

Evolución térmica de la cuenca de Sabinas NE de México, a partir del estudio de inclusiones fluidas en cuerpos estratoligados.

Eduardo González-Partida¹, Antoni Camprubi², Antonin Richard³, Carles Canet⁴, Pura Alfonso⁵, Juan Antonio Caballero-Martínez¹, Francisco González-Sánchez¹

¹Grupo de Geofluidos, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. cp. 04510, ²Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. cp. 04510, ³UMR G2R 7566 et CREGU, Université Henri Poincaré, Nancy I, BP 23, 54501 Vandoeuvre les Nancy Cedex, Francia, ⁴Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. cp. 04510, ⁵Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Minerals, Universitat Politècnica de Catalunya, Avinguda Bases de Manresa 61-73, 08242, Manresa, Catalunya, España.

RESUMEN.

En la cuenca de Sabinas la Orogenia Larámide detonó el flujo de fluidos asociado a las zonas más profundas de la cuenca, iniciándose así la acumulación de yacimientos estratoligados en el Noreste de México, los cuales se acumularon preferencialmente en los bordes de las plataformas que limitan dicha cuenca. Las condiciones de temperatura, composición y presión de los fluidos transportadores y mineralizantes han quedado registradas en minerales neoformados como la celestina, barita, fluorita, esfalerita, barita, dolomita y calcita.

Por medio de la microtermometría de inclusiones fluidas las temperaturas de fusión final (Tff) en los distintos yacimientos estratoligados de la cuenca de Sabinas indican salinidades bajas a medias y temperaturas de homogeneización (Th) bajas a moderadas. Así las inclusiones fluidas relacionadas con yacimientos estratiformes de cobre se caracterizan por contener un fluido cálcico, presentando una Th = 149° a 152°C y una salinidad promedio de 22 wt.% CaCl₂. Los mantos de plomo+zinc presentan salinidades entre 7 y 22 wt.% NaCl equiv y Th de 75°C a 225°C; los mantos de barita presentan una salmuera clorurada sódica y cálcica con predominio de esta última en un rango de 1 a 2 wt.% NaCl equiv y de 8 a 24 wt.% CaCl₂, en un rango de Th entre 50° y 155°C; los cuerpos de celestina presentan salinidades de 1 a 12 wt.% NaCl equiv y Th de 70° a 165°C; los mantos y brechas de fluorita presentan salinidades de 6 a 14 wt.% NaCl equiv y Th de 50° a 159°C, y presentan inclusiones fluidas con hidrocarburos.

La relación Cl/Br de las salmueras atrapadas en las inclusiones fluidas muestra una tendencia compatible con la evaporación del agua de mar y un proceso de dilución, muy probablemente debido a la interacción con aguas meteóricas. Por otro lado, las relaciones Cl/Br vs. Na/Cl y Cl/Br vs. K/Cl muestran una fuerte interacción agua/roca. Se concluye que los fluidos con alta salinidad y temperaturas superiores a los 210°C y presurizados (> 400 bars) registran una caída de presión y temperatura, iniciándose la precipitación de cuerpos estratiformes de cobre, barita ± zinc/plomo, celestina y, finalmente, de fluorita. Se determina un enfriamiento desde posiciones depocéntricas en la cuenca hacia los bordes de las plataformas de al menos 100°C, y una caída de presión al menos de 300 bar, con una evidente dilución de la salmuera cálcica inicial debido posiblemente a su interacción con aguas meteóricas.

INTRODUCCION.

En el entendimiento de la evolución térmica de una cuenca se han utilizado herramientas convencionales como el estudio de minerales de neoformación y de la materia orgánica (Eguiluz de Antuñano 2001 y 2007), de isótopos estables y radioactivos (Pagel et al., 1997, Gray et al., 2001, Ferket 2004), así como otros métodos que comprenden la reflectancia de la vitrinita (Piedad Sanchez 2005), estudio detallado de las arcillas, trazas de fisión en apatitos y Microtermometría de inclusiones fluidas (González-Partida E. et al., 2002, 2003, 2008^a, 2008^b, González -Sánchez et al., 2007, 2008). Estas técnicas han sido utilizadas en cuencas como la de Paris (Pagel et al., 1997) y en la de Parras, la Popa y Tampico-Misantla (Gray et al., 2001, Ferket 2004).

