

AMBIENTES SEDIMENTARIOS EN LA SECCIÓN ARROYO COLORADO, FORMACIÓN TEPETATE (EOCENO TEMPRANO-MEDIO), BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Jorge Ledesma-Vázquez¹, Gabriel Rendón-Márquez² y Ana Luisa Carreño³

¹ Área de Geología, UABC

A.P. 453, Ensenada, B.C. 22800, México

² Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada B.C., 22860, México

³ Instituto de Geología, UNAM

Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510, D.F., México

RESUMEN

Se presenta un estudio sedimentológico y petrográfico en una secuencia sedimentaria de origen marino de 55 m de espesor que aflora en Arroyo Colorado, B.C.S., perteneciente a la Formación Tepetate, con la intención de determinar el origen del depósito y aportar elementos litoestratigráficos que permitan posteriormente establecer formalmente la sección tipo de la misma. La litología, estructuras sedimentarias, los microfósiles y la icnofacies sugieren un ciclo regresivo - transgresivo - regresivo en un mar somero hasta el límite exterior de la plataforma a una profundidad no mayor de 150 m. La parte media de la sección se asocia a eventos de tormenta caracterizados por la estratificación cruzada hamacada y hacia la cima por flujos gravitacionales no canalizados. El análisis modal de las areniscas sugiere la presencia de un basamento local levantado o de un arco magmático fuertemente disectado. La presencia de facies turbidíticas distales en la localidad de Las Pocitas, al ENE del área de estudio, sugiere que la fuente de sedimentos se localizaba al occidente de Arroyo Colorado y, por lo tanto, que el transporte sedimentario se realizó en dirección W-E. Lo anterior, aunado a la icnofacies de Cruziana documentadas en la secuencia, apoya la interpretación de un sistema turbidítico Tipo I que proponen varios autores y además, permite establecer los límites laterales de la secuencia de Arroyo Colorado.

INTRODUCCIÓN

La secuencia que aflora en los alrededores del rancho Tepetate, B.C.S., designada por Heim (1922) como Formación Tepetate, fue descrita como una unidad ligeramente plegada, con una inclinación de 4° hacia el NE. La formación está constituida, según describió el autor, por arenisca suave verdosa, arenisca dura, gris, bien estratificada y lutita verde a violeta, con abundantes macroforaminíferos. Heim (1922) estimó un espesor de 1,000 m para esa unidad y, por la presencia de *Orthophragmina pratti*, sugirió que la secuencia se depositó durante el Eoceno en un ambiente nerítico.

Heim (1922) no designó una localidad tipo para esta unidad. Sin embargo, otros autores (Beal, 1948; Mina-Uhink, 1957; Knappe, 1974 en Minch y Leslie, 1979; Lozano-Romen, 1975; Fulwider, 1976; Minch y Leslie, 1979; Galli-Olivier *et al.*, 1986; López-Ferreira *et al.*, 1991; Squires y Demettrion, 1991, 1994; Vázquez-García *et al.*, 1995; Vázquez-García, 1996 y Perrilliat, 1996) se han referido a los cantiles que afloran en las inmediaciones del rancho El Tepetate, localizado a 80 km al sur de Ciudad Constitución (Figura 1), como la localidad tipo de la Formación Tepetate.

El análisis de los resultados presentados por estos autores sugiere que el depósito de la Formación Tepetate abarca

del Cretácico Superior al Eoceno medio, en una variedad amplia de facies que incluye desde depósitos marinos someros hasta turbidíticos.

Con la intención de formalizar la designación de esta secuencia como localidad tipo, Carreño *et al.* (1999), realizaron un estudio litoestratigráfico y micropaleontológico de la misma, concluyendo que la unidad se depositó durante el Eoceno inferior tardío y el Eoceno medio temprano, en un ambiente de plataforma interna y externa (0-150 m) y, usando el análisis de los resultados consignados por otros autores, señalaron que esta secuencia no es representativa de la Formación Tepetate.

