

## Geocronología de circones detríticos en capas del Jurásico Inferior de las áreas de la Sierra de Catorce y El Alamito en el estado de San Luis Potosí

**Gastón Venegas-Rodríguez<sup>1</sup>, José Rafael Barboza-Gudiño<sup>2,\*</sup>  
y Rubén Alfonso López-Doncel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Posgrado en Geología Aplicada, Instituto de Geología/  
Facultad de Ingeniería, Manuel Nava No. 5. Zona Universitaria, 78240 San Luis Potosí, S. L. P., México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología,  
Manuel Nava No. 5. Zona Universitaria, 78240 San Luis Potosí, S. L. P., México.

\* rbarboza@uaslp.mx

### RESUMEN

*El presente estudio incluye la descripción de posibles capas marinas del Jurásico Inferior expuestas en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí y una comparación de éstas con capas marinas del Toarciano en la localidad El Alamito, al poniente de Rioverde, San Luis Potosí. Un primer reporte de la presencia de capas del Jurásico Inferior en la Sierra de Catorce, basado en la presencia de los amonites *Vermiceras* sp. y *Arnioceras* cf. *Abjectum Fucini* n. subsp., ha permanecido como dudoso desde 1956, debido a la falta de una descripción detallada de la ubicación de los afloramientos, así como a la falta de nuevos hallazgos de fauna. La geocronología de circones detríticos por la técnica de ablación láser con ICP-MS multicolector, aplicada a dos muestras de litarenitas de grano medio a grueso provenientes de las dos localidades arriba citadas, arroja los siguientes resultados: 1) Edades máximas del depósito en el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, con base en los circones más jóvenes presentes en la roca; 2) tres fuentes primarias principales de los circones detríticos en ambas muestras, que incluyen basamento Grenvilliano (~900–1200 Ma), rocas de un basamento Pan-Africano (~500–700 Ma) y el arco magmático permotriásico (~245–280 Ma); 3) escasos circones (n=2) que arrojaron edades jurásicas en la muestra procedente de El Alamito, en combinación con rocas máficas interestratificadas en la sucesión expuesta en la Sierra de Catorce, representan posiblemente el registro de la actividad volcánica del Jurásico. Estudios petrográficos, incluidos conteos de puntos para la interpretación del origen de los componentes clásticos de estas rocas, indican un orógeno reciclado y un bloque continental como ambientes de procedencia. Sobre la base de nuestros estudios, concluimos que ambas sucesiones, de facies marina en El Alamito (?-Toarciano - pre-Calloviano) y marina marginal a deltaica en la Sierra de Catorce (post-Noriano – pre-Bajociano?), aunque no correspondientes de manera precisa a la misma edad, son depósitos situados en la margen paleo-Pacífica de México durante el Jurásico Temprano.*

*Palabras clave:* geocronología, circones detríticos, procedencia, paleogeografía, del Triásico Superior, Jurásico Inferior, Sierra de Catorce, México.

### ABSTRACT

*This report describes probable Lower Jurassic marine strata cropping out in the Sierra de Catorce, San Luis Potosí and compares them with confirmed Toarcian layers near El Alamito, west of Rioverde, San Luis Potosí. An initial report of Lower Jurassic strata in the Sierra de Catorce, based on the presence*

of the ammonites *Vermiceras* sp. and *Arnioceras* cf. *Abjectum* Fucini n. subsp., has remained in doubt since 1956 because of uncertainty regarding the exact location of the outcrop and a lack of subsequent reports of fossils. Detrital zircon geochronology by the Laser Ablation Multicollector ICPMS method on two medium- to coarse-grained litharenites from the above localities indicates: 1) Maximum Late Triassic–Early Jurassic depositional ages based on young zircon grains in the samples; 2) three primary sources of detrital zircons that included Grenvillian basement (~900–1200 Ma), Pan-African basement rocks (~500–700 Ma) and the Permo-Triassic magmatic arc (~245–280 Ma); 3) uncommon (n=2) Jurassic zircons in the El Alamito sample, in combination with interlayered mafic rocks in the Sierra de Catorce succession, likely record the Jurassic volcanic activity. Petrographic studies, including point counts performed to interpret the origin of the detrital components of the rocks, indicate a recycled orogen and continental block provenance. On the basis of our studies, we conclude that both successions, marine facies in El Alamito (?-Toarcian - pre-Callovian age) and marginal marine to deltaic facies in the Sierra de Catorce (post-Norian to pre-Bajocian?), are probably not comparable in their precise age but are interpreted as deposits situated on the Pacific margin of Mexico during Early Jurassic time.

**Key words:** geochronology, detrital zircon, provenance, paleogeography, Upper Triassic, Lower Jurassic, Sierra de Catorce, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

Las localidades de la Sierra de Catorce y El Alamito en la parte norte y sur del estado de San Luis Potosí, respectivamente (Figura 1), representan zonas de especial interés para la geología del centro de México, ya que en la primera quedan expuestas algunas de las unidades estratigráficas más antiguas reconocidas en la Mesa Central (Barboza-Gudiño, 1989, Barboza-Gudiño y Torres-Hernández, 1999) y en la segunda, existe uno de los pocos afloramientos de rocas pre-cretácicas sobre las que descansan las calizas de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Figura 2). Recientemente, en la Sierra de Catorce fue descrita de manera informal la “Unidad Capas Cerro El Mazo” (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004) cuyos afloramientos se ubican en el Cañón General, al poniente de Real de Catorce y a la cual se le asignó una posible edad del Jurásico Inferior y un origen marino marginal. En el área ya había sido referida la presencia de capas marinas con amonitas del Jurásico Inferior o Liásico (Erben, 1956), sin embargo la incertidumbre sobre la localidad precisa del hallazgo de esos fósiles (*Vermiceras* sp. y *Arnioceras* cf. *Abjectum* Fucini n. subsp., del Sinemuriano) propició que la presencia de dichas rocas en esta área fuera considerada sólo como una posibilidad no confirmada. Por otra parte, en la localidad de El Alamito, ubicada en la sierra de El Realito, al poniente de Rioverde, San Luis Potosí, PEMEX (comunicación personal, en Labarthe-Hernández *et al.*, 1989) reportó rocas marinas con amonitas de los géneros *Phlysecgrammoceras* o *Hildaites*, del Jurásico Inferior (Toarciano) que fueron correlacionadas con la Formación Huayacocotla de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, no obstante ser la edad más aceptada para la formación Huayacocotla, sólo del Sinemuriano-Pliensbachiano (Imlay *et al.* 1948).

Dada la relevancia de las unidades estratigráficas del Jurásico Inferior para la reconstrucción paleogeográfica de esta región, y en particular de la margen occidental de Pangea (Cantú-Chapa, 2001), el objetivo del presente tra-

bajo ha sido la caracterización de sus facies sedimentarias y la confirmación de su edad. Para esto se midieron a detalle dos columnas estratigráficas de las capas Cerro El Mazo en la Sierra de Catorce y una de la secuencia expuesta en El Alamito, se hizo una interpretación de sus ambientes de depósito, se realizó el estudio petrográfico y conteo de puntos de diez muestras de litarenitas con el fin de interpretar su procedencia. Asimismo se separaron circones detríticos de dos muestras, que fueron fechados por U-Pb utilizando el método de ablación láser y espectrometría de masas multicollector con plasma de acoplamiento inductivo (*Laser Ablation-Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*, LA-MC-ICPMS), con la finalidad de determinar y comparar edades máximas y procedencia de los depósitos; dichos análisis fueron realizados en el *Arizona LaserChron Center* de la Universidad de Arizona, en Tucson. Esta técnica permite establecer con un alto grado de certidumbre las edades de los diferentes circones contenidos en la muestra, ya que al medir un promedio de cien circones por muestra es posible identificar de manera estadística las diferentes poblaciones y con ello los posibles complejos o bloques tectonomagmáticos de procedencia. Asimismo, con base en la población más joven reconocible sobre las gráficas de probabilidad relativa, es posible establecer una edad máxima para el depósito.

Las correlaciones estratigráficas y las edades isotópicas que se reportan en el presente artículo, han sido referidas a la tabla geocronológica de la Sociedad Geológica Americana (*Geological Society of America*, 1999) a fin de estandarizar la información y resultados que se presentan.

## ESTRATIGRAFÍA

La unidad más antigua documentada en el Cañón General en la porción noroccidental de la Sierra de Catorce (Figura 3a), es una secuencia marina turbidítica del Triásico



Figura 1. Localización de las áreas de estudio en el Estado de San Luis Potosí, con respecto a elementos fisiográficos como la Sierra Madre Oriental y la Mesa Central y paleogeográficos como la plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México.

Tardío denominada Formación Zacatecas, la cual fue depositada en un ambiente de abanico submarino dentro de un miogeoclinal en la margen pacífica de Pangea (Barboza-Gudiño *et al.*, 1999, Silva-Romo *et al.* 2000, Hoppe *et al.*, 2002), con una edad máxima del depósito, basada en circones detríticos, de la parte superior del Triásico Inferior (244 Ma, Barajas-Nigoche, 2008) y una edad mínima que ahora quedaría establecida por los circones más jóvenes contenidos en la muestra de las capas Cerro El Mazo (212 Ma, en el presente trabajo). Sobreyaciendo de manera discordante a la Formación Zacatecas se observan en la misma localidad regularmente los productos de un arco volcánico continental del Jurásico Inferior a Medio (López-Infanzón, 1986, Maher *et al.*, 1991, Jones *et al.*, 1995, Barboza-Gudiño *et al.*, 1999), conocido también regionalmente como Formación Nazas o “Arco Nazas” (Pantoja-Alor, 1972, Blickwiede, 1981; Bartolini *et al.*, 2003; Barboza-Gudiño *et al.*, 2008).

La Formación Nazas está constituida por rocas piroclásticas y flujos de lava de composición intermedia a félsica, e incluye en menor proporción rocas máficas y diques de composición andesítico-basáltica a dacítica. En algunas localidades de la Sierra de Catorce, depósitos de la parte inferior de la sucesión volcánica se encuentran interestratificados con capas de arenisca y litarenita conglomo-

meráticas típicas de facies de canal en un ambiente fluvial a deltaico y con limolitas a lutitas con concreciones de carbonatos, glauconita y ocasionalmente con una estratificación ondulosa de tipo *flaser*. Barboza-Gudiño *et al.* (2004) propusieron para dicha unidad el nombre informal de capas Cerro El Mazo, cuya edad quedaría comprendida entre el Triásico Medio-Superior, que es la edad de la Formación Zacatecas que la subyace y 172 Ma (Bajociano), que es la edad (U-Pb, circón) de un dique riolítico que corta a toda la sucesión volcánica (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004). Con base en estas relaciones estratigráficas, dichos autores sugirieron una correlación cronoestratigráfica de las capas Cerro El Mazo con la Formación Huayacocotla de los Estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz.

La Formación Nazas en la Sierra de Catorce se encuentra sobreyacida discordantemente por la Formación La Joya del Jurásico Medio (Bathoniano-Calloviano). Esta unidad consistente de brechas y conglomerados en la base, que hacia la cima gradúan transicionalmente a areniscas rojas, limolitas y lutitas, habiendo sido localmente establecido su rango de edad con base en su contenido de productos clásticos derivados principalmente del arco Nazas, específicamente las riolitas previamente mencionadas de 172 Ma (Bajociano) y su relación transicional con las calizas de la

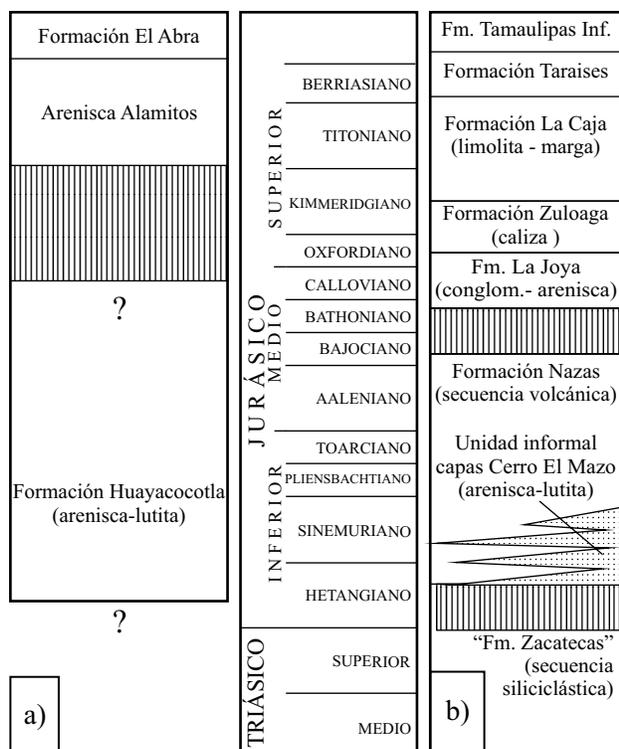


Figura 2. Unidades estratigráficas pre-Cretácicas reconocidas en las áreas de estudio a) Área del rancho El Alamito (basada en Bazañez *et al.*, 1993 y Léxico Estratigráfico de México del Servicio Geológico Mexicano, [en línea]), y b) Cañón General de la Sierra de Catorce (basado en Barboza-Gudiño *et al.*, 2004).

