	946.4	18.4	990.6	51.3	927.6	13.7
36	401	35630	1.6	14.2933	3.2	1.5396	3.4	0.1596	1.3	0.37	954.6	11.2	946.4	21.0	927.2	65.1	954.6	11.2
13	119	16804	3.7	14.0110	1.7	1.6629	2.0	0.1690	1.0	0.50	1006.5	9.3	994.5	12.7	968.1	35.6	968.1	35.6
49	124	13549	2.5	13.8187	2.5	1.7107	2.9	0.1714	1.3	0.46	1020.1	12.4	1012.5	18.3	996.2	51.5	996.2	51.5
28	127	18225	2.0	13.6812	1.6	1.7024	1.9	0.1689	1.0	0.53	1006.1	9.3	1009.4	12.1	1016.5	32.7	1016.5	32.7
97	126	24798	4.1	13.5944	2.7	1.7712	3.2	0.1746	1.7	0.53	1037.6	16.2	1035.0	20.7	1029.4	54.6	1029.4	54.6
100	194	28343	3.9	13.5834	2.4	1.6746	3.3	0.1650	2.3	0.70	984.4	20.9	998.9	20.9	1031.0	47.5	1031.0	47.5
7	95	14322	1.4	13.5595	2.2	1.7775	2.6	0.1748	1.3	0.50	1038.5	12.2	1037.3	16.7	1034.6	45.0	1034.6	45.0
38	56	9818	3.4	13.5451	3.7	1.7207	4.0	0.1690	1.4	0.34	1006.8	12.6	1016.3	25.4	1036.7	75.3	1036.7	75.3
19	136	19236	4.3	13.5357	2.3	1.6884	3.1	0.1658	2.0	0.65	988.7	18.4	1004.2	19.7	1038.1	47.4	1038.1	47.4
58	201	23863	3.2	13.4880	2.5	1.8459	2.7	0.1806	1.0	0.37	1070.1	9.9	1062.0	17.9	1045.3	51.1	1045.3	51.1
4	217	19761	2.5	13.4853	2.2	1.6954	3.6	0.1658	2.8	0.79	989.0	25.8	1006.8	22.8	1045.7	44.2	1045.7	44.2
72	224	41468	1.7	13.4525	1.9	1.7584	4.9	0.1716	4.6	0.93	1020.7	43.2	1030.3	32.0	1050.6	37.7	1050.6	37.7
76	248	57733	5.8	13.4032	2.7	1.6707	5.6	0.1624	4.9	0.87	970.1	43.7	997.4	35.3	1058.0	54.8	1058.0	54.8
41	117	17171	2.4	13.3999	4.0	1.8065	4.2	0.1756	1.0	0.24	1042.7	9.6	1047.8	27.2	1058.5	81.2	1058.5	81.2
77	240	34549	2.8	13.3858	3.4	1.8801	3.6	0.1825	1.0	0.28	1080.8	10.0	1074.1	23.6	1060.6	68.7	1060.6	68.7
80	476	75947	6.8	13.3149	2.0	1.8512	2.7	0.1788	1.9	0.69	1060.2	18.4	1063.8	18.1	1071.3	40.0	1071.3	40.0
32	115	15617	4.4	13.3133	2.2	1.8411	2.8	0.1778	1.8	0.62	1054.8	17.0	1060.3	18.6	1071.5	44.4	1071.5	44.4
30	127	26887	3.0	13.2831	1.9	1.8476	2.3	0.1780	1.3	0.55	1056.0	12.5	1062.6	15.3	1076.1	38.9	1076.1	38.9
79	411	134138	4.1	13.2722	2.5	1.8307	3.1	0.1762	1.7	0.57	1046.3	16.7	1056.5	20.1	1077.7	50.6	1077.7	50.6
68	157	26625	3.1	13.2549	3.8	1.8539	3.9	0.1782	1.0	0.27	1057.3	10.1	1064.8	25.8	1080.3	75.5	1080.3	75.5
26	144	11302	1.1	13.2529	4.4	1.8740	4.8	0.1801	1.9	0.40	1067.7	18.8	1071.9	31.6	1080.6	87.8	1080.6	87.8
45	58	14599	2.3	13.2467	4.5	1.7726	4.9	0.1703	1.8	0.37	1013.7	17.0	1035.5	31.6	1081.6	90.7	1081.6	90.7
35	154	26236	4.6	13.1886	3.4	1.7940	4.1	0.1716	2.3	0.56	1020.9	21.9	1043.3	27.0	1090.4	68.8	1090.4	68.8
47	246	32277	2.2	13.1730	3.8	1.9869	4.0	0.1898	1.3	0.32	1120.4	12.9	1111.1	26.8	1092.7	75.4	1092.7	75.4
82	155	36271	1.5	13.1377	2.7	1.9263	3.2	0.1835	1.6	0.51	1086.3	16.2	1090.3	21.1	1098.1	54.1	1098.1	54.1
65	380	65566	18.8	13.0534	3.0	2.0479	3.1	0.1939	1.0	0.32	1142.4	10.5	1131.6	21.3	1111.0	59.1	1111.0	59.1
63	165	17493	2.7	12.9603	5.2	1.9464	5.5	0.1830	1.8	0.33	1083.1	17.9	1097.2	36.7	1125.3	102.9	1125.3	102.9

continúa

Tabla 3 (cont.). Geocronología U-Pb de circones detriticos de la muestra SM07-6 (24°41.8'N; 100°06.1'W), procedente del área de San Marcos, Nuevo León.