Por lo anterior, se ha iniciado un proyecto que pretende documentar, litoestratigráficamente, secuencias diferentes que afloran en la región entre el km 75 de la Carretera Transpeninsular 1 hasta las inmediaciones de Ciudad Constitución, que pertenecen a la Formación Tepetate, con el objetivo de revisar o redefinir esta unidad, de acuerdo al Código Estratigráfico Norteamericano (1983). Para ello, y partiendo de la heterogeneidad de facies que caracteriza a la Formación Tepetate (Carreño *et al.*, 1999). Este trabajo documenta la historia geológica de la secuencia que aflora en Arroyo Colorado, con la intención de establecer de modo confiable los límites laterales de la Formación Tepetate y su relaciones de contacto.

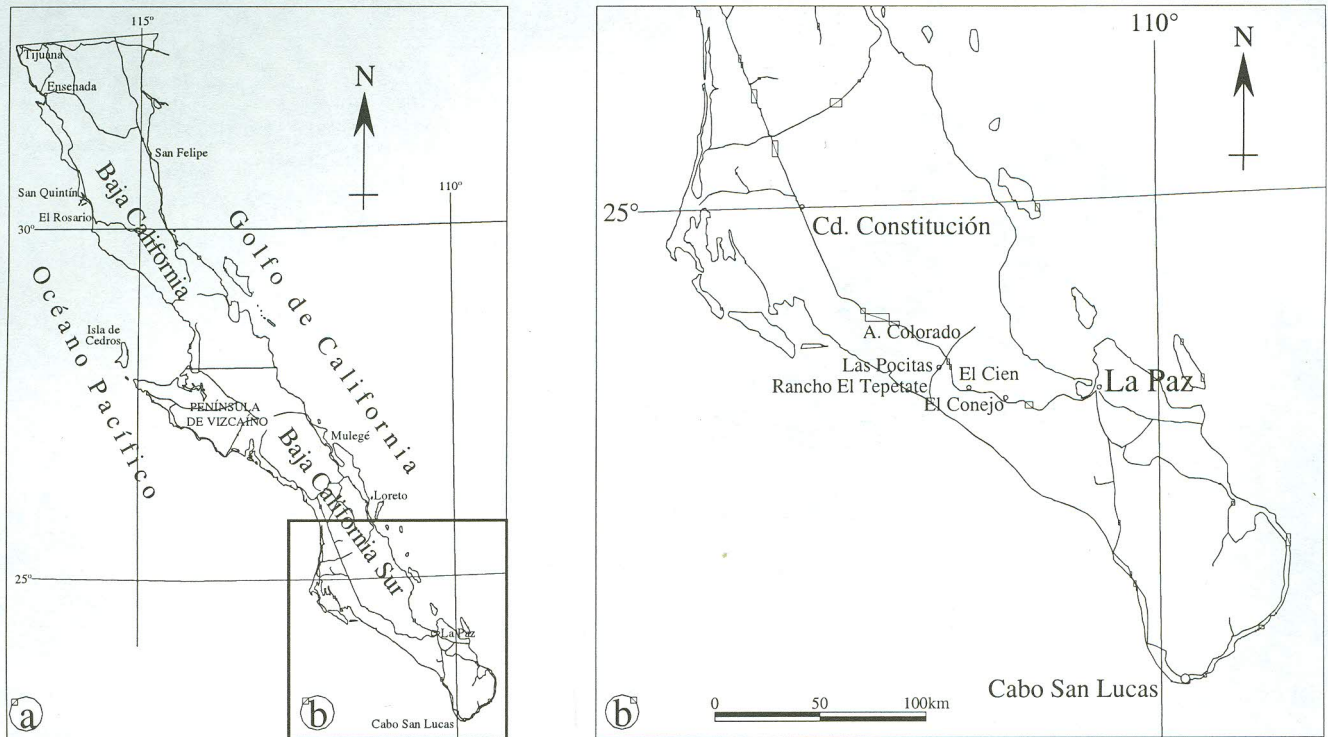


Figura 1. Localización del área de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

La columna estratigráfica de Arroyo Colorado, de 55 metros de espesor y echado entre 3 y 6   hacia el E, se localiza en el lecho del Arroyo Colorado (24  23'N y 111  08'W), en las inmediaciones del rancho El Tepetate, Baja California Sur (Figura 1). Dicha columna se subdividió en siete estratos (Figura 2; Tepe 1-7), diferenciados por contactos principalmente erosivos. El contacto inferior y superior de la columna no se describen, ya que no son claras sus relaciones en el campo.