Formación Zuloaga del Jurásico Tardío (Oxfordiano) que la sobreyacen.

En el área del rancho El Alamito (Figura 3b), se localiza un afloramiento de areniscas y lutitas, el cual fue correlacionado con la Formación Huayacocotla del Jurásico Inferior, con base en la presencia de amonitas del género *Phlysecgrammoceras* o *Hildaites* (del Toarciario; PEMEX en Labarthe *et al.* 1989). Esta secuencia presenta sólo algunas características similares a las de la secuencia descrita en el Cerro El Mazo, en la Sierra de Catorce, aunque no aflora su base y su cima es sobreyacida discordantemente por unas capas de areniscas del Jurásico Superior-Cretácico (arenisca Alamitos, Celestino, 1982, en Servicio Geológico Mexicano, Léxico Estratigráfico de México [en línea]) y por la Formación El Abra (Heim, 1940). La secuencia mesozoica de la localidad El Alamito es sobreyacida de manera discordante por rocas volcánicas cenozoicas, cartografiadas como Andesita Agua Fría, Riodacita del Carmen e Ignimbrita El Órgano, todas del Oligoceno (Labarthe-Hernández *et al.*, 1989).

### Secciones medidas

En el Cañón General de la Sierra de Catorce se midieron dos secciones de las capas Cerro el Mazo, la primera

sección (SRC-1), se midió siguiendo el cauce del arroyo en el fondo del cañón, de forma paralela a una sección previamente medida y reportada por Barboza-Gudiño *et al.* (2004). La sección medida se ubica en el flanco occidental de la antiforma Los Catorce (Figura 3a y 4), con coordenadas del punto inicial en la base: 23°41.84'N, 100°55.3'W y en la cima: 23°41.85'N, 100°55.45'W. La segunda sección medida en esta localidad (SRC-2), se ubica sobre el camino que va de Los Catorce hacia Real de Catorce (coordenadas de la base: 23°41.9'N, 100°54.35'W y cima: 23°41.7'N, 100°53.85'W, en el flanco oriental de la antiforma referida.

La base de la sección SRC-1 inicia sobre la discordancia tectonizada que separa a las capas Cerro El Mazo de la Formación Zacatecas. Consiste en su base de capas de cuarzenitas de grano medio a grueso (Figura 4 y 5), en parte conglomeráticas, de 15 metros de espesor, que presentan estratificación cruzada, siendo notable en la cima de algunos de estos bancos la presencia de gran cantidad de fragmentos de plantas, sobre las que Sidney Ash (comunicación escrita a través de Claudio Bartolini) identifica posibles fragmentos de raíces y, en capas más superiores de la misma secuencia, una posible Cycadeoidea (Bennettiales) del género *Zamites*, cuyo rango abarca desde el Triásico Tardío hasta el Cretácico. Los siguientes 40 metros de la sección están constituidos por una serie de horizontes de limolitas a lutitas de coloración gris verdoso a ocre y rojo púrpura, con intercalación de brechas de intraclastos de lutitas y fragmentos de areniscas. Las capas de limolitas y lutitas regularmente presentan una mala estratificación y se observan con frecuencia concreciones de carbonato, así como partes con glauconita y algunas que constan de sílice u óxidos, por efecto de alteración secundaria. Los diámetros de estas concreciones van desde menores a 1 cm hasta 5 o 6 centímetros y tienen formas esféricas hasta aplanadas o irregulares. Los siguientes 40 metros están formados de capas medianas de arenisca fina, limolita y algunos horizontes de lutita que gradúan hacia arriba a litarenitas que suman cerca de 30 metros. Sobre esta parte de la secuencia se presentan las primeras intercalaciones de lavas de textura traquítica, formadas por plagioclasa acicular en una matriz criptocristalina y parcialmente con estructura amigdaloides con cristalización de calcita hacia la pared de las vesículas y clorita fibrosa hacia el interior (Figura 5d). En total, la secuencia medida y considerada como capas Cerro el Mazo, rebasa los 130 m. El límite con la Formación Nazas, que la sobreyace, se ha fijado en donde las intercalaciones de material volcánico son eminentemente de carácter subaéreo y predominan claramente sobre el material sedimentario. Aspectos de los afloramientos y las diferentes facies descritas en la sección SRC-1 se aprecian en la Figura 5.

La secuencia SRC-2 (Figura 4), descansa discordantemente sobre las turbiditas de la Formación Zacatecas y consiste de 280 m de litarenitas, limolitas, lutitas y cuerpos concordantes de rocas verdes. En la mitad inferior de la secuencia es notable el predominio de los bancos gruesos de hasta tres metros de espesor de las areniscas a litarenitas

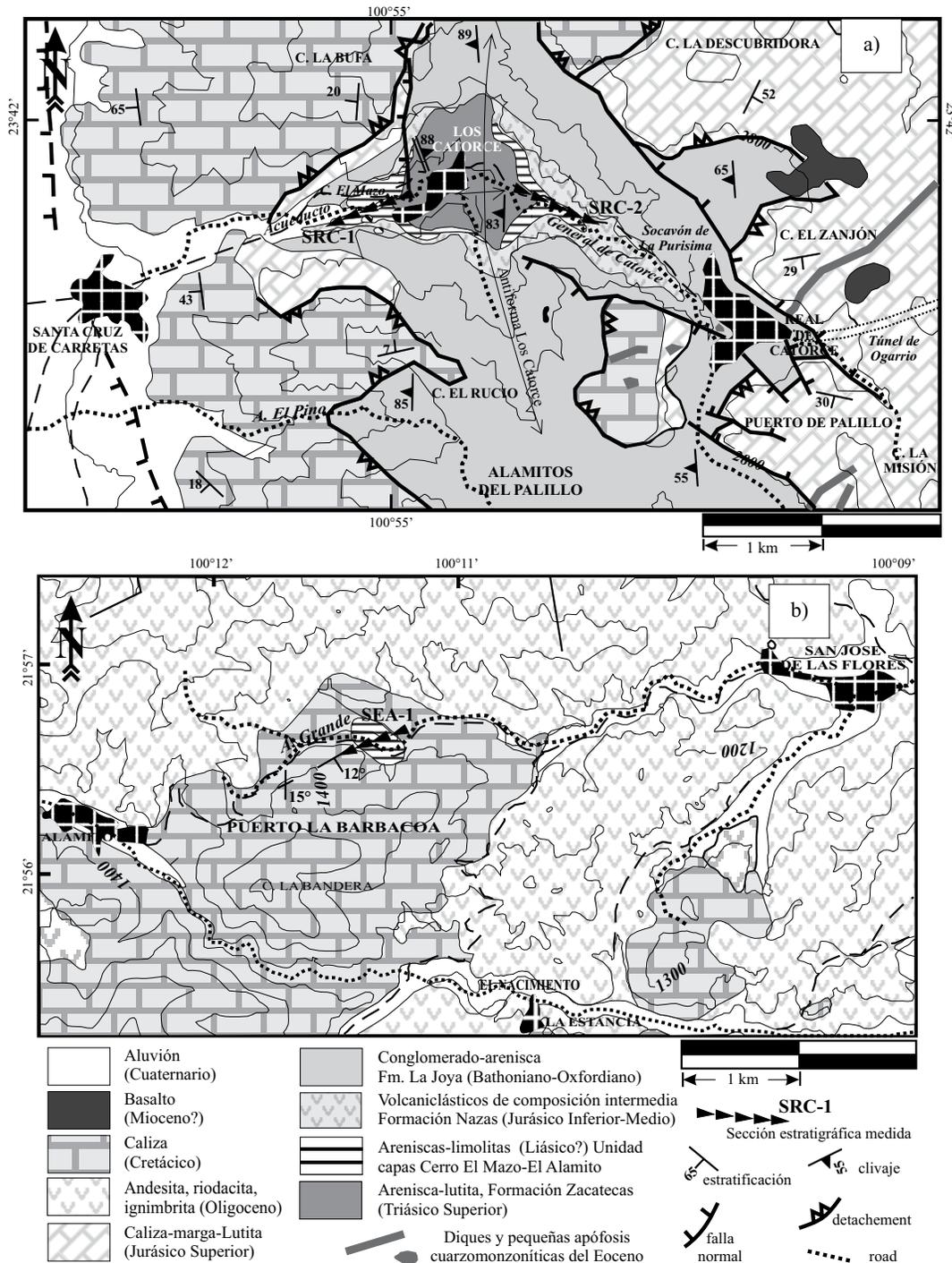


Figura 3. a) Mapa geológico simplificado del Cañón General en la Sierra de Catorce, mostrando los afloramientos de la unidad descrita informalmente como capas Cerro El Mazo y las secciones medidas para el presente estudio. b) Mapa geológico y de localización de la sección, SEA-1, medida en el área El Alamito, sobre el camino entre San José de las Flores y el rancho El Alamito.

conglomeráticas, mientras que en la mitad superior predominan las limolitas a lutitas con concreciones de forma lenticular de carbonato de calcio. Un cuerpo de rocas verdes se encuentra en la parte inferior de la secuencia y alcanza hasta 26 m de espesor, y dos cuerpos más, de hasta 15 m de espesor cada uno, se intercalan en las limolitas de la parte

superior de la secuencia. Estos cuerpos concordantes representan flujos de lavas de composición máfica, de grano fino, con textura traquítica amigdaloides, así como sus posibles conductos subvolcánicos, que se observan intrusionando a la Formación Zacatecas. Sobreyaciendo a la secuencia medida, aparece una unidad volcánica de color claro, muy