La presencia de fluidos en una cuenca, es una característica inherente y un factor esencial en su evolución, ya que estos son los responsables del transporte de los constituyentes químicos y dispersión de la temperatura a través de la cuenca, al mismo tiempo que interactúan con los diferentes estratos rocosos que

atraviesan en el transcurso de su migración. La interacción agua/roca en ambientes carbonatados y evaporíticos tiene especial interés debido a que grandes extensiones de estas rocas son formadas durante la evolución de una cuenca. Las rocas evaporíticas juegan un papel muy importante debido a la facilidad con que estas pueden interactuar con los fluidos enriquecidos con componentes provenientes de zonas distantes o más profundas de la cuenca y de esta manera efectuar reacciones químicas que disuelven, precipitan o simplemente sustituyen los compuestos químicos preexistentes.

LOCALIZACIÓN.

La Cuenca de Sabinas (Fig. 1), es una depresión delimitada por los bloques altos de Coahuila al Sur, Burro – Peyotes al Norte, y el Arco de Tamaulipas al Este. Dentro de la cuenca se conocen dos áreas con intrusiones graníticas de edad permo-triásica, estas corresponden a los altos de basamento de La Mula y Monclova (Wilson, 1990), la cuenca está íntimamente relacionada al rompimiento y separación de Pangea que propició la formación de pilares y fosas tectónicas que contribuyeron a la distribución de altos y bajos estructurales que, a su vez, controlaron los patrones sedimentarios del Mesozoico en la región (Padilla y Sánchez. 1986a, 1986b) y posteriormente determinaron los estilos estructurales de la Orogenia Larámide y detonó el flujo de fluidos asociado a las zonas más profundas de la cuenca (Gray et al., 2001, González Partida et al., 2008 b), iniciándose así la acumulación de yacimientos estratoligados en el Noreste de México, los cuales se alojaron preferencialmente en los bordes de las plataformas que limitan dicha cuenca (González Sánchez et al., 2007 y 2008); las condiciones de temperatura, composición, presión de los fluidos transportadores y mineralizantes han quedado registradas en los minerales neoformados como la celestina, barita, fluorita, zinc, barita, dolomita y calcita. El estudio microtermométrico de estos minerales como consecuencia, nos permite determinar las condiciones termobáricas y de composición de la salmuera que los originó.

MICROTERMOMETRIA.

Por medio de la Microtermometría de inclusiones fluidas las temperaturas de fusión final (T_{ff}) en los distintos yacimientos estratoligados de la cuenca de Sabinas indican salinidades bajas a medias y temperaturas de homogeneización (T_h) bajas a moderadas (González-Partida et al., 2002, 2003, González-Sánchez et al., 2007), así los mantos de plomo+zinc tienen una salinidad que va de 7 a 22 % Eq. en peso NaCl y T_h de 75°C a 225°C; los mantos de barita presentan una salmuera clorurado sódica y cálcica con predominio de esta última en un rango de 1 a 2 % Eq. en peso NaCl y de 8 a 24 % Eq. en peso $CaCl_2$, en un rango de T_h que va de 50°C a 155 °C; Los cuerpos de celestina, están en un rango de 1 a 12 % Eq. en peso NaCl y T_h de 70° a 165 °C, los mantos y brechas de fluorita presentan salinidades de 6 a 14 % Eq. en peso NaCl y T_h de 50°C a 159°C.