U (ppm)	^{206}Pb ^{204}Pb	U/Th	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	± (%)	Relaciones isotópicas			error corr.	Edades aparentes (Ma)						Best age Ma	± Ma		
					$^{207}\text{Pb}^*$ $^{235}\text{U}^*$	± (%)	$^{206}\text{Pb}^*$ ^{238}U		$^{206}\text{Pb}^*$ $^{238}\text{U}^*$	± Ma	$^{207}\text{Pb}^*$ ^{235}U	± Ma	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	± Ma				
73	326	58209	2.4	12.7896	3.1	2.0605	4.0	0.1911	2.5	0.63	1127.5	26.2	1135.8	27.5	1151.7	62.2	1151.7	62.2
23	144	23510	2.3	12.7614	3.1	2.0171	4.4	0.1867	3.1	0.71	1103.4	31.3	1121.3	29.6	1156.0	60.9	1156.0	60.9
25	148	25795	2.1	12.7405	2.6	2.1448	2.8	0.1982	1.1	0.39	1165.6	11.6	1163.4	19.2	1159.3	50.7	1159.3	50.7
81	432	44422	12.9	12.6598	3.3	1.9065	7.4	0.1750	6.7	0.90	1039.9	63.9	1083.4	49.5	1171.9	65.1	1171.9	65.1
61	310	29964	1.3	12.6395	3.0	1.9704	7.3	0.1806	6.6	0.91	1070.4	65.4	1105.4	49.0	1175.1	58.8	1175.1	58.8
55	305	77487	3.4	12.6011	4.4	2.2044	4.6	0.2015	1.4	0.31	1183.2	15.6	1182.4	32.1	1181.1	86.2	1181.1	86.2
87	135	16282	3.0	12.5995	3.4	2.0445	4.3	0.1868	2.6	0.60	1104.2	26.0	1130.5	29.1	1181.3	67.4	1181.3	67.4
33	321	80980	19.8	12.5947	3.3	2.2309	3.5	0.2038	1.1	0.30	1195.6	11.5	1190.8	24.2	1182.1	65.1	1182.1	65.1
39	472	58842	6.1	12.5829	2.5	2.2133	3.9	0.2020	2.9	0.76	1186.0	31.8	1185.2	27.0	1183.9	49.2	1183.9	49.2
46	341	63515	4.6	12.5777	2.1	2.1766	2.8	0.1986	1.9	0.67	1167.5	20.0	1173.6	19.3	1184.7	40.5	1184.7	40.5
95	227	43225	1.6	12.5630	3.3	2.1324	3.5	0.1943	1.0	0.30	1144.6	10.8	1159.4	23.9	1187.0	65.2	1187.0	65.2
12	367	32736	3.5	12.5110	3.0	2.1506	6.1	0.1951	5.3	0.87	1149.2	56.0	1165.2	42.5	1195.2	59.8	1195.2	59.8
31	67	10108	2.4	12.4588	3.8	2.0617	5.1	0.1863	3.5	0.67	1101.3	34.9	1136.2	35.1	1203.5	75.0	1203.5	75.0
85	768	201205	5.0	12.4525	1.8	2.3229	2.1	0.2098	1.0	0.49	1227.7	11.2	1219.3	14.6	1204.5	35.5	1204.5	35.5
86	122	15694	4.1	12.4122	3.5	2.1927	4.6	0.1974	2.9	0.64	1161.3	30.9	1178.7	31.9	1210.9	69.6	1210.9	69.6
22	252	73703	2.5	12.3552	2.4	2.2946	2.9	0.2056	1.7	0.59	1205.4	19.0	1210.6	20.6	1219.9	46.2	1219.9	46.2
74	145	23594	3.2	12.3453	3.3	2.1448	3.7	0.1920	1.6	0.44	1132.4	16.6	1163.4	25.4	1221.5	65.0	1221.5	65.0
24	134	38787	4.5	12.2742	1.5	2.2566	2.8	0.2009	2.3	0.85	1180.1	25.2	1198.8	19.4	1232.8	28.5	1232.8	28.5
62	533	63105	2.8	12.2324	4.0	2.3455	4.9	0.2081	2.8	0.57	1218.6	31.4	1226.2	35.1	1239.5	79.2	1239.5	79.2
20	256	51562	7.1	12.2274	2.2	2.2082	4.9	0.1958	4.4	0.90	1152.9	46.2	1183.6	34.2	1240.3	42.6	1240.3	42.6
83	505	63448	2.5	12.1812	2.0	1.9933	6.2	0.1761	5.9	0.94	1045.6	56.9	1113.2	42.2	1247.7	40.0	1247.7	40.0
29	736	109008	2.1	12.1482	1.5	2.4820	2.3	0.2187	1.7	0.74	1274.9	19.8	1266.8	16.7	1253.0	30.1	1253.0	30.1
17	229	35000	2.3	12.1131	2.6	2.4845	2.8	0.2183	1.0	0.36	1272.7	11.5	1267.5	20.1	1258.7	50.6	1258.7	50.6
52	431	107177	3.6	12.1081	2.8	2.3262	3.1	0.2043	1.3	0.41	1198.3	14.0	1220.3	21.9	1259.5	54.9	1259.5	54.9
78	1006	49284	4.2	12.0159	4.8	1.7760	4.9	0.1548	1.0	0.21	927.7	9.0	1036.7	31.7	1274.4	92.9	1274.4	92.9
21	488	57957	15.6	11.9357	2.6	2.3167	4.6	0.2005	3.8	0.83	1178.3	41.4	1217.4	32.9	1287.5	50.4	1287.5	50.4
71	615	80399	3.0	11.5999	1.6	2.6695	3.3	0.2246	3.0	0.88	1306.1	34.9	1320.1	24.7	1342.8	30.3	1342.8	30.3
50	71	16657	2.1	11.5582	3.6	2.7750	4.6	0.2326	2.8	0.61	1348.2	34.1	1348.8	34.1	1349.8	69.5	1349.8	69.5
43	296	22190	2.3	11.3905	1.9	2.2660	3.1	0.1872	2.4	0.79	1106.2	24.7	1201.8	21.6	1377.9	36.0	1377.9	36.0
51	132	20636	3.1	10.9068	5.0	2.7648	5.5	0.2187	2.3	0.42	1275.0	26.8	1346.1	40.8	1460.9	94.2	1460.9	94.2
6	265	38252	3.1	9.6599	2.8	3.6545	8.5	0.2560	8.0	0.94	1469.5	104.9	1561.5	67.5	1688.2	51.9	1688.2	51.9
67	89	40509	1.5	8.8466	2.8	5.0068	3.0	0.3212	1.0	0.34	1795.8	15.7	1820.5	25.2	1848.8	50.7	1848.8	50.7
3	322	93366	1.7	8.6772	1.6	5.0463	3.0	0.3176	2.5	0.85	1777.9	39.0	1827.1	25.1	1883.7	28.3	1883.7	28.3
11	142	48563	2.6	7.1018	2.2	6.9261	3.2	0.3567	2.3	0.73	1966.7	38.8	2102.0	28.0	2237.2	37.5	2237.2	37.5

rojas del Triásico Superior (Formación El Alamar) y capas rojas del Jurásico Inferior a Medio (formaciones La Boca y La Joya, además de la unidad eminentemente volcánica o Formación Nazas). Por lo tanto, el histograma y curva de probabilidad relativa de la misma muestra, es prácticamente un diagrama unimodal que representa a la población más prominente del Jurásico Medio-Tardío (165.7 ± 10.8 Ma – 160.6 ± 4.6 Ma), y a la vez es la edad máxima del depósito (Figura 9b).

DISCUSIÓN

Diferencias estratigráficas

El trabajo de campo ha permitido la identificación de una unidad de capas rojas en el noreste de México, la cual aflora en las localidades del cañón El Alamar y San Marcos, en Nuevo León y los cañones de El Olmo, La Boca y del Novillo en Tamaulipas, la cual fue redefinida por Barboza-Gudiño *et al.* (2010) como Formación El Alamar. Dicha unidad es claramente anterior a la emisión de una serie de productos volcánicos con edades del Jurásico Temprano a Medio (Jones *et al.*,

1995; Bartolini *et al.*, 2003; Fastovsky *et al.*, 2005; Barboza-Gudiño *et al.*, 1999, 2008; Zavala-Monsiváis *et al.*, 2012), que se intercalan con la unidad definida formalmente por Mixon *et al.* (1959) como Formación La Boca, la cual cubre en las localidades del anticlinorio Huizachal-Peregrina, a la Formación El Alamar. En las localidades del cañón El Alamar y San Marcos, la Formación La Boca está ausente (Barboza-Gudiño, 2012); en dichos afloramientos las capas de la unidad inferior están cubiertas discordantemente por la Formación La Joya o por evaporitas del Jurásico Tardío de la Formación Minas Viejas. En el valle del Huizachal no aflora la base de lo que en este trabajo es considerado como unidad superior (Formación La Boca), pero en el caso de las localidades de Aramberri, Nuevo León y Miquihuana-Bustamante en Tamaulipas, los productos volcánicos y las capas correspondientes con esta misma unidad superior jurásica sobreycacen de manera discordante a filitas y esquistos paleozoicos, sin evidencias del depósito de la unidad triásica. La Figura 10 ilustra estas relaciones estratigráficas para la Formación El Alamar del Triásico Tardío, la Formación La Boca del Jurásico Temprano a Medio, así como los productos volcánicos del arco del Jurásico Temprano (arco Nazas).

Tabla 4. Geocronología U-Pb de circones detriticos de la muestra MIQ06-8 (23°34.9'N; 99°44.8'W), procedente del área de Miquihuana, Tamaulipas.