Con la intención de establecer las relaciones laterales de la secuencia de Arroyo Colorado, se midió una sección localizada a 1 km al oriente-noriente del poblado de Las Pocitas, B.C.S. (Figura 1). La secuencia Las Pocitas, de 30 m de espesor, está constituida por flujos turbidíticos de grano fino, tamaño arcilla, verdosos, bien estratificados, con estratos que varían de 30 a 60 cm de espesor y con una dirección general del echado de 6   hacia el N. En dirección E-W se observan cuatro abanicos turbidíticos en sección perpendicular al flujo, con orientación NNW y, por lo menos en uno de ellos, es posible observar su parte basal.

El estudio petrográfico de la fracción arenosa sólo se llevó a cabo en la localidad de Arroyo Colorado. Este análisis se efectuó con la intención de determinar la proveniencia de los flujos sedimentarios, para lo que se utilizó el método de Gazzi-

Dickinson (*en* Ingersoll *et al.*, 1984) y los resultados fueron graficados en un diagrama ternario QFL y en un diagrama LsLvLm (Folk, 1970). El estudio micropaleontológico de la sección Las Pocitas se llevó a cabo para establecer su edad, siguiendo para ello la técnica estándar para microfósiles calcáreos (Neumann, 1967).

RESULTADOS

La descripción litoestratigráfica de la sección en Arroyo Colorado se encuentra ilustrada en la Figura 2. Los resultados del análisis modal de las areniscas (Tepe 1-2 y 4 a 7) se graficaron en un diagrama ternario QFL (cuarzo, feldespato y l  ticos) siguiendo el criterio de Folk (1970). Tepe 1 corresponde a una felsparenita lítica, Tepe 2 a una litoarenita y Tepe 4 a Tepe 7 como sublitoarenitas con un contenido de cuarzo alto (Tabla 1).

Los resultados graficados en el diagrama ternario LsLvLm (l  ticos sedimentarios, l  ticos volcánicos y l  ticos metamórficos) indican, de acuerdo con Folk *et al.* (1974), que Tepe 1 corresponde a una sedarenita con contenido alto de l  ticos sedimentarios, mientras que Tepe 2 y Tepe 4 a Tepe 7 se clasifican como filoarenitas con un contenido alto de l  ticos metamórficos. Con base en los valores de cuarzo, feldespato y fragmentos l  ticos de origen metamórfico, se puede inferir que los sedimentos provienen de un basamento granítico-metamórfico (Tabla 2, Figuras 4 y 5)

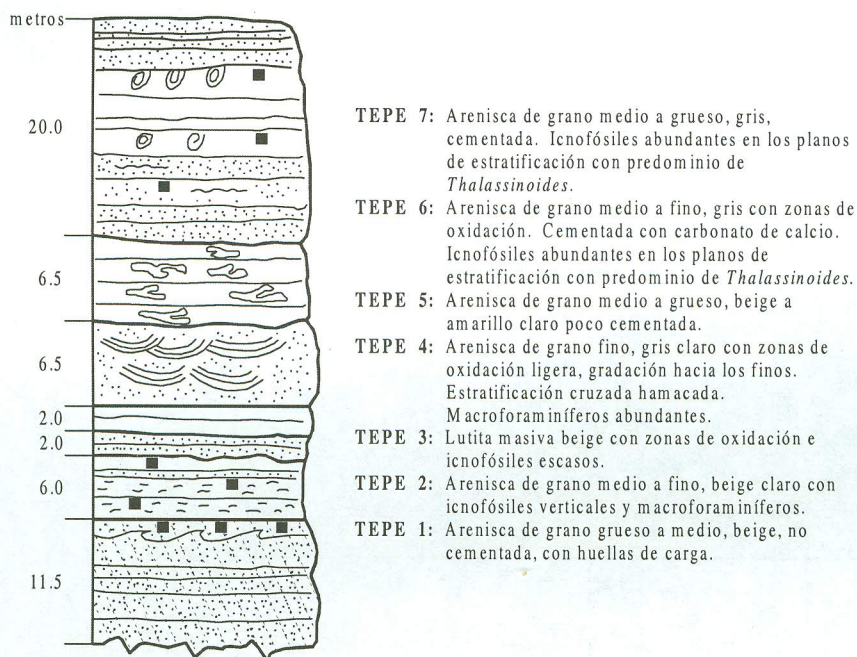


Figura 2. Columna estratigráfica y descripción de la sección de Arroyo Colorado.