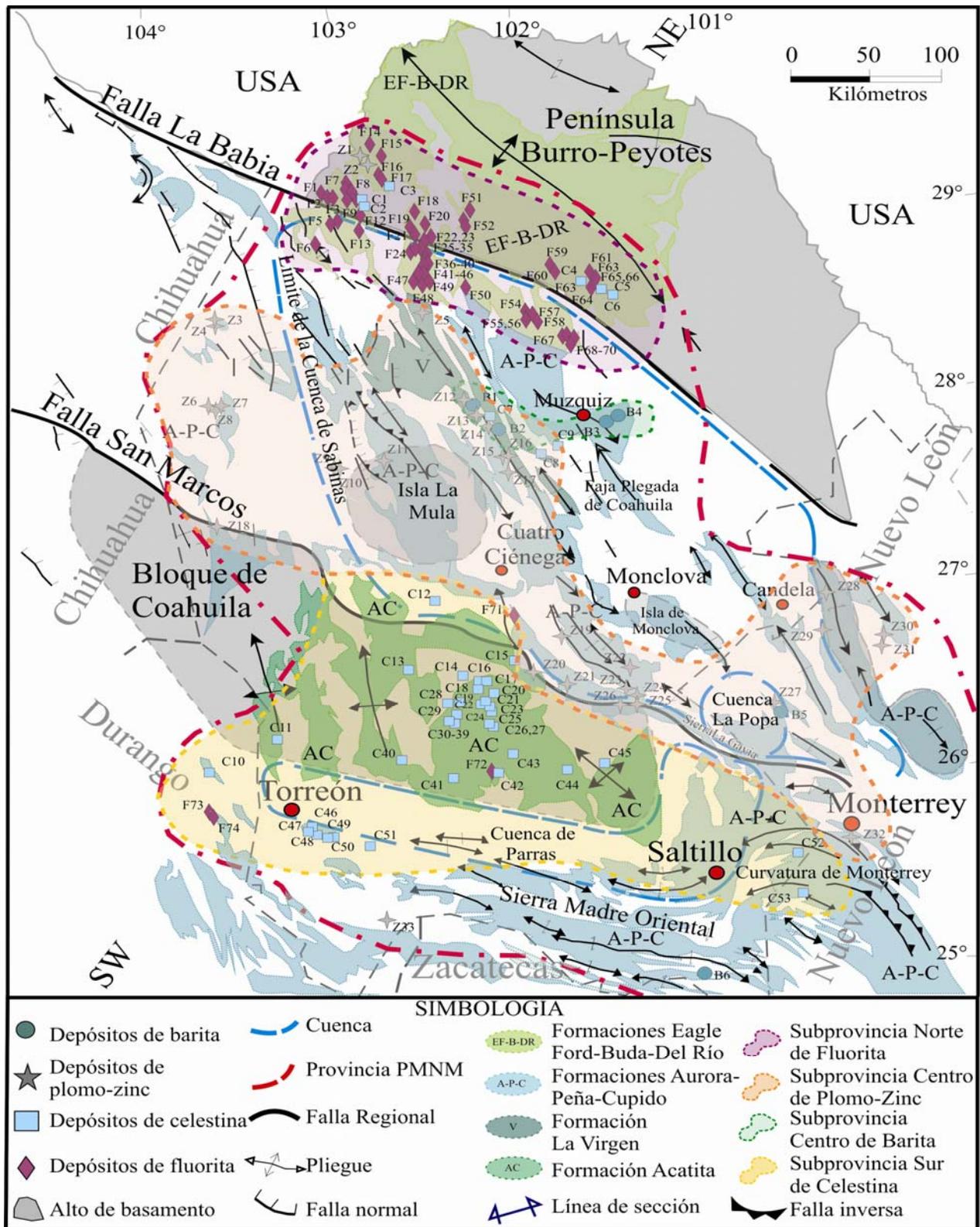


Figura # 1.- Localización de la cuenca de Sabinas y distribución de sub-provincias metalogénicas y cuerpos minerales considerados en este trabajo.

Los yacimientos de fluorita son los que generalmente presenta inclusiones fluidas con hidrocarburos, con valores de $T_h = 45^\circ$ a 110°C y son generalmente de dos tipos: A) de poca concentración de metano ($> 20\%$ mol) y bajas $T_h = 45^\circ$ a 60°C , y B) con concentraciones próximas al $30\text{-}40\%$ mol de CH_4 , con $T_h = 60^\circ$ a 90°C , las inclusiones de hidrocarburos que presentan una fase acuosa tienen una salinidad del 14% Eq. en peso NaCl, generalmente presentan baja concentración de CO_2 así como de azufre y un ratio CH_2/CH_3 alto, correspondiendo a alcanos de la cadena C_{16} (González-Partida et al., 2003).

HALÓGENOS.

Se sabe que las aguas de formación en cuencas sedimentarias son importantes portadores de sales y halógenos, principalmente Cl, Na, Ca, K, Mg, Br, I y F. Los halógenos son conservativos por no experimentar interacción diagenética agua-roca y por no ser constituyentes principales de los minerales carbonatados y rocas clásticas y son testigos importantes sobre el origen de los fluidos y en particular en los yacimientos MVT y medios diagenéticos (Kharaka and Thordsen 1992). Las relaciones Cl/Br & Na/Cl y Cl/Br & K/Cl, obtenidas en la Cuenca de Sabinas muestran una fuerte interacción agua-roca. El Na es el catión dominante en aguas de formación seguido por el Ca, sobre todo en las aguas del tipo Na-Ca-Cl; El Na puede ser liberado por meteorización de silicatos (tipo albita), disolución de rocas sedimentarias de origen marino y disolución de depósitos evaporíticos, en los que se presenta fundamentalmente como NaCl. Las relaciones de Li, K, Rb y Cs aumentan normalmente respecto a Na, con el incremento de la temperatura del subsuelo (Kharaka and Thordsen 1992), en cuencas sedimentarias el K se procede principalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas como silvita (KCl) o carnalita (KCaMgCl_2), lixiviación de feldespatos y como producto de la precipitación de sales de aguas marinas, y tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y procesos de adsorción en la superficie de minerales con capacidad de intercambio iónico, aunque algunas rocas evaporíticas incluyen sales de potasio por lo que son igualmente una fuente importante de K en aguas de formación.