U (ppm)	^{206}Pb ^{204}Pb	U/Th	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	\pm (%)	Relaciones isotópicas					Edades aparentes (Ma)								
					$^{207}\text{Pb}^*$ $^{235}\text{U}^*$	\pm (%)	$^{206}\text{Pb}^*$ ^{238}U	\pm (%)	error corr.	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{238}\text{U}^*$	\pm Ma	$^{207}\text{Pb}^*$ ^{235}U	\pm Ma	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	\pm Ma	Best age Ma	\pm Ma	
64	2085	2988	2.1	18.6029	2.8	0.1601	3.4	0.0216	2.0	0.57	137.7	2.7	150.8	4.8	360.8	63.7	137.7	2.7
97	2376	8816	2.2	17.8920	4.9	0.1944	5.7	0.0252	2.9	0.51	160.6	4.6	180.4	9.4	448.0	108.5	160.6	4.6
27	1154	13912	5.6	18.4207	8.5	0.1920	10.7	0.0257	6.5	0.61	163.3	10.5	178.3	17.5	382.9	190.5	163.3	10.5
86	207	7644	1.1	20.8542	3.8	0.1716	4.2	0.0259	1.7	0.40	165.1	2.7	160.8	6.2	96.9	90.8	165.1	2.7
14	444	3008	1.7	19.8257	3.9	0.1811	4.3	0.0260	1.7	0.40	165.7	2.8	169.0	6.7	215.3	91.0	165.7	2.8
76	1225	3812	2.8	20.4320	2.9	0.1767	3.8	0.0262	2.5	0.65	166.7	4.1	165.2	5.8	145.1	67.4	166.7	4.1
25	286	1368	1.0	19.8237	20.8	0.1826	20.9	0.0263	1.9	0.09	167.1	3.1	170.3	32.8	215.5	486.6	167.1	3.1
65	759	26252	4.6	20.5069	2.4	0.1782	3.2	0.0265	2.1	0.66	168.6	3.5	166.5	4.9	136.5	55.9	168.6	3.5
3	84	3172	1.4	21.3758	10.0	0.1715	10.4	0.0266	2.6	0.25	169.2	4.4	160.7	15.4	38.1	240.4	169.2	4.4
88	946	12348	4.0	19.6491	6.2	0.1867	7.2	0.0266	3.6	0.51	169.3	6.1	173.8	11.5	236.0	143.4	169.3	6.1
49	516	23192	4.6	19.9332	5.8	0.1841	6.2	0.0266	2.0	0.32	169.3	3.3	171.6	9.7	202.7	135.7	169.3	3.3
82	239	8252	1.4	21.2734	5.6	0.1737	5.9	0.0268	2.1	0.35	170.5	3.5	162.6	8.9	49.6	133.1	170.5	3.5
33	733	13668	1.3	15.6190	33.2	0.2367	33.4	0.0268	3.6	0.11	170.6	6.1	215.7	64.9	742.4	720.6	170.6	6.1
74	314	1576	1.6	19.9425	6.6	0.1855	6.8	0.0268	1.6	0.23	170.7	2.6	172.8	10.8	201.7	153.0	170.7	2.6
73	466	3352	1.6	17.0632	11.8	0.2180	11.9	0.0270	2.0	0.17	171.6	3.4	200.3	21.7	552.5	257.8	171.6	3.4
39	552	14880	1.6	20.5647	2.0	0.1816	3.0	0.0271	2.2	0.74	172.3	3.8	169.4	4.7	129.9	47.4	172.3	3.8
44	472	7500	2.1	20.5823	2.7	0.1817	3.2	0.0271	1.7	0.53	172.5	2.9	169.5	4.9	127.9	63.0	172.5	2.9
91	259	5912	1.3	20.8070	3.8	0.1801	4.0	0.0272	1.5	0.36	172.9	2.5	168.1	6.3	102.2	89.3	172.9	2.5
17	972	7176	2.7	20.0238	1.0	0.1875	1.6	0.0272	1.2	0.77	173.2	2.1	174.5	2.6	192.2	23.8	173.2	2.1
32	589	14088	2.3	19.5057	3.3	0.1927	4.6	0.0273	3.3	0.71	173.4	5.6	178.9	7.6	252.8	75.1	173.4	5.6
60	598	31564	2.1	20.5713	1.9	0.1830	4.4	0.0273	3.9	0.90	173.6	6.7	170.6	6.9	129.1	45.8	173.6	6.7
71	229	2300	1.9	21.2455	5.4	0.1790	6.2	0.0276	3.1	0.50	175.4	5.4	167.2	9.6	52.7	129.2	175.4	5.4
94	673	26140	2.5	20.2949	1.5	0.1874	3.6	0.0276	3.3	0.92	175.4	5.8	174.4	5.8	160.8	34.0	175.4	5.8
58	305	13952	2.6	20.4325	2.4	0.1868	3.7	0.0277	2.9	0.76	176.0	4.9	173.9	6.0	145.0	56.5	176.0	4.9
81	596	7868	1.6	20.5355	4.4	0.1863	4.8	0.0277	1.9	0.40	176.4	3.3	173.4	7.6	133.2	102.4	176.4	3.3
35	498	8796	1.6	19.9608	15.2	0.1918	15.2	0.0278	1.5	0.10	176.6	2.6	178.2	24.9	199.5	353.6	176.6	2.6
50	676	20660	1.6	19.8777	3.5	0.1932	5.2	0.0278	3.8	0.74	177.1	6.7	179.3	8.6	209.2	81.7	177.1	6.7
89	500	10772	2.7	20.1615	2.3	0.1906	4.4	0.0279	3.7	0.85	177.2	6.5	177.1	7.1	176.2	54.2	177.2	6.5
37	897	4820	1.0	20.7454	3.1	0.1854	3.2	0.0279	0.8	0.25	177.4	1.4	172.7	5.1	109.2	73.3	177.4	1.4
95	240	7876	3.1	19.9074	3.5	0.1934	3.8	0.0279	1.4	0.36	177.6	2.4	179.6	6.2	205.7	81.2	177.6	2.4
85	1585	7580	2.0	18.1448	1.6	0.2127	2.9	0.0280	2.4	0.84	178.0	4.3	195.9	5.2	416.8	35.5	178.0	4.3
4	245	12584	3.3	20.7474	3.5	0.1861	4.1	0.0280	2.1	0.51	178.0	3.6	173.3	6.5	109.0	83.0	178.0	3.6
59	364	15192	1.8	20.4066	2.9	0.1901	4.3	0.0281	3.1	0.73	178.9	5.5	176.7	7.0	148.0	69.0	178.9	5.5
28	192	6072	2.2	20.6289	4.1	0.1882	4.6	0.0282	2.2	0.47	179.0	3.8	175.1	7.4	122.5	95.8	179.0	3.8
10	528	12848	1.4	20.1061	2.3	0.1934	2.6	0.0282	1.1	0.43	179.3	2.0	179.5	4.2	182.7	54.0	179.3	2.0
92	331	5708	2.2	19.8744	5.3	0.1957	5.5	0.0282	1.2	0.22	179.3	2.1	181.5	9.1	209.6	123.5	179.3	2.1
68	470	8780	1.3	20.2174	4.4	0.1925	5.0	0.0282	2.5	0.50	179.5	4.5	178.8	8.3	169.8	101.8	179.5	4.5
99	567	21824	2.6	20.1235	2.2	0.1935	3.0	0.0282	2.0	0.67	179.5	3.6	179.6	5.0	180.6	52.4	179.5	3.6
26	457	15120	2.2	20.1399	1.2	0.1934	2.2	0.0282	1.8	0.84	179.5	3.2	179.5	3.6	178.7	27.9	179.5	3.2
55	1574	15920	2.6	19.7465	1.6	0.1973	2.6	0.0283	2.0	0.79	179.6	3.6	182.8	4.3	224.5	36.3	179.6	3.6
72	468	3860	1.2	19.3247	12.7	0.2022	12.8	0.0283	1.3	0.10	180.2	2.3	187.0	21.8	274.2	292.5	180.2	2.3
57	214	10972	2.7	20.8281	4.2	0.1878	6.3	0.0284	4.7	0.75	180.3	8.4	174.7	10.1	99.8	99.0	180.3	8.4
67	590	10896	1.0	19.5943	1.8	0.2003	4.1	0.0285	3.7	0.90	180.9	6.6	185.3	7.0	242.4	42.0	180.9	6.6
75	787	24056	2.1	19.7512	1.5	0.1987	2.1	0.0285	1.5	0.70	180.9	2.6	184.0	3.5	224.0	34.7	180.9	2.6
1	277	15996	1.9	20.0649	1.7	0.1957	2.5	0.0285	1.8	0.72	181.1	3.2	181.5	4.1	187.4	39.7	181.1	3.2
87	871	20668	1.4	19.7762	4.1	0.1993	4.2	0.0286	0.6	0.13	181.7	1.0	184.5	7.1	221.1	96.0	181.7	1.0
2	305	12212	2.1	19.9999	2.8	0.1972	2.9	0.0286	0.7	0.24	181.8	1.3	182.7	4.9	195.0	66.0	181.8	1.3
70	604	26156	2.5	20.1086	1.6	0.1967	4.1	0.0287	3.8	0.92	182.3	6.8	182.3	6.9	182.4	36.9	182.3	6.8
30	420	17220	1.3	20.0256	1.5	0.1977	3.4	0.0287	3.0	0.89	182.5	5.4	183.2	5.7	192.0	35.3	182.5	5.4
36	229	10252	2.9	20.4646	3.1	0.1935	4.5	0.0287	3.3	0.73	182.5	5.9	179.6	7.4	141.3	72.7	182.5	5.9
93	357	10644	1.6	19.6194	3.8	0.2024	4.2	0.0288	1.7	0.41	183.0	3.1	187.1	7.1	239.4	88.1	183.0	3.1

continúa

Tabla 4 (cont.). Geocronología U-Pb de circones detriticos de la muestra MIQ06-8 (23°34.9'N; 99°44.8'W), procedente del área de Miquihuana, Tamaulipas.