Estos resultados, de acuerdo con Dickinson (1984), sugieren la presencia de un basamento local levantado o de un arco magmático fuertemente disectado. En el área de estudio no existen elementos que indiquen la dirección de transporte; sin embargo, es posible identificar la presencia de flujos detríticos o turbidíticos con una orientación general S 50° E. Hacia el este-noreste de Arroyo Colorado, aflora la secuencia denominada Las Pocitas (Figura 1). Se interpreta que esta unidad representa las fases distales de un abanico turbidítico, por lo que se infiere que este basamento debió encontrarse al Occidente de Arroyo Colorado.

Los microfósiles colectados en esta sección se encuentran fragmentados y con claras evidencias de transporte. Los foraminíferos bentónicos están representados por especies robustas de los géneros *Amphistegina*, *Cibicidoides*, *Eponides* y *Discorbis*, característicos de un ambiente marino somero de plataforma interna. Un elemento común dentro de la población

de foraminíferos es la presencia constante de especies de *Gyroidina*, interpretadas como la fauna *in situ*, cuya paleobatimetría se sitúa, por lo menos, en el dominio batial superior. Los ostrácodos están caracterizados por la abundancia del género *Krithe* y *Parakrithe*, elementos que se asocian a un ambiente batial y/o a la influencia de corrientes frías debido a su carácter criófilo.

Ninguna de las cuatro muestras colectadas en esta localidad contiene foraminíferos planctónicos índice que permitan establecer con confianza la edad de esta secuencia. Los especímenes corresponden a formas fragmentadas del género *Acarinina*, muy probablemente de la especie *A. broedermanni*, cuyo alcance estratigráfico, de acuerdo con Toumarkine y Luterbacher (1985), va de la biozona de *Acarinina pentacamerata* (Eoceno inferior tardío) a la biozona de *Morozovella lehneri* (Eoceno medio temprano-medio), lo cual es consistente con la edad establecida para la secuencia de Arroyo Colorado.

Tabla 1. Descripción petrográfica de las muestras en la secuencia de Arroyo Colorado, B.C.S.

TEPE 7	Cuarzo monocristalino (60%), anguloso a subanguloso. Feldespato anguloso a subanguloso (10%), la mayoría maclados. Biotita acicula abundante, orientada preferencialmente. Matriz de carbonato de calcio (30%). Fragmentos escasos de organismos y minerales opacos.	SUBLITOARENITA
TEPE 6	Cuarzo monocristalino (60%), anguloso a subanguloso. Cuarzo policristalino ocasional. Feldespato anguloso o subanguloso (10%) maclado. Biotita acicular orientada preferencialmente. Matriz de carbonato de calcio (30%). Fragmentos abundantes de gasterópodos.	SUBLITOARENITA
TEPE 5	Cuarzo monocristalino (75%), anguloso a subanguloso. Feldespato (15%) anguloso a subanguloso y la mayoría maclados. Fragmentos volcánicos félsicos. Biotita acicular abundante, orientada preferencialmente. Foraminíferos bentónicos y restos de gasterópodos escasos. Matriz de carbonato de calcio. Minerales opacos escasos.	SUBLITOARENITA
TEPE 4	Cuarzo monocristalino (60%), subredondeados a subanguloso. Feldespato (10%), subanguloso a anguloso. Biotita en hojuelas, verde olivo o café claro (20%). Matriz de Carbonato de calcio. No se observan restos de organismos.	SUBLITOARENITA
TEPE 3	Microcristales de cuarzo angulosos y abundantes. Microcristales de carbonato de calcio. Foraminíferos planctónicos abundantes, algunos totalmente reemplazados por óxidos de hierro (¿hematita?).	LUTITA
TEPE 2	Cuarzo monocristalino anguloso y subanguloso (60%). Cuarzo policristalino y feldespato escaso.	LITOARENITA
TEPE 1	Cuarzo monocristalino anguloso y subanguloso (60%) y cuarzo policristalino y feldespato escaso.	FELSPARENITA LÍTICA

Tabla 2 Resultados del conteo de granos por el método Grassi-Dickinson (in Ingersoll *et al.*, 1984)