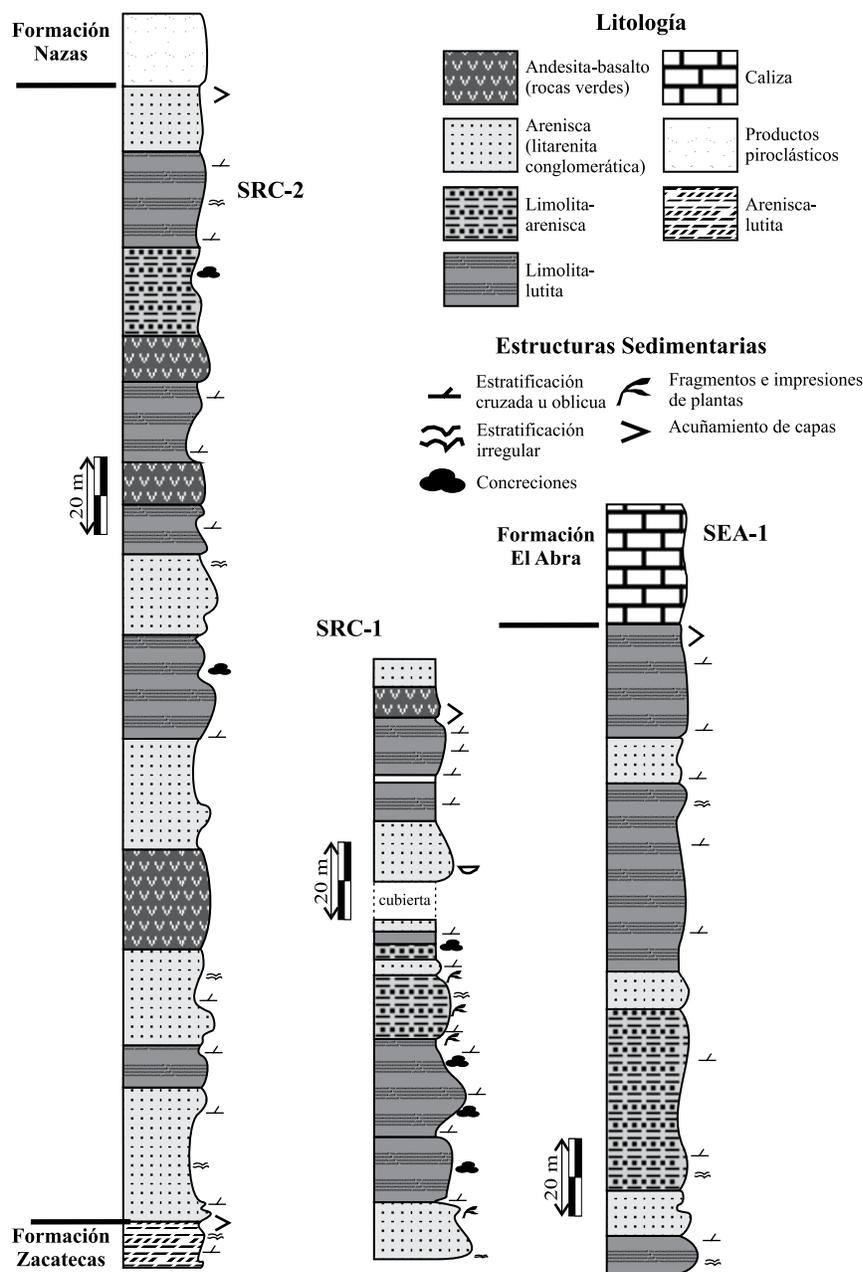


Figura 4. Secciones SRC-1 y SRC-2 medidas en el Cañón General de la Sierra de Catorce y sección SEA-1, medida en el área El Alamito. Ver figura 2 para localización.

deformada, con aspecto de filita o metariolita y estructura brechada en algunos horizontes y laminada en las partes con grano más fino. Esta unidad fue considerada ya como un flujo piroclástico perteneciente a la Formación Nazas, tomando como criterio para separar esta formación de las capas Cerro El Mazo, el predominio del material volcánico en la Formación Nazas y el carácter eminentemente subaéreo del mismo.

La secuencia SEA-1 (Figura 4), medida a lo largo del camino entre San José de las Flores y El Alamito, presenta algunas complicaciones estructurales para su medición precisa y no aflora su base, en tanto que su cima

presenta una relación discordante con los bancos de caliza de la Formación El Abra del Cretácico (Heim, 1940) y con algunas capas de arenisca atribuidas por Celestino (1982, *en Servicio Geológico Mexicano, Léxico Estratigráfico de México* [en línea]) al Jurásico Superior-Cretácico Inferior y descritas por el mismo autor de manera informal como “arenisca Alamitos”. Consiste de poco más de 150 metros, en donde destacan en la parte inferior areniscas o cuarcitas en capas medianas a gruesas ocasionalmente con laminación oblicua recta y esporádicos bancos de litarenitas conglomeráticas color gris claro. Hacia la parte media de la secuencia expuesta se observa una alternancia de capas delgadas de

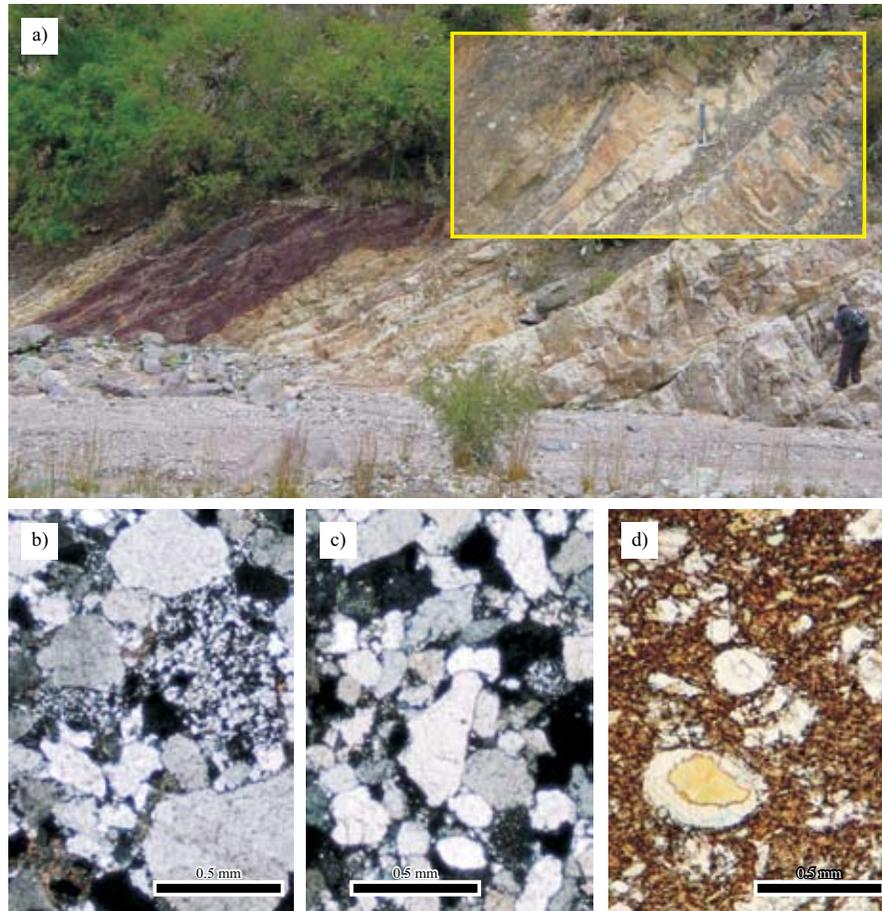


Figura 5. a). Afloramientos de las capas Cerro El Mazo, sección SRC-1, en el Cañón General, Sierra de Catorce. a) Cambios de coloración (izquierda de la foto), de las areniscas en color gris claro a las limolitas rojas y gris claro amarillento. En esta secuencia, la base de la unidad se encuentra hacia la derecha de la fotografía, estando las capas en su posición normal. El recuadro en la parte superior derecha de (a) muestra las capas de arenisca en los afloramientos del área El Alamito. b y c: Muestran cuarzos policristalinos y monocristalinos (nicoles cruzados) que ocurren en las curcitas del área de El Alamito (b) y Sierra de Catorce (c). d: roca máfica amigdaloides bajo luz natural, el diámetro mayor de las amígdalas es de poco menos de 0.5 mm; el relleno es de calcita en la periferia y clorita fibrosa al centro.

limolitas a areniscas de grano fino interestratificadas con horizontes delgados de lutitas de color gris claro a amarillo, mostrando estratificación irregular y acuñamiento de algunas capas, para finalizar hacia la parte media y superior de la secuencia con algunos bancos de litarenita y finalmente capas delgadas de arenisca y lutita.

### Petrografía

La petrografía, y en particular el conteo estadístico de componentes clásticos (Tabla 1), se utilizó para comparar las secuencias de las áreas del Cañón General y El Alamito. Las litarenitas consisten principalmente de cuarzo monocristalino y en menor proporción cuarzo policristalino, de granulometría media a gruesa con un grado de redondez subanguloso a subredondeado. Feldespato, plagioclasa, minerales máficos y fragmentos líticos sólo aparecen en menor porcentaje. Algunas muestras presentan localmente

gran contenido de clorita en la matriz, lo que en ocasiones da una tonalidad verdosa a la roca. Ésto es particularmente notorio cuando dichos depósitos se encuentran en las proximidades de las rocas verdes antes descritas, por lo que es de suponerse la mezcla de materiales volcánogénicos alterados dentro de estas capas, lo cual sin embargo no se reflejó en una proporción considerable de líticos volcánicos en las muestras analizadas.

De acuerdo con los resultados del conteo de puntos, graficados sobre el diagrama triangular de Dickinson (1985, Figura 6) las arenas provienen primordialmente de un ambiente de orógeno reciclado, con influencia de un ambiente de bloque continental. La composición mineralógica muestra que las rocas son areniscas cuarzosas o litarenitas con escaso o nulo contenido de feldespatos, aunque con un porcentaje regular de fragmentos líticos, reflejando una elevada madurez composicional. Los fragmentos clásticos que conforman las muestras reflejan a su vez una elevada madurez textural. El retrabajo de estos componentes clás-

Tabla 1. Datos correspondientes al conteo estadístico de puntos a partir de los cuales se graficaron los diagramas ternarios de discriminación para procedencia de fragmentos clásticos en rocas sedimentarias: (Qp: cuarzo policristalino, Qm: cuarzo monocristalino, Pd: pedernal, Ls: líticos sedimentarios, Lm: líticos metamórficos, Lv: líticos volcánicos, Pl: plagioclasa, FK: feldespato potásico, Mic: micas, Mtz: matriz, Cal: CaCO<sub>3</sub>, Op: minerales opacos, Maf: minerales máficos, Qt: cuarzo total, Lt: fragmentos líticos totales).

Muestra	Qp	Qm	Pd	Ls	Lm	Lv	Pl	FK	Mic	Mtz	Cal	Op	Maf	TOTAL	Qt	Ft
RTO-01 (b)	57	188	6	9	37	72	0	0	2	7	7	35	0	420	251	118
RTO-02 (a)	79	231	7	13	33	41	2	12	0	10	0	22	0	450	317	87
RTO-03 (a)	75	287	10	16	5	9	1	13	3	3	1	14	3	440	372	30
RTO-03 (b)	51	283	11	15	7	17	3	6	1	7	0	27	2	430	345	39
RC-CCM-04 (a)	81	232	13	11	9	21	2	4	34	17	0	32	4	460	326	41
RC-CCM-04 (b)	71	243	7	15	5	27	4	17	42	9	4	23	3	470	321	47
RC-CCM-05 (b)	10	224	7	18	1	37	5	28	26	28	0	32	14	430	241	56
RC-CCM-05 [c]	15	273	7	11	2	16	1	10	67	8	0	29	1	440	295	29
RC-CCM-07 (b)	76	282	19	28	5	14	0	4	1	5	0	14	2	450	377	47
RC-CCM-08	88	213	12	24	26	7	2	17	3	20	0	35	3	450	313	57

ticos es indicativo de su paso por diversas etapas o ciclos de erosión, transporte y acumulación o depósito, al parecer procedentes de bloques que fueron exhumados o levantados y expuestos a diversos factores erosivos, en donde los minerales menos resistentes a la erosión y transporte, como son el feldespato y la plagioclasa, fueron alterados o destruidos. La madurez textural, como forma y tamaño de los fragmentos, también nos indica estos procesos y este tipo de posibles fuentes originales de los componentes clásticos.

En cuanto a los otros tipos de rocas que se observan en las secuencias estudiadas se puede destacar la alternancia con capas de limolitas y lutitas, aunque de forma particular en la Sierra de Catorce se presentan limolitas rojas a púrpura con concreciones de carbonato e intercalaciones de rocas verdes que en la secuencia de El Alamito no se observaron, lo cual puede ser atribuible a una variación en el ambiente de depósito, con mayor influencia continental y a la presencia local de vulcanismo en la Sierra de Catorce, el cual se

manifiesta como emisiones intercaladas de lava basáltico-andesítica, así como algunos diques. Estas lavas muestran una textura fluidal a traquítica con numerosos cristales de plagioclasa acicular en una matriz criptocristalina de minerales máficos y minerales secundarios. Ocasionalmente se observan estructuras amigdaloides con cristalización de carbonato y clorita fibrosa en el núcleo de las pequeñas amígdalas elipsoidales que tienen diámetros de fracciones de milímetro, dando a la roca un aspecto muy similar al de algunas rocas espiliticas (Figura 5d), sin que hasta el momento se haya podido confirmar tal composición, ya que la plagioclasa es más cálcica y menos sódica y según un análisis químico reportado por Barboza-Gudiño *et al.* (2008), así como una serie de análisis químicos actualmente en preparación (Rodríguez-Hernández, en preparación), estas rocas muestran contenidos de Na<sub>2</sub>O menores que 3.0 % en peso, en tanto que sus contenidos de CaO son superiores a 7.0 % en peso.