U (ppm)	^{206}Pb ^{204}Pb	U/Th	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	\pm (%)	Relaciones isotópicas				Edades aparentes (Ma)						Best age Ma			
					$^{207}\text{Pb}^*$ $^{235}\text{U}^*$	\pm (%)	$^{206}\text{Pb}^*$ ^{238}U	\pm (%)	error corr.	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{238}\text{U}^*$	\pm Ma	$^{207}\text{Pb}^*$ 235U	\pm Ma	$^{206}\text{Pb}^*$ $^{207}\text{Pb}^*$	\pm Ma	Best age Ma	\pm Ma	
18	658	9020	1.5	20.1617	1.5	0.1972	1.9	0.0288	1.1	0.57	183.3	1.9	182.8	3.1	176.2	35.7	183.3	1.9
40	365	856	1.4	10.6122	5.9	0.3752	6.2	0.0289	2.1	0.33	183.5	3.7	323.5	17.2	1512.7	110.9	183.5	3.7
46	246	2844	2.2	20.2849	4.8	0.1967	5.3	0.0289	2.4	0.44	183.9	4.3	182.4	8.9	162.0	112.0	183.9	4.3
43	3020	4680	2.8	16.7470	1.6	0.2396	4.2	0.0291	3.9	0.92	184.9	7.1	218.1	8.2	593.1	35.0	184.9	7.1
21	614	22676	1.7	19.8728	2.1	0.2022	2.5	0.0291	1.4	0.54	185.2	2.5	187.0	4.3	209.8	49.5	185.2	2.5
78	355	5492	2.8	18.8025	4.4	0.2138	4.8	0.0292	1.8	0.38	185.2	3.3	196.7	8.6	336.7	100.6	185.2	3.3
7	1259	29708	3.2	19.8002	1.5	0.2032	2.7	0.0292	2.3	0.83	185.4	4.1	187.8	4.7	218.3	35.3	185.4	4.1
56	750	22408	3.7	19.9466	1.4	0.2018	2.0	0.0292	1.4	0.71	185.5	2.6	186.6	3.5	201.2	33.1	185.5	2.6
80	900	28320	4.2	19.3812	12.8	0.2082	12.9	0.0293	1.6	0.12	185.9	2.9	192.0	22.6	267.5	294.9	185.9	2.9
5	487	26108	2.2	20.4844	2.9	0.2004	4.1	0.0298	3.0	0.72	189.1	5.5	185.5	7.0	139.1	67.7	189.1	5.5
8	651	15028	1.4	18.2862	4.7	0.2534	6.7	0.0336	4.8	0.71	213.1	10.1	229.3	13.8	399.4	106.0	213.1	10.1
9	132	7700	3.0	20.7433	5.8	0.2577	6.0	0.0388	1.7	0.28	245.2	4.1	232.8	12.6	109.5	136.9	245.2	4.1
61	345	8832	1.8	19.8244	1.7	0.2766	2.0	0.0398	1.1	0.55	251.4	2.7	248.0	4.4	215.4	38.8	251.4	2.7
63	611	5104	2.8	19.2945	2.0	0.3571	2.3	0.0500	1.2	0.52	314.4	3.7	310.1	6.2	277.8	45.7	314.4	3.7
98	639	14628	2.3	18.5191	1.8	0.3811	2.0	0.0512	0.7	0.38	321.8	2.3	327.9	5.5	371.0	41.1	321.8	2.3
84	56	576	0.7	19.6818	7.4	0.3896	7.4	0.0556	0.9	0.12	348.9	3.1	334.1	21.2	232.1	170.8	348.9	3.1
11	510	73940	8.2	17.9754	1.1	0.5308	1.5	0.0692	0.9	0.63	431.3	3.8	432.3	5.2	437.7	25.4	431.3	3.8
45	303	27508	1.4	17.7343	1.0	0.5643	3.7	0.0726	3.6	0.96	451.7	15.6	454.3	13.6	467.7	23.1	451.7	15.6
47	242	11072	2.3	17.5089	2.1	0.5800	2.6	0.0736	1.6	0.62	458.1	7.2	464.4	9.8	495.9	45.6	458.1	7.2
22	331	12400	2.1	16.6372	1.0	0.7668	1.7	0.0925	1.4	0.80	570.4	7.4	577.9	7.4	607.4	21.8	570.4	7.4
48	1107	21588	6.4	13.2719	1.3	1.3436	1.8	0.1293	1.3	0.72	784.1	9.6	864.8	10.5	1077.8	25.1	784.1	9.6
38	147	17996	4.5	14.1534	1.2	1.3714	2.5	0.1408	2.2	0.87	849.0	17.6	876.8	14.9	947.4	25.2	849.0	17.6
12	115	3648	1.3	12.4850	4.5	1.6840	7.2	0.1525	5.6	0.78	914.9	47.8	1002.5	45.8	1199.3	88.6	914.9	47.8
29	194	34520	3.1	13.8642	1.3	1.5600	3.4	0.1569	3.1	0.92	939.3	26.9	954.5	20.8	989.5	27.2	939.3	26.9
6	71	7036	1.4	13.7454	2.8	1.5739	2.8	0.1569	0.6	0.22	939.5	5.5	960.0	17.6	1007.0	56.1	939.5	5.5
19	243	12880	1.9	13.5499	1.4	1.6426	1.7	0.1614	1.0	0.58	964.7	8.9	986.7	10.7	1036.0	27.9	964.7	8.9
23	157	18212	1.7	13.8210	1.2	1.6156	2.2	0.1619	1.9	0.84	967.6	16.7	976.3	13.9	995.9	24.3	967.6	16.7
51	672	24792	15.3	13.0580	1.2	1.7885	1.6	0.1694	1.1	0.67	1008.7	10.3	1041.3	10.7	1110.3	24.2	1008.7	10.3
69	155	20776	1.5	13.0638	1.2	1.8165	2.8	0.1721	2.6	0.91	1023.7	24.3	1051.4	18.5	1109.4	23.6	1023.7	24.3
100	373	75136	4.1	12.8922	1.9	1.8657	4.1	0.1744	3.7	0.88	1036.6	35.0	1069.0	27.4	1135.8	38.6	1036.6	35.0
41	118	33792	1.5	12.9831	1.3	1.8550	3.6	0.1747	3.4	0.94	1037.8	32.6	1065.2	24.0	1121.8	25.3	1037.8	32.6
79	143	8144	1.5	12.6776	1.1	2.1270	1.7	0.1956	1.3	0.75	1151.5	13.3	1157.6	11.5	1169.1	21.7	1151.5	13.3
52	170	7840	2.2	12.3683	1.1	2.2858	2.3	0.2050	2.1	0.89	1202.3	22.9	1207.9	16.6	1217.8	21.1	1217.8	21.1
77	148	24284	1.3	11.9464	4.8	2.4015	5.7	0.2081	3.1	0.54	1218.5	34.2	1243.0	40.9	1285.7	93.6	1285.7	93.6
16	60	1932	0.6	11.8752	3.3	2.3188	3.4	0.1997	0.8	0.23	1173.8	8.4	1218.1	23.9	1297.4	63.6	1297.4	63.6
31	224	24500	1.9	11.8291	1.3	2.5075	2.1	0.2151	1.7	0.80	1256.1	19.2	1274.2	15.3	1304.9	24.9	1304.9	24.9
96	106	20388	1.2	11.4131	1.6	2.7011	1.9	0.2236	1.0	0.54	1300.8	11.9	1328.8	13.9	1374.1	30.5	1374.1	30.5
90	150	41000	1.0	11.3916	1.9	2.7683	4.6	0.2287	4.2	0.91	1327.8	49.9	1347.0	34.3	1377.7	37.3	1377.7	37.3
53	159	5476	0.5	10.5126	2.1	2.8428	3.3	0.2167	2.6	0.77	1264.7	29.3	1366.9	25.0	1530.5	40.1	1530.5	40.1
20	261	41484	1.5	10.3315	1.3	3.4964	2.3	0.2620	1.9	0.82	1500.0	25.3	1526.4	18.3	1563.2	25.2	1563.2	25.2
66	179	7968	1.6	9.7299	1.0	3.8000	2.0	0.2682	1.7	0.86	1531.4	23.0	1592.7	15.8	1674.8	18.6	1674.8	18.6

Clasificación y composición de areniscas

El análisis modal de las areniscas del Triásico y Jurásico permite establecer que las areniscas de las áreas del cañón del Alamar y de San Marcos, varían composicionalmente de acuerdo con el esquema de clasificación de Folk (1980), de litarenita a litarenita feldespática. Las muestras colectadas en la parte norte del anticlinorio Huizachal-Peregrina se clasifican, igualmente, como litarenitas a litarenitas feldespáticas. Entre tanto, las muestras de las áreas del valle de Huizachal y Miquihuana-Bustamante son únicamente litarenitas feldespáticas, mientras que las muestras de Aramberri son arcosas líticas y arcosas

(Figura 6). Estas diferencias en la composición están relacionadas con cambios en la composición del área fuente, distancia de transporte y a múltiples ciclos de sedimentación, los cuales se discuten en los siguientes párrafos.