MUESTRA	TEPE 1	TEPE 2	TEPE 4	TEPE 5	TEPE 6	TEPE 7
Qm	146	116	167	196	149	165
Qp	12	20	5	5	11	15
Total Feld.	43	43	26	23	49	34
Lv	1	3	0	1	0	0
Lm	0	42	5	13	6	7
Ls	7	19	3	1	6	5
Pesados	74	43	88	55	69	61
Opacos	17	14	6	6	10	13
Total	300	300	300	300	300	300
Qm	48.7	38.7	55.7	65.3	49.7	55.0
Qp	4.0	6.7	1.7	1.7	3.7	5.0
Total Feld.	14.3	14.3	8.7	7.7	16.3	11.3
Lv	0.3	1.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Lm	0.0	14.0	1.7	4.3	2.0	2.3
Ls	2.3	6.3	1.0	0.3	2.0	1.7
Pesados	24.7	14.3	29.3	18.3	23.0	20.3
Opacos	5.7	4.7	2.0	2.0	3.3	4.3
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	5.3	45.4	57.4	67.0	53.4	60.0
Total Feld.	4.8	4.8	2.9	2.6	5.4	3.8
Total Líticos	2.6	21.3	2.7	4.9	4.0	4.0
Total	12.6	71.5	63.0	74.5	62.8	67.8
Total Qz	41.8	63.5	91.1	89.9	85.0	88.5
Total Feld.	37.8	6.7	4.6	3.4	8.7	5.6
Total Líticos	20.6	29.8	4.3	6.6	6.4	5.9
Total	100.3	100.0	100.0	100.0	100.1	100.0
Lv	0.3	1.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Lm	0.0	14.0	1.7	4.3	2.0	2.3
Ls	2.3	6.3	1.0	0.3	2.0	1.7
Total	2.6	21.3	2.7	4.9	4.0	4.0
Lv	11.5	4.7	0.0	6.1	0.0	0.0
Lm	0.0	65.7	63.0	87.8	50.0	57.5
Ls	88.5	29.6	37.0	6.1	50.0	42.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con Carreño *et al.* (1999), la sección de Arroyo Colorado se depositó durante el Eoceno inferior tardío y el Eoceno medio temprano. La microfauna y la presencia de areniscas con estratificación cruzada de bajo ángulo, sugieren un ambiente somero, en el límite interno de la plataforma continental. Esta interpretación es reforzada por Ledesma *et al.* (1998) quienes, de manera preliminar, infieren que la presencia de arenisca con estratificación cruzada de ángulo bajo corresponde a un ambiente de sedimentación marino somero, en el límite interno de la plataforma continental, mientras que la arenisca limosa interdigitada, es interpretada como depósito turbidítico o flujo gravitacional del Tipo I de Mutti (1984) en un mar abierto que incluye erosión submarina de escala amplia y arenisca lobulada de estratificación gruesa en cuerpos alargados no canalizados (Figura 3). De acuerdo con las estructuras primarias y las icnofacies, Carreño *et al.* (1998) sugieren, que esta secuencia corresponde a depósitos turbidíticos o flujos gravitacionales y a eventos de tormenta.

Ledesma *et al.* (1988) interpretaron la muestra Tepe 5 que corresponde a una arenisca con estratificación cruzada acunada como producto de eventos de tormenta y consideraron que refleja una variación en el nivel del mar. Ambos autores (Ledesma *et al.*, 1988 y Carreño *et al.*, 1999) coinciden en señalar que la presencia de *Thalassinoides* es indicativa de la icnofacies denominada Cruziana (Bromley, 1996), misma que