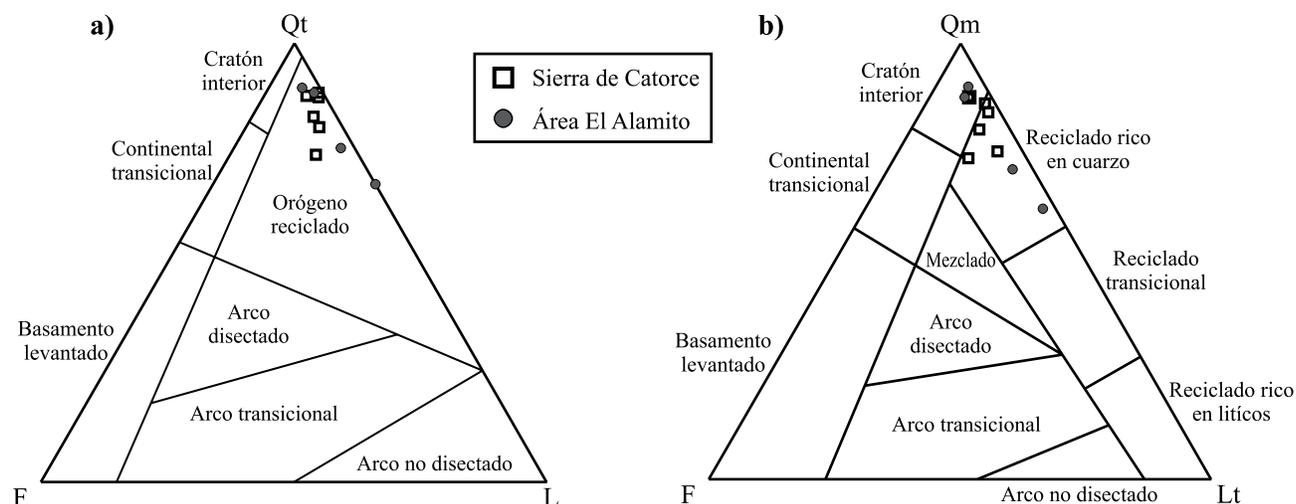


Figura 6. Diagramas ternarios de la composición modal de areniscas (a) Qt-F-Lt y (b) Qm-F-Lt. Los campos de discriminación de ambientes geotectónicos corresponden con los usados por Dickinson (1985). El total de puntos contabilizados en cada muestra varía de 420 a 470.

### Geocronología de circones detríticos

A fin de apoyar la correlación propuesta de manera más confiable y ante la carencia de fauna en los afloramientos de la Sierra de Catorce, se realizaron los estudios de geocronología de circones detríticos ya mencionados, en muestras de areniscas de ambas localidades estudiadas. Esta información nos permite interpretar una posible ubicación paleogeográfica y la evolución tectónica de bloques actualmente distantes o los tiempos de exhumación de determinados complejos metamórficos o plutónicos.

Los resultados de las muestras analizadas (Cañón General: RC35 y El Alamito: RVA-01) se muestran en las Tablas 2 y 3, así como en la Figura 7. Con la técnica usada, cada circón es expuesto a la ablación láser para ser analizado en el espectrómetro de masas con multicolector (MC-ICPMS). En las gráficas de la Figura 7 se aprecian las semejanzas en algunos picos, lo cual demuestra ciertas similitudes en la procedencia de los circones detríticos de ambas muestras, indicando que provienen principalmente de tres fuentes o bloques caracterizados por tres eventos tectónico-termales principales. Con base en las relaciones tectónicas y paleogeográficas se interpretan como: 1) Circones con edades entre 900–1200 Ma, que predominan en ambas muestras, son atribuidos a una procedencia Grenvilliana, posiblemente del bloque Oaxaquia (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995); 2) circones con edades de entre 450–650 Ma corresponden a un bloque con basamento Pan-Africano-Brasiliano (López *et al.*, 2001), incluidos algunos circones del Paleozoico inferior; y 3) circones con edades de aproximadamente 245–280 Ma provenientes del arco magmático permo-triásico del oriente de México (Torres *et al.*, 1999) o *East Mexico arc* (Dickinson and Lawton, 2001).

En la muestra RVA-01, procedente de El Alamito, aparecen dos granos de circón con edades que producen un pico cercano a los 160 Ma. Descartando un posible error y siendo el resultado de dos granos un número estadísticamente no representativo de una población que se pueda considerar real, estos circones reflejarían una edad máxima de depósito bastante joven para esta roca, que implicaría un rango más amplio de edad que el originalmente considerado, aunque aún dentro del Jurásico Temprano, pudiendo representar aportes del arco Jurásico continental recibidos en esta parte de la cuenca. Estas edades no se registraron en la muestra de la Sierra de Catorce, aunque en dichos afloramientos sí se tiene la presencia de rocas volcánicas intercaladas, siendo dichas rocas volcánicas de composición máfica, con contenidos de SiO<sub>2</sub> menores que 54 % en peso.

Por lo anterior, la edad máxima de los depósitos estudiados en la Sierra de Catorce se puede interpretar sólo como posterior al Triásico Superior, por la presencia de circones con una edad de 212 Ma (Figura 6), edad que es congruente con una edad Triásica establecida también por medio de circones detríticos para la secuencia subyacente (Formación Zacatecas; Barajas-Nigoche, 2008), así como con una edad de U-Pb en circones de  $174.7 \pm 1.3$  Ma

(Jurásico Medio) para una riolita que en la misma Sierra de Catorce intrusiva y sobreyace a la secuencia estudiada (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004). En ambas muestras se aprecian algunas otras poblaciones en forma de picos menores con edades, en el caso de la muestra RC-35, desde 1900 a 2000 Ma (Paleoproterozoico), mientras que para la muestra del área de El Alamito, únicamente dos circones evidencian edades entre 2800 a 3000 Ma (Arqueano). En los diagramas de la Figura 6 se observan también las curvas de concordia, basadas en las relaciones isotópicas <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U y <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U.

### Ambiente de depósito e implicaciones paleogeográficas

Tomando en cuenta las características observadas en las secciones estratigráficas medidas, las descripciones petrográficas y los resultados de la geocronología de circones detríticos, los componentes de las areniscas corresponden a un sistema fluvial de tercer orden, el cual se relaciona con sistemas fluviales mayores en ambientes costeros, deltas y abanicos submarinos, en donde los sedimentos detríticos se derivan de áreas muy diversas donde se localizan las diferentes rocas fuente, en este caso los bloques Grenvilliano, Pan-Africano-Brasiliano y las rocas de arcos magmáticos del Paleozoico tardío y Mesozoico temprano.

Para la secuencia expuesta en el área de la Sierra de Catorce se considera como ambiente de depósito, un ambiente de delta, el cual incluye los aportes de sistemas fluviales representados por paquetes de areniscas de textura conglomerática con material retrabajado o reciclado. Sin embargo el ambiente deltaico consecuentemente va pasando a uno de tipo marino de aguas someras, representado por horizontes de limolita rojiza, con tonalidades violáceas y púrpura en ciertas zonas, y que especialmente en el área de la Sierra de Catorce contienen abundantes concreciones de CaCO<sub>3</sub> y Fe(OH), así como glauconita y estratificación de tipo *flaser*, lo que correspondería a facies propias de una planicie deltaica variante entre planicie deltaica superior y planicie deltaica inferior, en concordancia con el reporte de capas marinas en la secuencia expuesta en el área de la Sierra de Catorce, como fuera propuesto por Erben (1956). Estas mismas características se interpretan para la secuencia expuesta en el área El Alamito a pesar de que en dicho afloramiento las capas son menos potentes y existe un predominio de areniscas más finas a limolitas, así como la ausencia de lavas u horizontes volcanogénicos.

Considerando que la correlación entre las secciones estudiadas puede ser sólo parcial, dadas las diferentes faunas reportadas, así como las edades máximas de los depósitos establecidas por la geocronología de los circones detríticos, se propone un modelo paleogeográfico (Figura 8) que habrá de considerarse con reserva en el detalle, no obstante que de manera más general sí está sustentado en el hecho de que la fauna reportada en ambas secuencias, tanto en el Cañón General de la Sierra de Catorce, como en El Alamito, permite establecer una correlación por lo menos parcial con

Tabla 2. Datos analíticos de U-Pb para circones detríticos, obtenidos por LA-MC-ICPMS correspondientes a la muestra RC-35 (Cañón General, Sierra de Catorce, S. L. P.).