Diferencias en la composición del área fuente

El conteo de puntos de las areniscas procedentes de las secuencias del Triásico Tardío y del Jurásico Temprano-Medio sugiere que las secuencias del Triásico Tardío muestran un mayor aporte de rocas con bajo a alto grado metamórfico, como pueden ser filita,

pizarra, esquisto de sericita, esquisto de muscovita, esquisto de clorita, esquisto de biotita y esquisto calcáreos, como lo indica la presencia de los diferentes fragmentos líticos metamórficos documentados por su grado de metamorfismo o rango (*e.g.* Lmp₂, Lmp₃; ver Tabla 1); muestran además un contenido promedio de plagioclásas según la relación Plagioclasa/Feldespato >1.0, lo cual indica fuentes más plutónicas y metamórficas, relacionadas con facies de granulitas y anfibolitas (Figura 11a). La relación Qmr/Qp ~2.0 (cuarzo monocristalino con extinción recta/cuarzo policristalino) sugiere procesos de reciclamiento y adición de fuentes ricas en cuarzo policristalino, como también largas distancias de transporte, múltiples ciclos de sedimentación y fuentes más enriquecidas en cuarzo (Ocampo-Díaz y Rubio-Cisneros, 2013; Figura 11a). Las sucesiones correspondientes al Jurásico Temprano exhiben un mayor aporte de rocas volcánicas de composición variada, como lo marcan las altas proporciones del ensamble volcánico “Rv” en relación con ensambles metamórficos “Rm” y plutónicos “Rp” (Figura 11b, 11c; Ocampo-Díaz *et al.*, 2014); asimismo, se observa un aumento en el contenido de feldespato potásico (sanidino), lo cual es congruente con el incremento en rocas volcánicas de carácter explosivo (Figura 11b). Finalmente es necesario mencionar que tres muestras del Jurásico Temprano presentan un alto contenido de plagioclasa (P/F ~3.0), lo cual está relacionado con el aumento de fragmentos líticos metamórficos y plutónicos que favorecen el incremento de los ensambles Rm y Rp (Figura 11c).

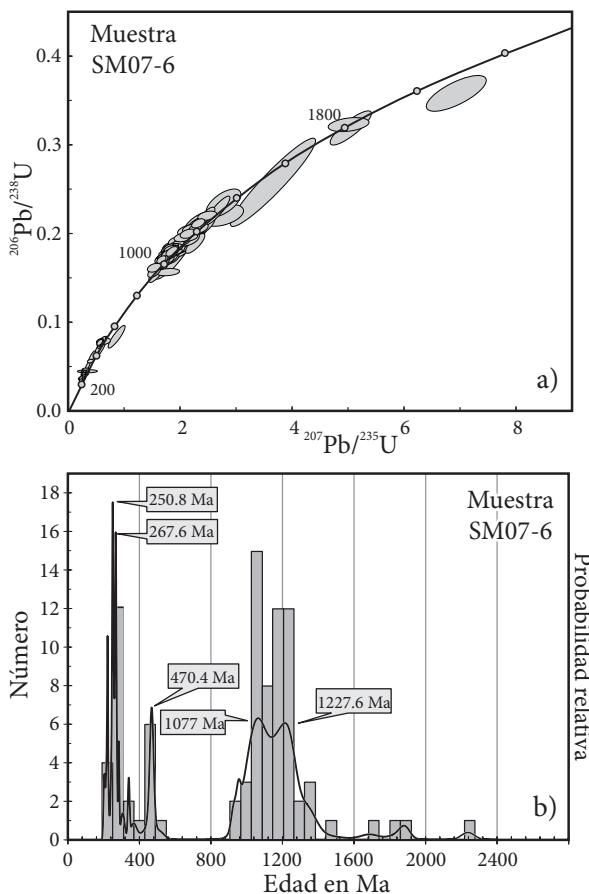


Figura 8. a) Diagrama de concordia para la muestra SM07-6, procedente de la Formación El Alamar, expuesta en el área de San Marcos, Nuevo León; b) Histograma y curva de probabilidad relativa. Discusión en el texto.

Ambiente Tectónico

Los resultados porcentuales graficados en los diagramas QFL y QmFL de Dickinson y Suczek (1979), modificados por Dickinson *et al.* (1983), indican una procedencia relacionada con los campos de orógenos reciclados para las muestras del Triásico Tardío (Figura 7a, 7b). Por otro lado, las muestras del Jurásico Temprano-Medio se encuentran dentro del mismo campo y, además, ocupan los campos de transición continental (muestras de Aramberri), y por último los campos de arco transicional y arco no disectado (muestras del valle de Huizachal, Miquihuana y San Marcos). En la Figura 7b (QmFL), se observa claramente que las muestras del Triásico Tardío, colectadas en el cañón del Alamar, son las más enriquecidas en cuarzo monocristalino, lo cual implica un mayor grado de transporte y madurez textural como ha sido documentado por Rubio-Cisneros (2012) y Ocampo-Díaz y Rubio-Cisneros (2013).

Las relaciones porcentuales que presenta el cuarzo policristalino-líticos volcánicos-líticos sedimentarios (diagrama ternario QpLvmLsm; Figura 7c) y los líticos metamórficos-líticos volcánicos-líticos sedimentarios (diagrama LmLvLs; Figura 7d), denotan la alta influencia de rocas metamórficas y plutónicas en las muestras del Triásico Tardío, sin lograr discriminar su ambiente tectónico. Las muestras del Jurásico Temprano-Medio se encuentran dentro del campo de arcos magmáticos continentales. Sin embargo, el diagrama ternario QFL de Garzanti *et al.* (2001), modificado por Marsaglia *et al.* (2007), indica que las muestras de ambas unidades fueron depositadas dentro de un

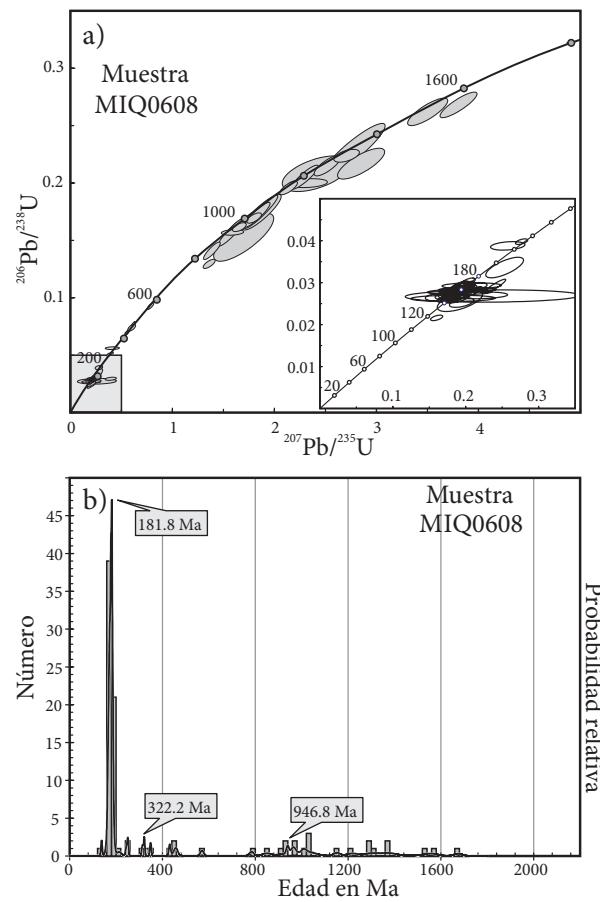


Figura 9. a) Diagrama de concordia para la muestra MIQ06-8, procedente de la Formación La Boca expuesta en Miquihuana, Tamaulipas; b) Histograma y curva de probabilidad relativa. Discusión en el texto.