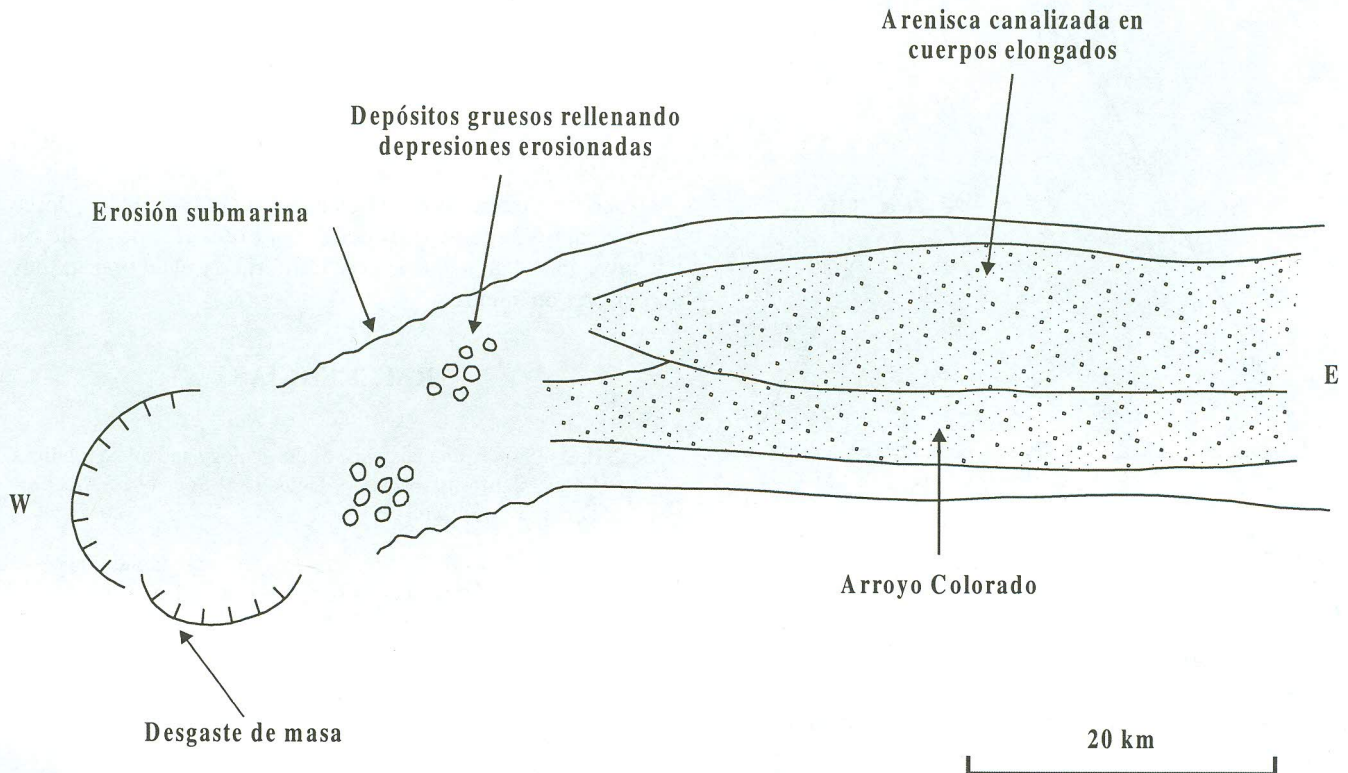


Figura 3. Modelo propuesto para el emplazamiento de las unidades sedimentarias presentes en Arroyo Colorado, B.C.S. Modificado de Mutti (1985).

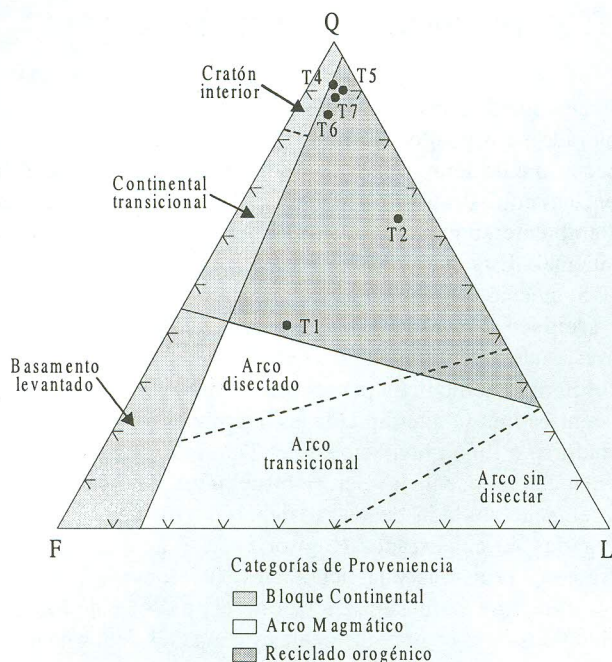


Figura 4. Gráfico QFL de las areniscas de la sección de Arroyo Colorado, B.C.S., analizadas por el método de Gazzi-Dickinson (en Ingersoll *et al.*, 1984) T₁ (muestra Tepe 1, 2 y 4-7).