Análisis	U (ppm)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	U/Th	Relaciones isotópicas					Edades aparentes					Best age (Ma)	± (Ma)		
				<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	± (%)	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	± (%)	error corr.	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	± (Ma)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	± (Ma)	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>207</sup> Pb*			± (Ma)	
1	RC0635-41	208	754	0.7	0.32178	9.8	0.03311	1.9	0.20	210.0	4.0	283.3	24.2	942.7	197.3	210.0	4.0
2	RC0635-14	161	2144	1.1	0.27959	4.8	0.03773	2.5	0.52	238.8	5.9	250.3	10.7	360.1	92.5	238.8	5.9
3	RC0635-85	151	3932	1.1	0.25298	5.5	0.03782	1.8	0.32	239.3	4.2	229.0	11.2	124.6	122.1	239.3	4.2
4	RC0635-51	164	3181	0.7	0.26582	3.3	0.03811	1.7	0.52	241.1	4.0	239.3	6.9	221.9	64.3	241.1	4.0
5	RC0635-56	138	4709	0.9	0.25496	6.5	0.03850	1.3	0.21	243.5	3.2	230.6	13.5	100.6	151.3	243.5	3.2
6	RC0635-63	77	2124	1.0	0.24929	9.0	0.03859	2.9	0.32	244.1	7.0	226.0	18.3	41.7	204.1	244.1	7.0
7	RC0635-92	130	1329	1.4	0.27499	4.7	0.03874	1.8	0.39	245.0	4.4	246.7	10.2	262.4	98.6	245.0	4.4
8	RC0635-97	80	2214	0.9	0.25498	7.3	0.03876	1.9	0.26	245.1	4.6	230.6	15.0	85.2	166.1	245.1	4.6
9	RC0635-4	92	1882	0.9	0.29698	20.9	0.03885	3.1	0.15	245.7	7.6	264.0	48.6	429.9	464.7	245.7	7.6
10	RC0635-20	101	5073	0.6	0.27133	3.4	0.03913	1.5	0.46	247.4	3.8	243.8	7.3	208.5	69.7	247.4	3.8
11	RC0635-53	158	5830	0.9	0.27280	3.3	0.03943	1.7	0.53	249.3	4.3	244.9	7.2	203.5	65.4	249.3	4.3
12	RC0635-74	158	2612	1.0	0.29155	13.6	0.03986	2.7	0.20	251.9	6.8	259.8	31.3	331.2	304.3	251.9	6.8
13	RC0635-59	301	9853	0.9	0.28473	2.1	0.04023	1.0	0.48	254.3	2.5	254.4	4.7	255.4	41.6	254.3	2.5
14	RC0635-68	275	4389	0.6	0.29685	2.2	0.04074	1.3	0.61	257.4	3.4	263.9	5.1	322.3	39.7	257.4	3.4
15	RC0635-42	254	8704	0.7	0.28528	1.8	0.04080	1.2	0.65	257.8	3.0	254.8	4.1	227.8	31.8	257.8	3.0
16	RC0635-64	1279	17306	0.5	0.29523	1.7	0.04114	1.0	0.60	259.9	2.5	262.7	3.8	287.5	30.3	259.9	2.5
17	RC0635-12	259	4058	1.9	0.31486	10.6	0.04130	2.2	0.21	260.9	5.6	277.9	25.7	424.0	231.3	260.9	5.6
18	RC0635-50	138	2199	0.7	0.30273	6.6	0.04160	4.9	0.74	262.7	12.5	268.5	15.5	319.5	100.8	262.7	12.5
19	RC0635-38	352	3403	0.6	0.31646	3.3	0.04212	2.1	0.65	265.9	5.6	279.2	8.0	391.5	55.7	265.9	5.6
20	RC0635-94	230	5503	1.0	0.30069	2.9	0.04237	2.0	0.68	267.5	5.2	266.9	6.8	262.1	49.2	267.5	5.2
21	RC0635-19	108	3703	1.8	0.29237	4.4	0.04267	1.8	0.41	269.3	4.8	260.4	10.1	181.0	93.8	269.3	4.8
22	RC0635-7	194	8014	2.0	0.34862	3.2	0.04949	1.1	0.33	311.4	3.3	303.7	8.5	245.1	70.6	311.4	3.3
23	RC0635-57	239	1103	0.8	0.65824	9.5	0.06321	3.3	0.34	395.1	12.5	513.5	38.3	1082.4	179.2	395.1	12.5
24	RC0635-34	263	2062	0.9	0.58913	14.1	0.06368	2.0	0.14	398.0	7.6	470.3	53.2	840.8	292.7	398.0	7.6
25	RC0635.100	564	3868	0.6	0.51925	4.9	0.06478	3.6	0.73	404.7	14.2	424.7	17.2	534.7	74.0	404.7	14.2
26	RC0635-71	361	8088	0.9	0.54301	1.9	0.07133	1.0	0.52	444.2	4.3	440.4	6.9	420.7	36.7	444.2	4.3
27	RC0635-43	322	2456	1.0	0.63511	3.6	0.07155	1.0	0.28	445.5	4.4	499.3	14.2	753.9	73.1	445.5	4.4
28	RC0635-23A	207	3444	0.9	0.59522	4.0	0.07231	2.1	0.53	450.0	9.1	474.2	15.0	592.8	72.6	450.0	9.1
29	RC0635-82A	90	3346	0.8	0.58931	4.4	0.07379	2.2	0.50	458.9	9.7	470.4	16.6	526.8	84.2	458.9	9.7
30	RC0635-69	371	17726	0.8	0.59297	2.8	0.07609	1.0	0.35	472.7	4.6	472.8	10.7	472.9	58.3	472.7	4.6
31	RC0635-3	388	4416	3.6	0.69959	3.2	0.07737	1.6	0.49	480.4	7.2	538.5	13.3	793.0	58.1	480.4	7.2
32	RC0635-73	159	5880	0.7	0.62576	1.9	0.07985	1.3	0.69	495.2	6.2	493.5	7.3	485.1	30.1	495.2	6.2
33	RC0635-82	138	8653	2.5	0.76331	4.1	0.09088	3.6	0.89	560.8	19.5	575.9	17.9	636.2	39.1	560.8	19.5
34	RC0635-41A	183	1744	0.4	0.96953	6.9	0.10023	4.4	0.64	615.8	25.8	688.2	34.4	932.9	108.5	615.8	25.8
35	RC0635-91	312	10810	1.8	0.85949	1.7	0.10203	1.4	0.81	626.3	8.4	629.8	8.2	642.7	22.0	626.3	8.4
36	RC0635-9	98	9109	1.9	0.92084	2.1	0.10923	1.3	0.62	668.3	8.4	662.8	10.4	644.2	36.0	668.3	8.4
37	RC0635-87	244	23802	1.4	1.04457	3.8	0.11316	3.4	0.89	691.1	22.3	726.2	19.8	836.2	36.6	691.1	22.3
38	RC0635-65	173	15954	2.1	1.41225	7.6	0.13967	7.4	0.98	842.8	58.5	894.1	45.1	1023.2	32.5	842.8	58.5
39	RC0635-24	477	10883	1.6	1.42512	1.5	0.14287	1.0	0.69	860.9	8.1	899.5	8.7	995.6	21.3	860.9	8.1
40	RC0635-90	231	6155	1.5	1.49444	3.1	0.14294	1.3	0.43	861.3	10.8	928.1	18.8	1090.4	55.7	861.3	10.8
41	RC0635-55	56	6966	3.6	1.39054	2.5	0.14632	1.5	0.59	880.3	12.0	884.9	14.7	896.5	41.4	880.3	12.0
42	RC0635-13	36	7601	2.1	1.41808	2.3	0.14834	1.2	0.55	891.7	10.4	896.6	13.6	908.6	39.3	891.7	10.4
43	RC0635-33	52	5536	1.3	1.42402	2.4	0.15111	1.6	0.67	907.2	13.8	899.0	14.4	879.1	37.1	907.2	13.8
44	RC0635-32	72	11567	1.5	1.45946	1.9	0.15297	1.4	0.74	917.6	12.2	913.8	11.7	904.6	27.0	917.6	12.2
45	RC0635.100A	113	4358	1.4	1.57050	2.9	0.15297	1.9	0.66	917.6	16.4	958.6	18.1	1053.9	44.4	917.6	16.4
46	RC0635-49	41	3409	1.1	1.46636	3.7	0.15317	2.2	0.60	918.7	19.1	916.6	22.4	911.6	60.9	918.7	19.1
47	RC0635-21	138	14959	2.8	1.56589	2.2	0.15399	1.3	0.57	923.3	10.9	956.8	13.7	1034.7	36.5	923.3	10.9
48	RC0635-25	106	10049	3.3	1.58385	1.6	0.15748	1.2	0.78	942.8	10.9	963.9	10.0	1012.4	20.6	942.8	10.9
49	RC0635-10	39	4234	1.9	1.51432	2.7	0.15797	2.2	0.80	945.5	19.1	936.2	16.5	914.4	32.9	945.5	19.1
50	RC0635-66A	131	16045	1.3	1.57325	2.4	0.15891	1.4	0.60	950.7	12.5	959.7	14.6	980.3	38.4	950.7	12.5
51	RC0635-84	131	12877	1.4	1.60372	2.0	0.15991	1.7	0.86	956.3	15.2	971.7	12.4	1006.6	20.4	956.3	15.2
52	RC0635-76	48	5947	1.7	1.60105	2.9	0.16044	1.8	0.63	959.2	16.0	970.6	18.0	996.4	45.6	959.2	16.0
53	RC0635-29	94	12540	2.1	1.55456	3.4	0.16230	1.8	0.54	969.6	16.2	952.3	20.7	912.6	58.2	969.6	16.2
54	RC0635-58	105	12694	1.2	1.63301	1.5	0.16265	1.0	0.71	971.5	9.4	983.0	9.2	1008.9	20.8	971.5	9.4

Tabla 2. (cont.) Datos analíticos de U-Pb para circones detríticos, obtenidos por LA-MC-ICPMS correspondientes a la muestra RC-35 (Cañón General, Sierra de Catorce, S. L. P.).

Análisis	U (ppm)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	U/Th	Relaciones isotópicas					Edades aparentes					Best age (Ma)	± (Ma)		
				$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	± (%)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	± (%)	error corr.	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	± (Ma)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	± (Ma)	$^{206}\text{Pb}^*/^{207}\text{Pb}^*$			± (Ma)	
55	RC0635-31	25	3561	2.0	1.58272	4.0	0.16445	2.4	0.61	981.5	21.8	963.4	24.6	922.5	64.5	981.5	21.8
56	RC0635-81	290	34440	3.5	1.65727	1.6	0.16482	1.3	0.79	983.5	11.6	992.3	10.3	1011.9	20.3	983.5	11.6
57	RC0635-83	133	18082	1.4	1.65750	1.4	0.16503	1.0	0.70	984.6	9.1	992.4	9.0	1009.6	20.5	984.6	9.1
58	RC0635-88	61	6189	1.2	1.65920	4.5	0.16576	1.7	0.38	988.7	15.8	993.1	28.7	1002.7	84.9	988.7	15.8
59	RC0635-35	82	10797	1.3	1.69920	2.8	0.16996	2.4	0.85	1011.9	22.1	1008.2	17.8	1000.3	29.7	1000.3	29.7
60	RC0635-96	139	7664	1.4	1.68918	1.5	0.16866	1.0	0.69	1004.7	9.3	1004.5	9.3	1003.8	21.5	1003.8	21.5
61	RC0635-98	82	12578	1.6	1.69116	2.3	0.17043	1.5	0.65	1014.5	14.1	1005.2	14.7	985.0	35.7	1014.5	14.1
62	RC0635-67	140	18443	1.5	1.71793	2.0	0.17032	1.4	0.68	1013.9	12.7	1015.3	12.9	1018.2	29.9	1018.2	29.9
63	RC0635-37	113	12660	1.1	1.75528	1.7	0.17383	1.0	0.58	1033.2	9.5	1029.1	11.2	1020.4	28.7	1020.4	28.7
64	RC0635-86	107	10140	2.0	1.70637	1.9	0.16894	1.0	0.53	1006.3	9.3	1010.9	12.0	1021.0	32.2	1021.0	32.2
65	RC0635-36	157	16654	1.1	1.74327	2.0	0.17149	1.4	0.69	1020.3	12.8	1024.7	12.7	1034.0	28.9	1034.0	28.9
66	RC0635-60	338	31626	1.7	1.68508	2.0	0.16519	1.0	0.49	985.5	9.1	1002.9	12.9	1041.0	35.6	1041.0	35.6
67	RC0635-39	242	22306	1.3	1.80971	2.2	0.17618	1.0	0.46	1046.0	9.7	1049.0	14.3	1055.0	39.1	1055.0	39.1
68	RC0635-8	609	53743	6.1	1.75943	2.6	0.17126	1.5	0.56	1019.1	14.0	1030.6	17.0	1055.2	43.7	1055.2	43.7
69	RC0635-28	66	5357	2.0	1.84519	5.4	0.17939	2.2	0.40	1063.7	21.1	1061.7	35.8	1057.7	100.5	1057.7	100.5
70	RC0635-27	434	14920	3.4	1.76986	3.4	0.17197	3.1	0.93	1022.9	29.8	1034.5	21.9	1058.9	24.5	1058.9	24.5
71	RC0635-45	206	23254	1.8	1.83729	2.3	0.17754	1.6	0.72	1053.5	15.9	1058.9	14.8	1069.9	31.2	1069.9	31.2
72	RC0635-40	127	6417	1.0	1.81210	1.7	0.17482	1.4	0.79	1038.6	13.1	1049.8	11.3	1073.2	21.1	1073.2	21.1
73	RC0635-75	200	19596	1.1	1.83356	1.7	0.17340	1.3	0.75	1030.8	12.2	1057.6	11.2	1113.2	22.4	1113.2	22.4
74	RC0635-79	72	7780	1.6	1.92854	1.5	0.18121	1.0	0.69	1073.6	9.9	1091.0	9.7	1126.0	21.1	1126.0	21.1
75	RC0635-61	169	23870	1.5	2.11791	2.4	0.19773	2.2	0.90	1163.1	23.2	1154.7	16.7	1138.8	21.3	1138.8	21.3
76	RC0635-18	85	13600	1.7	2.16989	4.9	0.20242	4.5	0.92	1188.3	48.6	1171.4	34.0	1140.4	38.9	1140.4	38.9
77	RC0635-44	212	10014	3.1	2.10348	3.0	0.19619	2.3	0.79	1154.8	24.6	1149.9	20.3	1140.7	36.1	1140.7	36.1
78	RC0635-23	234	22851	1.7	1.92255	4.4	0.17849	3.8	0.87	1058.7	37.4	1089.0	29.4	1149.9	43.1	1149.9	43.1
79	RC0635-89	181	28927	2.3	2.03158	1.9	0.18854	1.5	0.81	1113.4	15.4	1126.1	12.6	1150.7	21.5	1150.7	21.5
80	RC0635-57A	217	36090	0.9	2.01631	3.0	0.18655	2.8	0.94	1102.7	28.5	1121.0	20.2	1156.7	19.9	1156.7	19.9
81	RC0635-48	83	10286	1.0	2.13198	2.3	0.19724	1.2	0.50	1160.5	12.4	1159.2	16.1	1156.9	40.0	1156.9	40.0
82	RC0635-93	191	17574	1.3	2.07277	2.6	0.19163	2.0	0.79	1130.2	21.1	1139.8	17.6	1158.3	31.1	1158.3	31.1
83	RC0635-95	106	8185	2.7	2.01004	1.8	0.18546	1.3	0.69	1096.7	12.7	1118.9	12.4	1162.2	26.1	1162.2	26.1
84	RC0635-78	124	2283	1.1	1.64852	10.3	0.15208	1.9	0.19	912.6	16.3	989.0	65.3	1162.5	201.5	1162.5	201.5
85	RC0635-77	65	7230	1.3	2.01375	2.1	0.18532	1.3	0.65	1096.0	13.6	1120.2	14.1	1167.4	31.3	1167.4	31.3
86	RC0635-6	188	19009	1.8	2.09119	2.3	0.19232	1.9	0.82	1133.9	19.3	1145.9	15.5	1168.7	25.4	1168.7	25.4
87	RC0635-54	76	11431	5.2	2.02725	1.9	0.18580	1.4	0.73	1098.6	14.0	1124.7	13.0	1175.5	26.0	1175.5	26.0
88	RC0635-99	210	37381	2.0	2.21258	1.5	0.20191	1.2	0.76	1185.6	12.6	1185.0	10.7	1184.0	19.8	1184.0	19.8
89	RC0635-66	122	20520	1.2	2.22580	1.4	0.20280	1.0	0.70	1190.3	10.9	1189.2	10.1	1187.1	20.4	1187.1	20.4
90	RC0635-62	189	16708	2.5	2.20714	1.8	0.19979	1.5	0.83	1174.2	15.9	1183.3	12.5	1200.0	19.8	1200.0	19.8
91	RC0635-5	166	37139	2.0	2.18148	1.8	0.19741	1.3	0.69	1161.4	13.4	1175.2	12.8	1200.6	26.3	1200.6	26.3
92	RC0635-1	130	18519	1.9	2.03175	2.4	0.18376	2.2	0.91	1087.5	21.8	1126.2	16.3	1201.6	20.1	1201.6	20.1
93	RC0635-30	98	15547	1.0	2.33122	1.4	0.20846	1.0	0.70	1220.6	11.1	1221.8	10.1	1224.0	20.0	1224.0	20.0
94	RC0635-80	150	15119	1.2	2.21985	2.1	0.19809	1.0	0.47	1165.1	10.7	1187.3	14.8	1228.1	36.5	1228.1	36.5
95	RC0635-70	73	9920	4.2	2.30042	2.3	0.20512	1.8	0.77	1202.8	19.5	1212.4	16.4	1229.7	29.2	1229.7	29.2
96	RC0635-46	47	2206	2.2	1.78881	12.4	0.15837	3.3	0.27	947.7	29.4	1041.4	80.7	1243.6	234.2	1243.6	234.2
97	RC0635-16	128	12137	1.9	2.50247	3.7	0.21779	2.1	0.57	1270.2	24.6	1272.8	27.0	1277.1	59.4	1277.1	59.4
98	RC0635-47	229	32737	0.9	2.38437	3.9	0.20708	3.7	0.94	1213.3	40.7	1237.9	28.1	1281.1	27.0	1281.1	27.0
99	RC0635-22	521	4221	3.5	1.98918	4.8	0.17125	3.2	0.68	1019.0	30.5	1111.8	32.2	1298.2	67.9	1298.2	67.9
100	RC0635-26	141	7575	1.4	2.37175	6.2	0.20378	2.2	0.36	1195.6	24.4	1234.1	44.0	1302.0	111.4	1302.0	111.4
101	RC0635-72	70	11391	0.6	2.49302	1.4	0.21285	1.0	0.69	1244.0	11.3	1270.0	10.4	1314.4	20.1	1314.4	20.1
102	RC0635-15	104	11241	1.6	2.56015	2.4	0.21529	2.1	0.86	1256.9	23.4	1289.3	17.3	1343.7	23.1	1343.7	23.1
103	RC0635-52	57	6353	1.8	2.54309	2.1	0.21365	1.4	0.67	1248.2	15.6	1284.5	15.0	1345.5	29.5	1345.5	29.5
104	RC0635-2	204	22882	1.1	2.55713	2.1	0.21478	1.0	0.49	1254.3	11.8	1288.5	15.5	1346.0	36.0	1346.0	36.0
105	RC0635-11	81	15120	0.5	2.65427	2.1	0.22231	1.7	0.78	1294.1	19.6	1315.8	15.9	1351.5	26.1	1351.5	26.1
106	RC0635-17	63	18143	0.8	5.97318	2.3	0.36156	1.3	0.58	1989.6	22.7	1971.9	19.7	1953.5	32.9	1953.5	32.9