rift no disectados y con fuentes de sutura y orógeno (Figura 7e), además de compartir composicionalmente los campos de *rift* disectados y *rift* no disectados de tipo volcánico (muestras de Aramberri, valle de Huizachal y Miquihuana). De acuerdo con Garzanti *et al.* (2001) y Marsaglia *et al.* (2007), las procedencias de: 1) *rift* no disectados asociados con zonas de sutura/orógeno se caracterizan por arenas de cuarzo recicladas derivadas de las secuencias que cubren a las rocas cratónicas y que progresivamente tienden a ser cuarzofeldespáticas, conforme se erosionan los terrenos cristalinos más profundos que son exhumados de bloques antiguos amalgamados durante los procesos orogénicos; 2) los márgenes de *rift* volcánicos no disectados están representados por una mezcla de sucesiones sedimentarias previas al *rift* y de rocas del basamento que son expuestas en los bloques del *rift* exhumados, que típicamente son de composición bimodal (basalto/riolita), y 3) los *rift* disectados implican la erosión más profunda y extensa de las rocas del basamento, lo cual depende de la intensidad del levantamiento. Lo anterior permite interpretar y comprobar que: 1) las muestras del Triásico Tardío de la Formación Alamar, representan la erosión de rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias relacionadas con el rompimiento de bloques continentales ensamblados por diversas zonas de sutura, como ha sido documentado por Rubio-Cisneros (2012) y Barboza-Gudiño *et al.* (2010); 2) las arenitas de las sucesiones del Jurásico Temprano (Formaciones Nazas y La Boca), marcan un periodo de máximo rejuvenecimiento de rocas fuente (*cf.* Ocampo-Díaz y Rubio-Cisneros, 2013), las cuales están relacionadas con el emplazamiento de un arco continental tipo andino que migró desde las costas del Pacífico hacia la región central de México (estados de Nuevo León y Tamaulipas; Bartolini *et al.*, 2003; Barboza-Gudiño *et al.*, 2008; Rubio-Cisneros y Lawton, 2011) y posteriormente por procesos de *roll-back* de la placa paleopacífica, el arco regresó hacia la región paleopacífica. El proceso de *roll-back*, favoreció la ascensión del manto astenosférico, con lo cual se llevó a cabo el proceso de mayor erosión de las rocas que constituyen el basamento y su reciclamiento sedimentario (Ocampo-Díaz, 2011

y 2012; Ocampo-Díaz y Rubio-Cisneros, 2013). En su conjunto, este proceso ha sido documentado recientemente por Busby (2011) como sistemas de arcos extensionales, que pueden ser considerados con procedencias similares a las que presentan los sistemas de *rift* volcánicos que evolucionan a los sistemas de *rift* disectados.

Ubicación de las áreas fuente

La combinación del análisis petrográfico de rocas clásicas y geocronológico de circones detriticos, ha permitido establecer la ubicación de las áreas fuente y sus características composicionales. Los resultados son: 1) Las dos muestras del análisis de circones tienen edades de ~1 Ga, relacionadas con bloques grenvillianos, probablemente peri-gondwánicos, lo cual petrográficamente es evidente por la presencia de los líticos metamórficos (*e.g.* Lmp3, Lmp4) y cuarzo policristalino; 2) Las edades del límite Pérmico-Triásico (Figura 8), relacionadas con las rocas plutónicas asociadas al arco Pérmico-Triásico del este de México (Torres *et al.*, 1999), se justifican petrográficamente con el cuarzo monocrystalino de origen plutónico, líticos plutónicos con texturas gráficas y mirmequíticas; 3) La escasa presencia de poblaciones de circones pan-africanos (570–800 Ma), mismos que han sido reportados previamente para muestras procedentes de la localidad de San Marcos, hacia la parte inferior de la misma unidad estratigráfica (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010), pueden estar también relacionadas con líticos metamórficos, líticos plutónicos y cuarzo policristalino, como lo han interpretado recientemente por sus edades, petrografía, minerales ligeros y pesados Ocampo-Díaz (2012) y Rubio-Cisneros (2012); 4) una diferencia importante en las muestras del Jurásico Temprano con respecto a las del Triásico, sobre todo en la muestra colectada en el área de Miquihuana, es la abundante presencia de circones detriticos con edades relacionadas al arco Nazas (Figura 9a, 9b). Esto se documentó petrográficamente por la presencia de líticos volcánicos con texturas *lathwork*, microlíticas y felsíticas, en rocas de composición andesítica, dacítica y en menor grado riolítica; esta interpretación concuerda

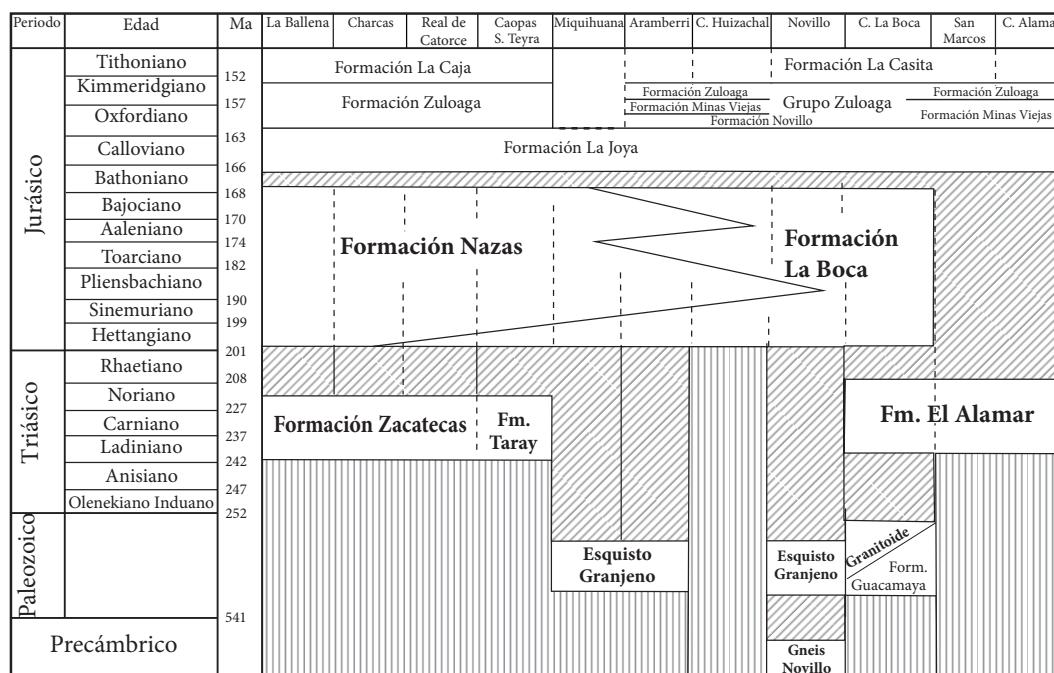


Figura 10. Esquema de correlación estratigráfica para el noreste de México, en el que figuran las unidades inferior (Formación El Alamar) y superior (Formación La Boca) de arenas rojas del Mesozoico temprano en las diferentes localidades en donde se recolectaron muestras. En el diagrama aparecen también las columnas de las áreas con afloramientos de unidades pre-cretácicas en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas.

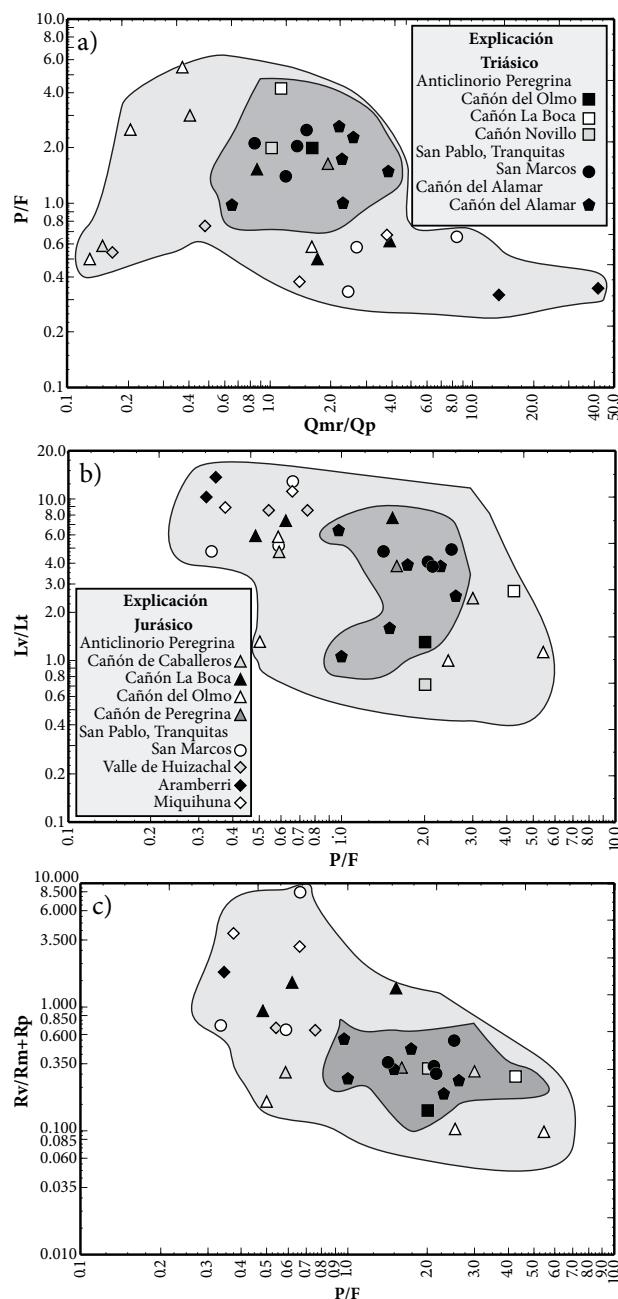


Figura 11. *Simplex* binarios logarítmicos que representan relaciones ligadas con la composición del área fuente y grado de transporte: a) compara la relación de plagioclasa (P)/feldespato potásico (F) con cuarzo monocristalino de extinción recta (Qmr)/cuarzo policristalino (Qp); b) representa la relación de líticos volcánicos (Lv)/líticos totales (Lt) y la relación P/F; c) diagrama que compara al ensamblaje volcánico (Rv: Suma de líticos volcánicos totales) con el ensamblaje metamórfico (Rm: suma de líticos metamórficos) + el ensamblaje plutónico (Rp: suma de líticos plutónicos + líticos con texturas gráficas). La propuesta de este tipo de diagramas y relaciones fueron tomados de Ocampo-Díaz (2013).

con lo documentado recientemente por Rubio-Cisneros *et al.* (2011), en el área del valle de Huizachal; y por último 5) las diferencias en la edad máxima del depósito que presentan las unidades analizadas, corresponden claramente con una unidad del Triásico Tardío para la muestra procedente del área de San Marcos y del Jurásico Temprano a Medio para la muestra de Miquihuana, Tamaulipas.