DISCUSION.

En este trabajo, las temperaturas de homogeneización obtenidas a partir del análisis de inclusiones fluidas en los minerales de mena y ganga de los yacimientos MVT de la cuenca de Sabinas representan las temperaturas mínimas de atrapamiento de los fluidos mineralizantes, así mismo, las salinidades determinadas representan el equivalente total de sales disueltas, en este último caso solo se puede saber si los fluidos son predominantemente ricos en NaCl ó en CaCl_2 (de acuerdo a su temperatura eutéctica), en la cuenca son fluidos cálcicos, cuyas T_h son igualmente más elevadas; un proceso de enfriamiento con dilución es manifiesto a medida que las minas se localizan sobre las plataformas y de

manera más alejada de la cuenca, como lo son los fluidos relacionados a los cuerpos de fluorita en donde la posible participación de aguas meteóricas es un mecanismo muy plausible para dicha dilución. Se sabe que la salinidad de los fluidos de cuenca es hasta cinco veces mayor que los fluidos meteóricos (desde <100 mg/L en sistemas de aguas meteóricas subterráneas someras a salmueras hipersalinas que contienen >400,000 mg/L in Hanor 2001) donde los cationes predominantes son Na-Ca-Cl; este mismo autor prueba que las salinidades se incrementan con la profundidad donde predominan los fluidos Cálculos. Según Heydari (1997) la diagénesis de sepultamiento en régimen de margen de colisión se caracteriza por tectónica compresional, fallamiento inverso, velocidades variables de levantamiento/subsidencia y episodios localizados de expulsión de fluidos tectónicos hacia el cratón Los eventos diagénéticos más importantes en los márgenes de colisión son: a) alta presión de las soluciones y de relleno de fracturas con carbonatos cementados, b) mineralización tipo Mississippi Valley (MVT) y c) precipitación de feldespatos, disolución de carbonatos y evaporitas, dedolomitación y reducción bacteriana de sulfato.

CONCLUSIONES.

La cuenca de sabinas a principios de Terciario, se inicia un importante proceso de migración de fluidos propiciados principalmente por los efectos de la Orogenia Laramide; los fluidos con alta salinidad y temperaturas superiores a los 210 °C y presurizados (> a 400 bares) registran una caída de presión y temperatura iniciándose la precipitación de cuerpos estratiformes de barita, luego de zinc/plomo, celestina y finalmente de fluorita, las condiciones termobaricas y composicionales de su formación quedaron registradas en las inclusiones fluidas. Se determina un enfriamiento que va del depocentro de la cuenca hacia los bordes de las plataformas de al menos 100°C y una caída de presión al menos de 300 bares, con una evidente dilución de la salmuera cálcica inicial debido muy posiblemente a la participación de aguas meteóricas. Estos mecanismos son muy comúnmente invocados para la generación de este tipo de yacimientos estratoligados en otras partes del mundo.

BIBLIOGRAFIA.

Eguiluz y de Antuñano, S., 2001, Geologic evolution and gas resources of the Sabinas Basin in Northeastern Mexico, en Bartolini, C., Buffler, R.T., Cantú-Chapa, A. (eds.), The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 75, 241-270.

Eguiluz y de Antuñano, S., 2007, Exploración petrolera cuantitativa, ejemplos y resultados de los estudios de plays en la cuenca de sabinas, Coahuila, México. Geo/Ciencia, Revista del Servicio Geológico Mexicano, Año 1, N° 1, 1-34.

Ferket H. 2004. Sedimentology, diagenesis and fluid flow reconstruction in the Laramide fold-and-thrust belt of eastern Mexico (Córdoba Plataform): implications for petroleum exploration. Tesis de Doctorado. Katholieke Universiteit Leuven. Bélgica. 430 p.

González-partida E., Carrillo-Chavez A., Grimmer J., y Pironon J. 2002. Petroleum-rich fluid inclusions in fluorite, Purísima mine, Coahuila, Mexico. International Geology Review. Vol. 44, N° 8., pp.755-764.