Tabla 3. Datos analíticos de U-Pb para circones detríticos, obtenidos por LA-MC-ICPMS correspondientes a la muestra RVA (El Alamito, al poniente de Rioverde, S. L. P.).

Análisis	U (ppm)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	U/Th	Relaciones isotópicas					Edades aparentes					Best age (Ma)	± (Ma)		
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	± (%)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	± (%)	error corr.	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	± (Ma)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	± (Ma)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>207</sup> Pb*			± (Ma)	
1	RVA20064.91	394	4011	1.4	0.16689	3.9	0.02493	2.1	0.53	158.8	3.3	156.7	5.7	126.0	77.7	158.8	3.3
2	RVA20064-86	127	2022	1.8	0.16567	22.1	0.02563	3.3	0.15	163.2	5.2	155.7	31.9	42.9	527.3	163.2	5.2
3	RVA20064-26	107	3141	1.2	0.26188	12.3	0.04084	2.8	0.23	258.0	7.1	236.2	25.8	24.1	287.1	258.0	7.1
4	RVA20064-14	589	15457	1.4	0.29105	2.6	0.04172	1.7	0.64	263.5	4.3	259.4	5.9	222.6	45.9	263.5	4.3
5	RVA20064-76	55	1718	1.3	0.31213	14.5	0.04769	6.9	0.48	300.3	20.4	275.8	35.1	72.8	304.6	300.3	20.4
6	RVA20064-28	184	4534	1.5	0.35594	7.6	0.05206	3.0	0.40	327.1	9.6	309.2	20.2	175.7	162.3	327.1	9.6
7	RVA20064.44A	370	12180	1.2	0.44318	2.6	0.05912	1.5	0.59	370.3	5.5	372.5	8.2	386.2	47.6	370.3	5.5
8	RVA20064-17	697	8938	1.2	0.50792	4.3	0.06511	3.9	0.90	406.6	15.4	417.1	14.8	475.3	41.8	406.6	15.4
9	RVA20064-62	191	6426	1.3	0.54886	3.8	0.07242	1.3	0.33	450.7	5.5	444.3	13.7	410.8	80.3	450.7	5.5
10	RVA20064-3	101	4830	1.3	0.53967	7.0	0.07410	2.4	0.35	460.8	10.9	438.2	24.8	321.2	148.2	460.8	10.9
11	RVA20064-90	67	2148	1.3	0.50119	17.3	0.07585	3.6	0.21	471.3	16.5	412.5	58.7	95.3	403.0	471.3	16.5
12	RVA20064-13	316	13321	14.0	0.59444	5.7	0.07959	2.3	0.41	493.7	11.0	473.7	21.5	378.1	116.8	493.7	11.0
13	RVA20064-40	134	3245	1.6	0.62534	4.1	0.08186	1.8	0.44	507.2	8.8	493.2	15.9	428.6	81.1	507.2	8.8
14	RVA20064-39	78	3823	1.4	0.63712	7.6	0.08326	3.2	0.42	515.5	15.8	500.5	30.0	432.5	153.8	515.5	15.8
15	RVA20064-20	115	4728	0.6	0.62580	7.6	0.08427	2.6	0.34	521.6	12.9	493.5	29.5	365.1	160.2	521.6	12.9
16	RVA20064-45	156	6417	1.3	0.66895	3.4	0.08557	2.1	0.63	529.3	10.8	520.1	13.7	479.7	58.0	529.3	10.8
17	RVA20064-34	421	9683	13.7	0.69749	2.4	0.08792	1.4	0.60	543.2	7.4	537.3	9.9	512.1	41.6	543.2	7.4
18	RVA20064-66	77	4084	2.0	0.66920	9.1	0.08991	2.1	0.23	555.0	11.2	520.2	37.1	370.3	200.1	555.0	11.2
19	RVA20064-88	278	4132	1.1	0.71185	4.3	0.09051	2.9	0.68	558.6	15.4	545.8	18.0	493.0	68.9	558.6	15.4
20	RVA20064-5	103	4934	0.3	0.68431	7.7	0.09087	2.1	0.27	560.7	11.1	529.4	31.7	396.6	166.3	560.7	11.1
21	RVA20064-16	1264	13456	3.1	0.75141	2.3	0.09220	2.0	0.86	568.5	10.7	569.0	10.0	571.0	25.8	568.5	10.7
22	RVA20064-35	564	17728	5.5	0.76243	3.2	0.09266	1.5	0.47	571.2	8.2	575.4	13.9	591.9	60.6	571.2	8.2
23	RVA20064-60	141	5893	1.3	0.80532	8.1	0.10245	4.5	0.56	628.7	27.1	599.8	36.8	492.0	148.8	628.7	27.1
24	RVA20064-41	252	10345	0.8	0.90330	2.1	0.10666	1.0	0.48	653.3	6.2	653.5	10.0	654.0	39.0	653.3	6.2
25	RVA20064-54	95	2765	2.2	0.85162	6.9	0.10669	2.6	0.37	653.5	15.9	625.5	32.2	525.7	140.5	653.5	15.9
26	RVA20064-79	274	20409	1.9	0.93886	2.1	0.11053	1.7	0.79	675.8	10.8	672.3	10.4	660.4	27.6	675.8	10.8
27	RVA20064-83	137	9148	0.9	1.23765	4.3	0.13344	3.8	0.89	807.5	29.1	817.8	24.3	846.0	41.4	807.5	29.1
28	RVA20064-30	149	2030	0.8	1.17821	4.1	0.13418	1.4	0.34	811.6	10.6	790.5	22.6	731.2	81.9	811.6	10.6
29	RVA20064-69	93	5097	1.7	1.24760	6.0	0.13532	4.8	0.80	818.1	36.8	822.3	34.0	833.6	76.3	818.1	36.8
30	RVA20064-29	317	2694	4.2	1.22753	6.6	0.13577	6.0	0.91	820.7	46.3	813.2	36.9	792.8	56.8	820.7	46.3
31	RVA20064-94	1911	14284	4.4	1.41335	4.9	0.14462	3.4	0.70	870.7	28.0	894.6	29.2	953.9	71.7	870.7	28.0
32	RVA20064-73	152	5976	3.0	1.35693	3.6	0.14780	1.6	0.45	888.6	13.6	870.5	21.1	824.8	67.3	888.6	13.6
33	RVA20064-31	55	2102	1.3	1.43403	9.2	0.15828	5.3	0.58	947.2	46.8	903.2	55.0	797.1	157.2	947.2	46.8
34	RVA20064-46	143	9344	3.2	1.53372	2.4	0.15915	1.7	0.70	952.1	15.2	944.0	15.1	925.2	35.9	952.1	15.2
35	RVA20064-63	381	10826	11.2	1.51135	1.7	0.15961	1.0	0.60	954.6	8.9	935.0	10.2	889.1	27.8	954.6	8.9
36	RVA20064-65	94	5823	9.5	1.53913	3.4	0.16108	1.9	0.56	962.8	16.9	946.2	20.9	907.6	57.9	962.8	16.9
37	RVA20064-53	55	1472	1.1	1.52190	6.0	0.16242	2.4	0.39	970.2	21.4	939.2	37.0	867.3	115.3	970.2	21.4
38	RVA20064-4	184	16968	2.0	1.60419	2.5	0.16363	2.1	0.82	976.9	18.7	971.8	15.8	960.4	29.7	976.9	18.7
39	RVA20064-77	264	20608	2.2	1.61927	3.3	0.16505	1.5	0.45	984.8	13.8	977.7	20.9	961.8	60.7	984.8	13.8
40	RVA20064.26A	27	5302	1.4	1.58549	10.2	0.16573	5.2	0.52	988.5	48.1	964.5	63.3	910.2	179.4	988.5	48.1
41	RVA20064-52	155	5353	3.0	1.63091	3.0	0.16734	1.4	0.47	997.5	13.1	982.2	18.8	948.3	54.0	997.5	13.1
42	RVA20064.31A	224	14200	2.0	1.70268	2.0	0.16989	1.0	0.51	1011.5	9.4	1009.5	12.6	1005.2	34.6	1005.2	34.6
43	RVA20064-50	265	10644	2.8	1.67226	3.2	0.17008	1.3	0.40	1012.6	12.0	998.0	20.5	966.3	60.6	1012.6	12.0
44	RVA20064-82	81	6706	0.7	1.68543	2.4	0.17052	1.4	0.58	1015.0	13.1	1003.0	15.3	977.0	39.9	1015.0	13.1
45	RVA20064.11A	90	8544	1.9	1.66371	2.7	0.16481	1.9	0.68	983.4	16.9	994.8	17.4	1019.9	40.9	1019.9	40.9
46	RVA20064.76A	158	12043	3.8	1.70001	5.8	0.16825	3.3	0.57	1002.5	30.9	1008.5	37.2	1021.7	96.7	1021.7	96.7
47	RVA20064-75	116	7278	1.8	1.67253	2.9	0.16542	1.6	0.57	986.8	14.8	998.1	18.1	1023.1	47.5	1023.1	47.5
48	RVA20064-57	256	21218	2.0	1.76343	2.2	0.17439	1.6	0.76	1036.2	15.7	1032.1	14.1	1023.3	28.8	1023.3	28.8
49	RVA20064-89	439	37944	14.2	1.72425	2.8	0.16955	2.6	0.93	1009.6	24.2	1017.6	17.8	1034.8	20.2	1034.8	20.2
50	RVA20064-67	108	9595	3.2	1.78876	3.0	0.17562	1.2	0.41	1043.0	11.9	1041.4	19.7	1037.9	55.7	1037.9	55.7
51	RVA20064-36	150	15276	2.4	1.79377	2.3	0.17596	1.2	0.54	1044.9	12.0	1043.2	15.1	1039.7	39.5	1039.7	39.5
52	RVA20064-104	492	26780	2.1	1.70237	4.2	0.16669	2.9	0.71	993.8	27.1	1009.4	26.7	1043.4	59.5	1043.4	59.5
53	RVA20064-19	114	9811	1.7	1.81498	2.1	0.17771	1.6	0.74	1054.5	15.1	1050.9	13.7	1043.4	28.1	1043.4	28.1
54	RVA20064-18	263	21297	2.9	1.79619	1.8	0.17583	1.4	0.81	1044.2	13.8	1044.1	11.4	1043.9	20.6	1043.9	20.6