Estudios previos en geocronología de circones detriticos (Barboza-Gudiño, 2009; Barboza-Gudiño *et al.*, 2010) dan una mayor certidumbre de dos unidades distintas, contribuyendo con el análisis de este trabajo para establecer las edades máximas de los depósitos en el Triásico y en el Jurásico Temprano, respectivamente.

CONCLUSIONES

El análisis geológico-sedimentario en las secuencias del Triásico Tardío al Jurásico Medio, ha permitido concluir lo siguiente:

Las unidades estudiadas corresponden a dos sucesiones de depósitos de origen fluvial que inicialmente fueron definidas en conjunto como Formación La Boca (Mixon *et al.*, 1959), la cual pertenecía según esa definición al Grupo Huizachal, asignándoles una edad del Triásico Tardío-Jurásico Temprano, con una consecuente pérdida de detalle en la reconstrucción tectónica-paleogeográfica usualmente basada en la sucesión de eventos y ambientes a los que estuvo relacionado cada depósito.

La distribución diferente de las dos unidades de capas rojas de origen fluvial es concluyente sobre la naturaleza y edad distintas para estas dos unidades, consideradas como una sola formación en interpretaciones previas.

El análisis petrográfico, por su conteo de puntos y descripción de minerales, permitió discriminar composicionalmente a las dos sucesiones de origen fluvial: la más antigua, Formación El Alamar, definida por Barboza-Gudiño *et al.* (2010), anterior al volcanismo del arco volcánico de tipo andino del Jurásico Temprano, cuyas rocas fuentes son principalmente metamórficas de bajo grado y plutónicas, y la unidad más joven, la parte jurásica de la Formación La Boca de Mixon *et al.* (1959), parcialmente contemporánea y posterior al volcanismo, caracterizada por mostrar un incremento en el contenido de líticos volcánicos.

Las procedencias que reflejan ambas unidades son similares; ocupan el campo de clasificación de orógenos reciclados, mientras que solo las muestras del Jurásico Temprano tienden hacia los campos de arco no disectado y transición continental.

La geocronología de circones detriticos aporta datos que sustentan edades máximas del depósito que son distintas para cada una de las sucesiones estudiadas.

Por todo lo anterior, la Formación El Alamar (Triásico) no puede ser considerada parte del Grupo Huizachal, ya que su génesis o ambiente geotectónico y de depósito, así como su procedencia y distribución, son distintas a las de la Formación La Boca (Jurásico Temprano).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) a través del proyecto “Tectónica Sedimentaria del Jurásico Inferior a Medio en el Centro y Noreste de México” (169231). Asimismo agradecemos las sugerencias y correcciones sugeridas al manuscrito por parte del Dr. Timothy F. Lawton (editor científico), el Dr. Igor I. Rubio Cisneros (árbitro) y un árbitro anónimo, quienes han contribuido con su labor a mejorar enormemente este trabajo.

REFERENCIAS

- Barboza-Gudiño, J.R., 2009, El Alamar Formation: The Only Triassic Succession of the Huizachal Group in northeastern Mexico: Geological Society of America, Abstracts with Programs, 13(1), 29.