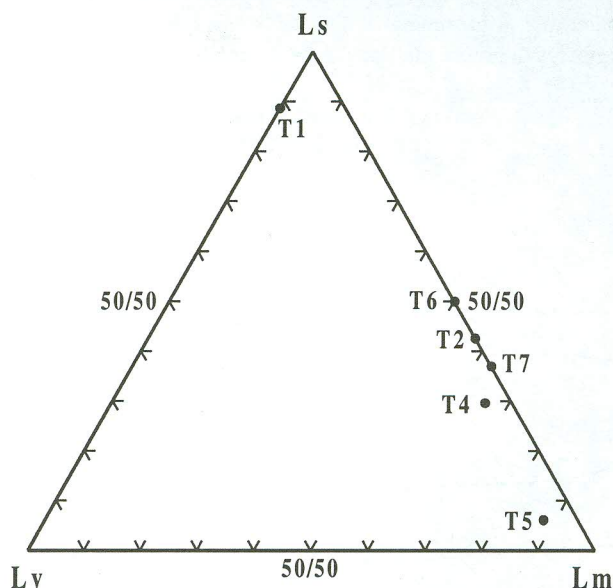


Figura 5. Gráfico LsLvLm de las areniscas de la sección de Arroyo Colorado, B.C.S., analizadas por el método de Gazzi-Dickinson (en Ingersoll *et al.*, 1984) T₁ (muestra Tepe 1, 2 y 4-7).

caracteriza el área comprendida entre la zona intermareal, hasta la base de la ola de tormenta y, cuya presencia, se asocia a una actividad biológica entre cada evento de flujo en condiciones de energía baja.

Los resultados del estudio petrográfico apoyan las interpretaciones previas y, junto con el análisis de proveniencia,

sugieren, a partir de los valores cuarzo-feldespato-líticos, que la roca fuente de los sedimentos es de origen metamórfico, probablemente asociados a un basamento local levantado, o a un arco magmático fuertemente disectado que debió encontrarse al W de Arroyo Colorado.

Esta interpretación parece contradecir los resultados de Vázquez-García (1996) quien, basado en el estudio petrográfico de una secuencia de la Formación Tepetate que aflora en la localidad de El Conejo (localizada en los alrededores del km 75 de la carretera Transpeninsular 1, Figura 1) establece, con base en la presencia de feldespato y plagioclasa euhedral a subeuhedral, que los sedimentos de la Formación Tepetate tienen una fuente de origen andesítica, riolítica y piroclástica, provenientes de la Sierra Madre Occidental.

Los resultados petrográficos presentados aquí junto con los resultados de Ledesma *et al.* (1998) y Carreño *et al.* (1999), permiten proponer una dirección de transporte de los sedimentos hacia el oriente para la región comprendida de Arroyo Colorado a Las Pocitas. Se interpreta, además, la presencia de un alto batimétrico asociado a la fuente de sedimentos.

Finalmente, el presente trabajo permite establecer de manera confiable los límites laterales para la secuencia de Arroyo Colorado y junto con los trabajos previos, proporciona bases para establecer en trabajos subsecuentes una columna litoestratigráfica representativa de toda la unidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por la DGAPA-Proyecto número INI-102995, por la Dirección General de Intercambio Académico UABCS-UNAM. Jorge Ledesma-Vázquez agradece también el apoyo de la Universidad Autónoma de Baja California. y el arbitraje de dos revisores anónimos.

REFERENCIAS

- Beal, H.C., 1948, Reconnaissance of the geology and oil possibilities of Baja California, México, Geological Society of America, Memoir 31: 1-138 p.
- Bromley, R.G., 1996, Trace Fossils; biology, taphonomy and applications, Chapman and Hall, London, 361 p.
- Carreño, A.L., Ledesma-Vázquez, J. y Guerrero-Arenas, R., 1999, Biostratigrafía e historia paleodeposicional de la Formación Tepetate en Arroyo Colorado (Eoceno medio-temprano), Baja California Sur, México, Ciencias Marinas (aceptado)
- Dickinson, W.R., 1984, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. in Zuffa, G.G. (eds.), Provenance of Arenites. D. Riedek Publishing Company. NATO ASI Series, C. Mathematical and Physical Science, v. 148. 333-361.