Tabla 3. (cont.) Datos analíticos de U-Pb para circones detríticos, obtenidos por LA-MC-ICPMS correspondientes a la muestra RVA (El Alamito, al poniente de Rioverde, S. L. P.).

Análisis	U (ppm)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	U/Th	Relaciones isotópicas					Edades aparentes					Best age (Ma)	± (Ma)		
				<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	± (%)	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	± (%)	error corr.	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	± (Ma)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	± (Ma)	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>207</sup> Pb*			± (Ma)	
55	RVA20064-21	129	10306	1.9	1.86395	5.6	0.18216	5.0	0.90	1078.8	50.0	1068.4	37.1	1047.2	50.3	1047.2	50.3
56	RVA20064.74A	80	4535	3.4	1.80695	2.8	0.17613	1.9	0.66	1045.8	18.0	1048.0	18.6	1052.5	43.3	1052.5	43.3
57	RVA20064-10	126	6261	10.0	1.84602	5.2	0.17937	4.0	0.76	1063.5	38.9	1062.0	34.5	1058.9	68.6	1058.9	68.6
58	RVA20064-92	232	9797	1.5	1.83249	2.5	0.17718	1.0	0.39	1051.6	9.7	1057.2	16.7	1068.8	46.9	1068.8	46.9
59	RVA20064-37	236	22134	4.4	1.78526	2.2	0.17245	1.5	0.70	1025.6	14.4	1040.1	14.1	1070.6	31.1	1070.6	31.1
60	RVA20064-25	280	27296	2.5	1.84558	1.7	0.17798	1.2	0.73	1056.0	11.9	1061.9	11.0	1074.0	22.8	1074.0	22.8
61	RVA20064.80A	235	7099	2.0	2.02891	3.4	0.19356	2.5	0.76	1140.7	26.6	1125.2	22.8	1095.6	43.8	1095.6	43.8
62	RVA20064-59	198	15331	2.4	2.00372	3.1	0.19116	2.4	0.78	1127.6	25.3	1116.8	21.1	1095.7	38.8	1095.7	38.8
63	RVA20064-8	126	10361	1.5	2.01942	2.8	0.19236	1.6	0.56	1134.1	16.4	1122.1	19.0	1098.7	46.3	1098.7	46.3
64	RVA20064-72	542	43018	4.2	1.96712	3.5	0.18722	2.6	0.75	1106.3	26.3	1104.3	23.4	1100.4	46.2	1100.4	46.2
65	RVA20064-27	113	9566	2.1	2.03656	2.4	0.19266	1.3	0.56	1135.8	13.8	1127.8	16.3	1112.5	39.6	1112.5	39.6
66	RVA20064-85	142	10731	2.3	1.90697	2.9	0.18008	1.6	0.55	1067.4	15.5	1083.5	19.1	1116.1	47.8	1116.1	47.8
67	RVA20064-1	175	24952	2.3	1.91771	2.1	0.17950	1.3	0.61	1064.2	12.5	1087.3	13.9	1133.7	32.7	1133.7	32.7
68	RVA20064-71	187	15741	1.8	2.04691	3.0	0.19089	2.2	0.75	1126.2	23.2	1131.3	20.4	1141.0	39.3	1141.0	39.3
69	RVA20064-2	86	10959	1.5	2.06153	2.5	0.19228	1.9	0.76	1133.7	19.6	1136.1	17.0	1140.7	32.3	1140.7	32.3
70	RVA20064-7	73	10346	2.1	2.12107	2.6	0.19755	2.1	0.80	1162.1	22.3	1155.7	18.1	1143.6	31.0	1143.6	31.0
71	RVA20064-42	265	6821	2.0	1.73063	5.7	0.16136	2.9	0.51	964.4	26.0	1020.0	36.4	1141.4	96.7	1141.4	96.7
72	RVA20064-96	196	13743	2.7	2.05923	3.3	0.19108	1.2	0.36	1127.2	12.4	1135.4	22.6	1150.9	61.0	1150.9	61.0
73	RVA20064-22	374	33088	1.4	2.11491	1.8	0.19606	1.4	0.77	1154.1	14.7	1153.7	12.4	1152.8	22.8	1152.8	22.8
74	RVA20064-23	530	40425	2.5	1.98876	5.4	0.18398	5.2	0.95	1088.7	51.9	1111.7	36.8	1157.0	33.1	1157.0	33.1
75	RVA20064-48	180	11846	2.4	2.18036	4.5	0.20151	1.3	0.28	1183.4	13.8	1174.8	31.4	1158.9	85.8	1158.9	85.8
76	RVA20064-87	258	33223	2.8	2.02860	2.0	0.18747	1.3	0.68	1107.7	13.7	1125.1	13.5	1159.0	29.0	1159.0	29.0
77	RVA20064-11	606	38646	2.1	1.84381	3.7	0.17022	3.3	0.87	1013.3	30.7	1061.2	24.6	1161.0	35.9	1161.0	35.9
78	RVA20064-102	150	8142	2.0	2.13221	2.3	0.19670	1.5	0.66	1157.6	15.9	1159.3	15.6	1162.5	33.6	1162.5	33.6
79	RVA20064-15	176	17546	1.7	2.08959	3.4	0.19185	2.8	0.83	1131.4	28.9	1145.4	23.1	1172.0	37.6	1172.0	37.6
80	RVA20064-95	574	45455	3.2	2.19729	2.4	0.20104	2.1	0.85	1180.9	22.3	1180.2	17.0	1178.8	25.7	1178.8	25.7
81	RVA20064-12	257	28126	2.5	2.02727	1.4	0.18440	1.0	0.71	1091.0	10.0	1124.7	9.6	1190.4	19.8	1190.4	19.8
82	RVA20064-55	829	84947	15.4	2.30082	2.1	0.20830	1.3	0.64	1219.8	14.7	1212.5	14.6	1199.7	31.2	1199.7	31.2
83	RVA20064-56	87	10098	2.1	2.27925	4.9	0.20632	2.0	0.42	1209.2	22.5	1205.9	34.6	1199.9	88.0	1199.9	88.0
84	RVA20064-80	191	12819	2.2	2.24478	2.1	0.20252	1.4	0.69	1188.8	15.6	1195.2	14.7	1206.6	29.9	1206.6	29.9
85	RVA20064-78	225	27649	2.7	2.32507	2.9	0.20893	2.7	0.93	1223.1	29.7	1220.0	20.4	1214.4	20.9	1214.4	20.9
86	RVA20064-9	378	33915	2.7	2.39185	3.7	0.21463	3.4	0.94	1253.4	39.2	1240.2	26.1	1217.2	24.0	1217.2	24.0
87	RVA20064-6	88	12892	3.6	2.34358	2.9	0.20936	2.1	0.71	1225.4	23.2	1225.6	20.7	1226.0	40.2	1226.0	40.2
88	RVA20064-32	314	20872	1.2	2.36353	1.9	0.21073	1.6	0.85	1232.7	18.3	1231.7	13.7	1229.8	19.7	1229.8	19.7
89	RVA20064-93	519	37001	1.4	2.34444	2.0	0.20619	1.6	0.79	1208.5	17.8	1225.9	14.5	1256.6	24.5	1256.6	24.5
90	RVA20064-81	196	13325	2.9	2.49824	3.4	0.21797	1.4	0.41	1271.1	16.1	1271.5	24.9	1272.2	61.1	1272.2	61.1
91	RVA20064-44	132	13208	1.5	2.51505	4.7	0.21690	3.8	0.81	1265.4	43.8	1276.4	34.2	1294.8	53.6	1294.8	53.6
92	RVA20064-98	309	18108	2.6	3.49005	3.0	0.26713	1.9	0.64	1526.2	26.2	1525.0	23.7	1523.2	43.2	1523.2	43.2
93	RVA20064-38	69	5524	0.4	3.65067	2.8	0.26670	2.2	0.79	1524.0	29.8	1560.7	22.1	1610.5	31.5	1610.5	31.5
94	RVA20064-99	76	3333	0.7	4.73477	4.3	0.32341	1.0	0.24	1806.3	16.3	1773.4	36.4	1734.8	77.4	1734.8	77.4
95	RVA20064-68	200	3030	0.6	4.93079	4.1	0.31867	3.6	0.87	1783.2	56.3	1807.5	34.9	1835.7	36.5	1835.7	36.5
96	RVA20064-64	265	43918	1.5	12.93290	1.6	0.50225	1.0	0.66	2623.5	22.3	2674.8	14.8	2713.8	19.5	2713.8	19.5
97	RVA20064-43	755	114764	1.2	15.06158	2.3	0.51111	2.1	0.90	2661.4	46.1	2819.1	22.3	2934.0	16.2	2934.0	16.2

la Formación Huayacocotla, principalmente a través de la fauna de amonites reportados por Erben (1956) para la Sierra de Catorce, como *Vermiceras* sp. y *Arnioceras* cf. *Abjectum* Fucini n. subsp., cabiendo aclarar también que la formación Huayacocotla descrita en los estados de Veracruz, Hidalgo y Puebla, correspondería según sus facies a un ambiente marino poco más profundo que el reportado para la Sierra de Catorce y aún que el de El Alamito.