- González-Partida E., Carrillo-Chavez A., Grimmer J., y Pironon J. , Mutterer J., y Levresse G. 2003. Geochemical evolution of mineralizing fluids at the fluorite La Encantada - Buenavista district: A Mississippi Valley Type deposit. *Ore Geology Reviews* vol. 4, pp. 107-124.
- González-Partida E., Antoní Camprubí i Cano, Carles Canet Miquel. y González-Sánchez F. 2008a. Termodinámica e inmiscibilidad de fluidos aplicada en las inclusiones fluidas para entender las condiciones PVTX en la evolución de salmueras e hidrocarburos en cuencas petroleras y en yacimientos estratoligados; primera parte: teoría. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, (en prensa).
- González-Partida E., Antoní Camprubí i Cano, Carles Canet Miquel. y González-Sánchez F. 2008b. Comportamiento y evolución de fluidos en yacimientos estratoligados de la cuenca de Sabinas y su comparación con los sistemas petroleros de la cuenca del Sureste México: Segunda parte. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, (en prensa).
- González-Sánchez, F., Puente-Solís, R., González-Partida, E., Camprubí, A., 2007. Estratigrafía del Noreste de México y su relación con los yacimientos estratoligados de fluorita, barita, celestina y Zn-Pb. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 59 (1), 43-62.
- González-Sánchez F., Antoni Camprubí , González-Partida E., Puente-SolísR., Carles Canet 2008. Regional stratigraphy and distribution of epigenetic stratabound celestine, fluorite, barite, and Zn-Pb deposits in the MVT province of Northeastern Mexico. *Mineralium Deposita*, Sometido.
- Gray G., Potterf R., Yurewicz D., Mahon K., Pevear D., Chuchula R., 2001. Thermal and Chronological Record of Synto Post-Laramide Burial and Exhumation Sierra Madre Oriental México. In Bartolini C. and Buffler R. T.; and Cantú Chapa eds., *The western Gulf of México Basin: Tectonics, sedimentary basin, and petroleum systems*; AAPG Memoir 75, pp. 159-181.
- Hanor J. S. 2001. Reactive transport involving rock-buffered fluids of varying salinity: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 65, p. 3721-3732.
- Heydari, E., 1997, Hydrotectonic models of burial diagenesis in platform carbonates based on formation water geochemistry in North American sedimentary basins: Basin-Wide Diagenetic Patterns: Integrated petrologic, geochemical and Hydrologic Considerations, SEPM Special Publication No. 57, p. 53-79.
- Kharaka, Y. K., and Thordsen, J. J., 1992, Stable isotope geochemistry and origin of water in sedimentary basins, in Clauer, N., and Chaudhuri, S., eds., *Isotope signatures and sedimentary records*, Berlin, Springer, p. 411-466.
- Padilla y Sánchez, R.J., 1986a, Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo, and Monterrey, Mexico: Austin, Texas, EUA, The University of Texas at Austin, Tesis de doctorado inédita, 217 p.
- Padilla y Sánchez, R.J., 1986b, Post-Paleozoic Tectonics of Northeast Mexico and its role in the evolution of the Gulf of Mexico: *Geofísica Internacional*, 25, 157-206.
- Pagel m., Braun J.J., Disnar J. R., Martinez L., Renac C., Vasseur G., 1997. Thermal history constraints from studies of organic matter, clay minerals, fluid inclusions and apatite fission tracks at the ardeche paleo-margin (BA1 drill hole GPF program), France. *Journal of Sedimentary Research*, v. 67 N° 1, 235-245.
- Piedad Sánchez N. 2005. Prospection des hydrocarbures par une approche intégrée de pétrographie, géochimie et modélisation de la transformation de la matière organique : Analyse et reconstruction de la histoire thermique des Bassins Carbonifère Central des Asturies (Espagne) et Sabinas-Piedras Negras (Coahuila, Mexique). Tesis de Doctorado. UMR-CNRS G2R/7566-Géologie et Gestion des Ressources Minérales et Energétiques. Faculte des Sciences- Université Henri Poincaré - Nancy I. 350 p.
- Wilson, J.L., 1990, Basement structural controls on Mesozoic carbonates facies in northeastern Mexico: A review, en Tucker, M.E., Wilson, J.L., Crevello, P.D., Sarg, J.R., Read, J.F. (eds.), *Carbonate platforms, facies, sequences and evolution*: International Association of Sedimentologists, Special Publication, 9, 235-255.