- Barboza-Gudiño, J.R., 2012, Sedimentary Tectonics and Stratigraphy: The Early Mesozoic Record in Central to Northeastern Mexico, in Ömer, E. (ed.), Stratigraphic Analysis of Layered deposits, Chapter 10, InTech, <http://www.intechopen.com>, 255-278.
- Barboza-Gudiño, J.R., Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., 1999, Tectonic setting of pre-Oxfordian units from central and northeastern Mexico: A Review, en Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F., (eds.), Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340, 97-210.
- Barboza-Gudiño, J.R., Venegas-Rodríguez, G., Zavala-Monsiváis, A., Barajas-Nigache, L.D., 2007, Geocronología de círculos detriticos en rocas pre-cretácicas del centro y noreste de México: Reunión anual de la Unión Geofísica Mexicana, Resúmenes, GEOS, 27(1), 56-57.
- Barboza-Gudiño J.R., Orozco-Esquível M.T., Gómez-Anguiano M., Zavala-Monsiváis A., 2008, The Early Mesozoic volcanic arc of western North America in northeastern Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 25(1), 49-63.
- Barboza-Gudiño, J.R., Zavala-Monsiváis, A., Venegas-Rodríguez, G., Barajas-Nigache, L.D., 2010, Late Triassic stratigraphy and facies from northeastern Mexico: Tectonic setting and provenance: Geosphere, 6(5), 621-640.
- Barboza-Gudiño, J.R., Molina-Garza, R.S., Lawton, T.F., 2012, Sierra de Catorce: Remnants of the ancient western equatorial margin of Pangea in central Mexico, in Aranda-Gómez, J.J., Tolson, G., and Molina-Garza, R.S., (eds.), The Southern Cordillera and Beyond: Geological Society of America, doi:10.1130/2012.0025 (01), ISBN 978-0-8137-6340-0.
- Bartolini, C., Lang, H., Stennesbeck, W., 1999. Volcanic rock outcrops in Nuevo León, Tamaulipas and San Luis Potosí, Mexico: Remnants of the Permian-Early Triassic magmatic arc?, in Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (eds.), Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Geological Society of America Special Paper, 340, 347-356.
- Bartolini, C., Lang, H., Spell, T., 2003. Geochronology, geochemistry, and tectonic setting of the Mesozoic Nazas arc in north-central Mexico, and its continuation to north South America, en Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickwede, J. F. (eds.), The Circum Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 79, 427-461.
- Basu, A., Young, S.W., Suttnar, L.J., James, C.W., Mack, G.H., 1975, Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz provenance interpretation: Journal of Sedimentary Petrology, 45, 873-882.
- Blatt, H., Christie, J.M., 1963, Undulatory extinction in quartz of igneous and metamorphic rocks and its significance in provenance studies of sedimentary rocks: Journal of Sedimentary Petrology, 33(3), 559-579.
- Busby, C.J., 2011, Extensional and transtensional continental arc basins: Case studies from the Southwestern United States, en Busby, C.J., Azor, A., (eds.), Tectonics of sedimentary basins: recent advances: New York, John Wiley & Sons, Ltd., 382-404.
- Carrillo-Bravo J., 1961, Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas: Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Boletín, 13, 1-98.
- Critelli, S., Le Pera, E., 1994, Detrital modes and provenance of Miocene sandstones and modern sands of the southern Apennines thrust-top basins (Italy): Journal of Sedimentary Petrology, A64(4), 824-835.
- Critelli, S., Marsaglia, K.M., Busby, C.J., 2002, Tectonic history of a Jurassic backarc-basin sequence (the Gran Cañon Formation, Cedros Island, Mexico), based on compositional modes of tuffaceous deposits: Geological Society of America Bulletin, 114, 515-527.
- Dickinson, W.R., 1970, Interpreting detrital modes of graywacke and arkose: Journal of Sedimentary Petrology, 40(2), 695-707.
- Dickinson, W.R., 1985, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones, en Zuffa, G.G. (ed.), Provenance of arenites: Países Bajos, D. Riedel, Dordrecht, 333-361.
- Dickinson, W.R., Suczek, C.R., 1979, Plate tectonics and sandstone composition: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 63(12), 2164-2182.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., Ryberg, P.T., 1983, Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting: Geological Society of America Bulletin, 94, 222-235.
- Dubiel, R.F., Blodgett, R.H., Bown, T.M., 1987, Lungfish burrows in the Upper Triassic Chinle and Dolores formations, Colorado Plateau: Journal of Sedimentary Petrology, 57(3), 512-521.
- Fastovsky, D.E., Hermes, O.D., Strater, N.H., Bowring, S.A., Clark, J.M., Montellano, M., Hernández, R.R., 2005, Pre-Late Jurassic, fossil-bearing volcanic and sedimentary red beds of Huizachal Canyon, Tamaulipas, Mexico, en Anderson T. H., Nourse, J. A., McKee, J. W., Steiner, M. B., (eds.), The Mojave-Sonora Megashare hypothesis: Development, assessment and alternatives: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 393, 401-426.
- Folk R.L., 1980, Petrology of Sedimentary Rocks: Austin, Texas, Hemphill Publishing Co., 192 p.
- Garzanti, E., Vezzoli, G., 2003, A classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade: Journal of Sedimentary Research, 73, 830-837.
- Garzanti, E., Vezzoli, G., Ando, S., Castiglioni, G., 2001, Petrology of Rifted-Margin Sand (Red Sea and Gulf of Aden, Yemen): The Journal of Geology, 109, 277-297.
- Gehrels, G., Valencia, V., Pullen, A., 2006, Detrital Zircon Geochronology by Laser Ablation Multicollector ICPMS at the Arizona LaserChron Center, en Olszewski, T., (ed.), Geochronology: Emerging Opportunities: Paleontology Society Papers, 2, 67-76.
- Imlay, R.W., Cepeda, E., Álvarez, M., Jr., Diaz, T., 1948, Stratigraphic relations of certain Jurassic formations in eastern Mexico: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 32, 1750-1761.
- Ingersoll, R.V., Suczek, C.A., 1979, Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218: Journal of Sedimentary Petrology, 49(4), 1217-1228.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D., Sares, S.W., 1984, The effect of grain size on detrital modes; a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method: Journal of Sedimentary Petrology, 54, 103-116.
- Jones, N.W., McKee, J.W., Anderson, T.H., Silver, L.T., 1995, Jurassic volcanic rocks in northeastern Mexico: A possible remnant of a Cordilleran magmatic arc, en Jacques-Ayala, C., González-León, C., Roldán-Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas: Boulder Colorado, Geological Society of America Special Paper, 301, 179-190.
- Ludwig, K.R. 1988, ISOPLOT for MS-DOS — a plotting and regression program for radiogenic-isotope data, for IBM-PC compatible computers: Denver, Colorado, United States Geological Survey, Open File Report, 88-557.
- Ludwig, K.R., 2003, User's manual for Isoplot/Ex, Version 3.0, A geochronological toolkit for Microsoft Excel: Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 4, 70 pp.
- Marsaglia, K.M., Ingersoll, R.V., Packer, B.M., 1992, Tectonic evolution of the Japanese Islands as reflected in modal compositions of Cenozoic forearc and backarc sand and sandstone: Tectonics, 11(5), 1028-1044.
- Marsaglia, K.M., Pavia, J.A., Maloney, S.J., 2007, Petrology and provenance of Eocene-Albian sandstones and grainstones recovered during ODP Leg 210: implications for passive margin (rift-to-drift) sandstone provenance models en Tucholke, B.E., Sibuet, J.-C., Klaus, A. (eds.), Proceedings Ocean Drilling Program, Scientific Results, 210: College Station, Texas, 1-47. doi:10.2973/odp.proc.sr.210.107.
- Miall, A.D., 1977, A review of the braided-river depositional environment: Earth-Science Reviews, 13, 1-62.
- Michalzik, D., 1991, Facies sequence of Triassic-Jurassic red beds in the Sierra Madre Oriental (NE Mexico) and its relation to the early opening of the Gulf of Mexico: Sedimentary Geology, 71, 243-259.
- Mixon, R.B., 1963, The Jurassic Formations of the Ciudad Victoria Region, Tamaulipas, Mexico: Baton Rouge, Louisiana, Louisiana State University, tesis de maestría, 70 pp.
- Mixon, R.B., Murray, G.E., Diaz, T.G., 1959, Age and correlation of Huizachal Group (Mesozoic), state of Tamaulipas, Mexico: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 43, 757-771.
- Ocampo-Díaz, Y.Z.E., 2011, Implicaciones tectonosedimentarias de las intercalaciones clásticas en el límite Jurásico-Cretácico del Noreste de México (Fosa de Monterrey y Cuenca de Sabinas): Linares, Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis doctoral, 275 p.
- Ocampo-Díaz, Y.Z.E., 2012, Tectónica sedimentaria del límite Jurásico-Cretácico: Implicaciones Tectono-sedimentarias en el límite Jurásico-Cretácico del Noreste de México: Saarbrücken, Alemania, Editorial

- Académica Española, 354 pp.
- Ocampo-Díaz, Y.Z.E., 2013, Análisis petrográfico y estadístico multivariado para discriminar las áreas fuente de la Formación La Casita del Jurásico Tardío-Cretácico Temprano y la Arcosa Patula del Cretácico Temprano en el Noreste de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65, 609-630.
- Ocampo-Díaz, Y.Z.E., Rubio-Cisneros, I.I., 2013, Reciclamiento sedimentario: Análisis composicional asociado a discordancias del noreste de México, un ejemplo del Triásico Superior al Cretácico Inferior: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65, 553-572.
- Ocampo-Díaz, Y.Z.E., Talavera-Mendoza, O., Jenchen, U., Valencia, V.A., Medina-Ferrusquía, H.C., Guerrero-Suárez, M., 2014, Procedencia de la Formación La Casita y la Arcosa Patula: implicaciones para la evolución tectono-magnética del NE de México entre el Carbonífero y el Jurásico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 31(1), 45-63.
- Rubio-Cisneros, I.I., 2008, Análisis geoquímico y petrográfico de areniscas de las formaciones Huizachal y La Joya (Triásico Superior-Jurásico Inferior), NE de México: Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de Licenciatura, 122 pp.
- Rubio-Cisneros, I.I., 2012, Análisis de procedencia de las formaciones El Alamar, La Boca y La Joya, Noreste de México (Triásico Superior-Jurásico Medio): Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, Tesis doctoral, 217 pp.
- Rubio-Cisneros, I.I., Lawton, T.F., 2011, Detrital zircon U-Pb ages of sandstones in continental red beds at Valle del Huizachal, Tamaulipas, NE Mexico: Record of Early-Middle Jurassic arc volcanism and transition to crustal extension: Geosphere, 7, 159-170.
- Rubio-Cisneros, I.I., Ramírez-Fernández, J.A., García-Obregón, R., 2011, Análisis preliminar de procedencia de rocas clásticas jurásicas del Valle del Huizachal, Sierra Madre Oriental: Influencia del vulcanismo sinsedimentario y el basamento cristalino: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63, 137-156.
- Rueda-Gaxiola, J., Dueñas, M.A., Rodríguez, J. L., Minero M., Uribe, G., 1993, Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla: Dos partes de la fossa de Huayacocotla-El Alamar: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 43, 1-29.
- Rueda-Gaxiola, J., López-Ocampo, E., Dueñas, M.A., Rodríguez, J.L., Torres-Rivero, A., 1999, Palynostratigraphical method: Basis for defining stratigraphy and age of the Los San Pedros allochthon, Huizachal-Peregrina Anticlinorium, Mexico, *en* Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F., (eds.): Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340, 229-269.
- Tanner, L.H., Lucas, S.G., 2006, Calcretes of the Upper Triassic Chinle Group, Four Corners region, southwestern U.S.A.: Climatic implications, *en* Alonso-Zarza, A.M., Tanner, L.H., (eds.), Paleoenvironmental record and applications of calcretes and palustrine carbonates: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 416, 53-74.
- Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P.J., 1999, Permo-Triassic continental arc in eastern Mexico: Tectonic implications for reconstructions of southern North America, *en* Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F., (eds.), Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340, 191-196.
- Young, S.W., 1976, Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks: Journal of Sedimentary Petrology, 46(3), 595-603.
- Zavala-Monsiváis, A., 2008, Procedencia de las secuencias silicicísticas del Triásico Superior-Jurásico Inferior del centro y noreste de México: San Luis Potosí, México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, tesis de maestría, 121 pp.
- Zavala-Monsiváis, A., Barboza-Gudiño, J. R., Velasco-Tapia, F., García-Arreola, M.E., 2012, Sucesión Volcánica Jurásica en el Área de Charcas, San Luis Potosí: Contribución al entendimiento del Arco Nazas en el noreste de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 64(2), 277-293.

Manuscrito recibido: Septiembre 27, 2013

Manuscrito corregido recibido: Junio 20, 2014

Manuscrito aceptado: Junio 24, 2014