## CONCLUSIONES

La presencia de capas del Jurásico Inferior en el área de la Sierra de Catorce queda demostrada por la edad máxima del depósito, de 212 Ma determinada por geocronología de circones detríticos y una edad mínima (U-Pb, 174.7 Ma) establecida para una roca procedente de la parte superior de la secuencia volcánica que la sobreyace (Barboza-Gudiño *et*

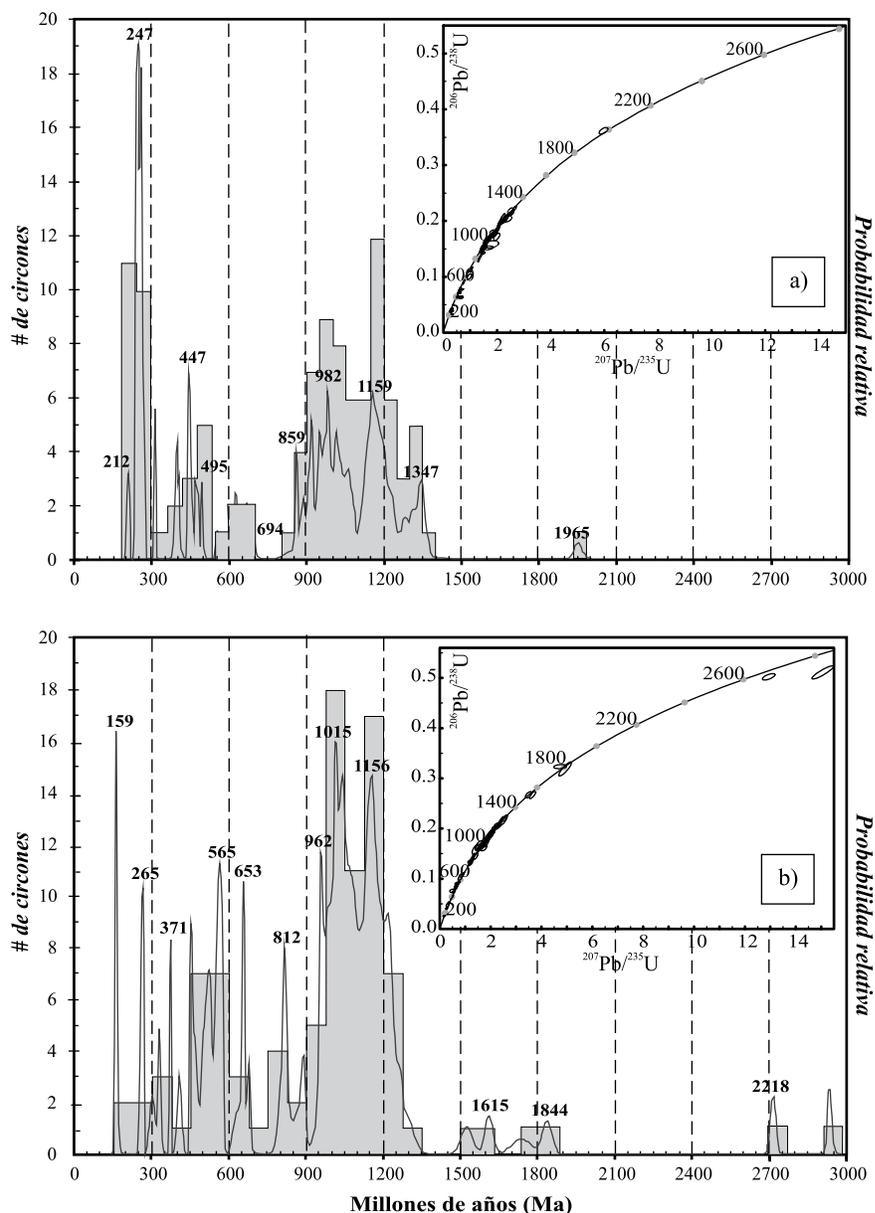


Figura 7. Diagramas de probabilidad relativa e histogramas de circones detríticos de muestras de litarenitas procedentes de los afloramientos del Cañón General en la Sierra de Catorce (A) y El Alamito (B). En los recuadros interiores de cada diagrama se representan los diagramas de concordia de edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  y  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  respectivos, discutidos en el texto.

al., 2004). Por lo tanto, la secuencia originalmente denominada de manera informal como capas Cerro El Mazo puede correlacionarse parcialmente con la secuencia expuesta en el área El Alamito y a la vez, por lo menos de forma parcial con la Formación Huayacocotla.

La litología de litarenitas conglomeráticas canalizadas, observada en la secuencia de la Sierra de Catorce, revela que ésta fue depositada en un ambiente de amplios sistemas de canales fluviales a deltaicos que transportaban fragmentos de plantas, pasando estos depósitos transicionalmente a horizontes y capas de limolitas, correspondientes a un ambiente deltaico dominado por aguas someras e influenciado por las bajas y altas mareas. Un ambiente

marino somero en algunos horizontes es evidenciado por la presencia de concreciones y lentes de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{Fe}(\text{OH})$ , así como glauconita, existentes en las capas de lutitas y limolitas con una sedimentación tipo *flaser*, prueba de que se alcanzaban a depositar algunos carbonatos en aguas relativamente someras, al tiempo del aporte de materiales arcillosos terrígenos que inhiben el depósito más regular de calizas.

En el afloramiento de El Alamito, las litarenitas presentan características similares a las observadas en el afloramiento de la Sierra de Catorce, sin embargo, en la secuencia de El Alamito, los espesores de dichas capas son menores, alcanzando en promedio 15 a 20 cm y escasos



Figura 8. Modelo paleogeográfico y ubicación de las facies marginal a marina de la Sierra de Catorce y del área El Alamito en el estado de San Luis Potosí.

bancos de más de 50 cm, en comparación con los bancos de dimensiones mayores de hasta 2 a 3 metros de espesor que ocurren en la Sierra de Catorce. Por otro lado, las capas de lutitas y limolitas son menos potentes en El Alamito y no contienen las concreciones descritas para la Sierra de Catorce, lo que se interpreta como un cambio hacia una facies de ambiente marino más abierto, por la interstratificación de arenisca-lutita y el aspecto más regular de las capas, además de la fauna reportada.

Los diagramas ternarios de discriminación para procedencia de sedimentos clásticos sustentan una procedencia de un orógeno reciclado y parcialmente un bloque continental. Por otra parte, la procedencia establecida por las poblaciones de circones detríticos revela que las fuentes a partir de las cuales derivaron los circones de ambas localidades, corresponden principalmente con el bloque Grenvilliano, un bloque pan-Africano-Brasiliano y el arco permo-triásico.

Considerando la edad del Jurásico Inferior y la facies marginal a marina somera en algunas capas de esta secuencia, se interpreta su depósito en la margen paleopacífica de México previo, o en parte de manera simultánea, a la apertura del Golfo de México, pero simultáneamente también con el vulcanismo del arco continental del Jurásico Temprano y previo a la formación de los arcos intraoceánicos del occidente del actual territorio mexicano (Terreno Guerrero). En este sentido, las capas estudiadas tendrían una conexión y correlación en cuanto a su edad, ambiente geotectónico

de depósito y parcialmente su facies, con las secuencias del Jurásico Inferior de Guerrero, Puebla, Hidalgo, Veracruz, y Sonora.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen los apoyos recibidos a través de los proyectos de investigación SEP- CONACyT -2003-C02-43966, SEP-CONACyT-52805-F y de la UASLP a través del Fondo de Apoyo a la Investigación C06-FAI-11-33.70 y del Instituto de Geología, que permitieron la realización de la parte analítica sustento del presente estudio. Asimismo el M. C. Gastón Venegas-Rodríguez agradece la beca CONACyT (clave 197865) que le permitió realizar y concluir sus estudios de nivel maestría, siendo este trabajo un concentrado de los resultados de la tesis presentada para la obtención del grado. La realización de los estudios geocronológicos aquí presentados fue posible gracias al apoyo del *LaserChronCenter* de la Universidad de Arizona en Tucson, por lo que se agradece el decidido apoyo logístico y técnico de los Drs. Joaquín Ruiz, George Gehrels, Victor Valencia y Alexander Pullen. La estancia de Rafael Barboza en Arizona fue posible gracias al apoyo del Programa PIFI 3.1 para el desarrollo de cuerpos académicos de la DES-Ingeniería, UASLP, en tanto que la estancia de Gastón Venegas fue posible gracias al apoyo del propio *Laser-ChronCenter* de la Universidad

de Arizona. Finalmente se agradece la revisión sumamente constructiva de los árbitros y editores C. Bartolini, T.F. Lawton y C.M. González-León.

## REFERENCIAS

- Barajas-Nigoche, L.D., 2008, Análisis de deformación en localidades de la secuencia siliciclástica marina del Triásico Superior de la porción occidental del estado de San Luis Potosí: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Posgrado en Geología Aplicada, Tesis de maestría, 88 pp.
- Barboza-Gudiño, J.R., 1989, Geologische Kartierung (1:10000) des Gebietes "Cañón General", Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México –mit besonderer Berücksichtigung des präoberjurasischen Gründgebirges: Technische Universität Clausthal, Diplomarbeit und Kartierung, 107 pp.
- Barboza-Gudiño, J.R., Torres-Hernández, J.R., 1999, Carta Geológico-Minera y Geoquímica Real de Catorce (F14-A24), escala 1:50,000: Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), 1 mapa y reporte técnico.
- Barboza-Gudiño, J.R., Torres-Hernández, J.R., Tristán-González, M., 1999, Tectonic Setting of pre-Oxfordian units from Central and north-eastern Mexico, *en* Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T. (eds.), Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Boulder, CO, Geological Society of America, Special paper 340, 197-210.
- Barboza-Gudiño, J.R., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macías, P.R., 2004, Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21(3), 299-319.
- Barboza-Gudiño, J.R., Orozco-Esquivel, 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, 49-63.
- 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, AAPG Memoir, 79, 427-461.
- Blickwede, J.F., 1981, Stratigraphy and petrology of Triassic(?) "Nazas Formation", Sierra de San Julian, Zacatecas, Mexico: New Orleans, Louisiana, University of New Orleans, M.S. thesis, 100 pp.
- Cantú-Chapa, A., 2001, Mexico as the western margin of Pangea based on biogeographic evidence from the Permian to the Lower Jurassic, *en* Bartolini, C., Buffler, R.T., Cantú-Chapa, A. (eds.), The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins and petroleum systems: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, AAPG Memoir 75, 1-27.
- Dickinson, W. R., 1985, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstone, *en* Zuffa, G. (ed.), Provenance of Arenites: Dordrecht, Netherlands, Reidel Publishing Company, 333-361.
- Dickinson, W.R., Lawton, T.F., 2001, Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico: Geological Society of America Bulletin, 113, 1142-1160.
- Erben, H.K., 1956, El Jurásico Inferior de México y sus Amonitas, *en* XX Congreso Geológico Internacional: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, contribución, 393 pp.
- Geological Society of America, 1999, GSA Geologic Time Scale: The Geological Society of America, <<http://www.geosociety.org/science/timescale/>>.
- Heim, A., 1940, The front ranges of Sierra Madre Oriental, México, from Ciudad Victoria to Tamazunchale: *Eclogae Geologicae Helveticae*, 33(2), 313-352.
- Hoppe, M., Barboza-Gudiño, J.R., Schulz, H.M., 2002, Late Triassic submarine fan in northwestern San Luis Potosí, México –lithology, facies and diagenesis: *Neues Jahrbuch Geologie und Paläontologie*, 12, 705-724.
- Imlay, R.W., Cepeda, E., Álvarez, M., Díaz-González, T.E., 1948, Stratigraphic relations of certain Jurassic formations in eastern México: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist*, 32(9), 1750-1761.
- Jones, N.M., 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* Jaques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 301, 179-190.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Aguillón-Robles, A., Jiménez-López, L.S., 1989, Cartografía Geológica 1:50,000 de las hojas El Refugio y Mineral El Realito, Estados de San Luis Potosí y Guanajuato: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto Técnico No. 112, 76 pp, 4 planos.
- Servicio Geológico Mexicano, Arenisca Alamitos [en línea], *en* Léxico Estratigráfico de México: Servicio Geológico Mexicano, <<http://portal.sgm.gob.mx/lexico/Arenisca-Alamitos.pdf>>, consulta: 24 marzo 2009.
- López, R., Cameron, K.L., Jones, N.W., 2001, Evidence for Paleoproterozoic, Grenvillian and Pan-African age Gondwanan crust beneath northeastern Mexico: *Precambrian Research* 107(3), 195-214.
- López-Infanzón, M., 1986, Estudio petrogenético de las rocas ígneas en las Formaciones Huizachal y Nazas: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 47(2), 1-42.
- Maher, D.J., Jones, N.W., McKee, J.W., Anderson, T.H., 1991, Volcanic rocks at Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: A new piece for the Jurassic-arc puzzle: *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 23(5), A133.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno-García, E., 1995, Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic: *Geology*, 23(12), 1127-1130.
- Pantoja-Alor, J., 1972, La Formación Nazas del levantamiento de Villa Juárez, Estado de Durango, *en* Segunda Convención Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana, Memorias, 25-31.
- Silva-Romo, G., Arellano-Gil, J., Mendoza-Rosales, C., Nieto-Obregón, J., 2000, A submarine fan in the Mesa Central, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 429-442.
- Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P.J., Grajales J.M., 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.

Manuscrito recibido: Mayo 30, 2008

Manuscrito corregido recibido: Abril 1, 2009

Manuscrito aceptado: Abril 5, 2009