- Folk, R.L., 1974, Petrology of sedimentary Rocks: Hemphill, Austin, Texas. 182 p.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. and Lewis, D.W., 1970, Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand: New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 13: 937-968.
- Fulwider, W. R., 1976, Biostratigraphy of the Tepetate Formation, Baja California Sur: California, University of Southern California, Master in Sciences Thesis, 1-111. (unpublished).
- Galli-Olivier, C., Márquez-Enríquez, T.E., Reyes-Sarabia, J.A. y Rosas-Cortés, C., 1986, Estructuras sedimentarias primarias y litofacies de corrientes densas de un paleoambiente de talud, El Conejo, Baja California Sur, México: Ciencias Marinas, 12: 7-15.
- Heim, A., 1922, Notes on the Tertiary of Southern Lower California: Geological Magazine, 59: 529-547.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.D., Grimm, J. P. and Sares, S.W., 1984, The effects of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method: Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 54, N° 1, 103-116.
- Ledesma-Vázquez, J., Rendón-Marquéz, G. y Carreño, A.L., 1998, Caracterización de ambientes sedimentarios en la Formación Tepetate: en Alaniz-Álvarez, S., Ferrari, L. y Nieto-Samaniego, A.F. (eds.). Primera Reunión en Ciencias de la Tierra, 21-25 Septiembre, 1998, Cd. de México, Soc. Geol. Mex.; Soc. Mex. Geól. Petról.; Soc. Mex. Geomorfología; Soc. Mex. Mineralogía, p. 99, libro de resúmenes.
- Lozano-Romen, F., 1975, Evaluación petrolífera de la Península de Baja California, México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 27: 1-329.
- López-Ferreira, C., Martínez-Jiménez, A., Rojas-Soriano, H., Sevilla-Unda, V. y Vázquez-García, A., 1991, Reconocimiento geológico en el área de San Hilario, B.C.S., de la Formación Tepetate, Sociedad Geológica Peninsular, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Primera Reunión Internacional sobre Geología de la Península de Baja California, La Paz, Baja California Sur, Mexico, p. 46.
- Mina-Uhink, F., 1957, Bosquejo geológico del territorio sur de la Baja California: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 9: 188-192.
- Minch, J. and Leslie, T.A., 1979, Geologic Road Log, La Paz to Tijuana, in P. L. Abbott and G. Gastil, (eds.). Baja California Geology, field guides and papers, San Diego State University, San Diego, 159-189 pp.
- Mutti, E., 1985, Turbidite systems and their relations to depositional sequences, en Zuffa, G.G. (eds.), Provenance of Arenites. D. Riedek Publishing Company. NATO ASI Series, C. Mathematical and Physical Science, v. 148, p. 65-93.
- Neumann, M., 1967, Manuel de Micropaléontologie des Foraminifères. Gauthier-Villars, Paris, 297 pp.
- Perrilliat, M.C., 1996, Occurrence of the Tethyan Gastropods *Campanile* y *Gisortia* in the Lower Eocene Part of the Tepetate Formation, Baja California Sur, México: The Veliger, 39: 178-183.
- Squires, R.L. and Demetron, R.A., 1991, Early Eocene macrofaunal comparison between the Tepetate and Bateque Formation, Baja California Sur, Mexico: Geological Society of America, Annual Meeting 23, Program with Abstracts, p. 124.
- Squires, R.L. and Demetron, R.A., 1994, A new species of the Oligopygoid Echinid *Haimea* from the lower Eocene of Baja California Sur, Mexico: Journal of Paleontology, 68: 846-851.
- Toumarkine, M. and Luterbacher, H., 1985, Paleocene and Eocene planktic foraminifera, en Bolli, H.M., Saunders, J.B. and K. Perch-Nielsen (eds.), Plankton Stratigraphy: Cambridge University Press, Great Britain, 87-154.
- Vázquez-García, A., 1996, Litología y ambientes de depósito de la Formación Tepetate en el Arroyo El Conejo, Baja California Sur, México, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 1-72.
- Vázquez-García, A., Schwennicke, T. y Sevilla-Unda, V., 1995, Estudio preliminar sedimentológico de la Formación Tepetate en el Arroyo El Conejo, Baja California Sur, México: Tercera Reunión Internacional sobre Geología de la Península de Baja California, La Paz, Baja California Sur, Mexico, p. 212 (abstract).