

SEDIMENTOLOGIA DE ALGUNAS FACIES DE LA FORMACION CORIS (MIOCENO MEDIO, MIOCENO SUPERIOR), VALLE CENTRAL, COSTA RICA, AMERICA CENTRAL

Luis Gmo. Obando¹, Giovanni Bottazzi² & Fernando Alvarado²

¹ Escuela Centroamericana de Geología, Apdo. 35, 2060
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

² Refinadora Costarricense de Petroleo (RECOPE), Apdo. 4351, 1000 San José, Costa Rica

ABSTRACT: In the Central Valley of Costa Rica, exists a principal sandy- quartz sequence (Middle Miocene to Upper Miocene). Occasionally this rocks are inter-bedded with coal seams (lignite 0.3 to 1 m thick) and siltstones very rich in organic matter.

The new data and reinterpretation of the sequences, permitted defined the sedimentary facies: Silicoclastic Platform (mixed facies), Open Bay Facies, Bar Facies (bar front (middle shoreface) and upper shoreface).

Those facies represent a Strand Plain, generated by Miocene inter-oceanic currents, through the channel genetic related with the Sinistral Costa Rica Transcurrent Fault System. That fault, has segmented the national territory and generated the pull-apart Basin in the Central Valley. The rapidly subsidence accumulated thick shallow deposits.

RESUMEN: En el área del Valle Central de Costa Rica, aflora una secuencia principalmente arenosa muy rica en cuarzo, de edad Mioceno Medio a Superior. Ocasionalmente estas rocas se encuentran intercaladas con mantos de carbón (lignitos 0,3 a 1 m de espesor) y lutitas muy ricas en materia orgánica.

La reinterpretación de las secuencias aflorantes y el aporte de nuevos datos, permitió definir las facies sedimentarias: Facies de Plataforma silicoclástica, Facies de Bahía Abierta, Facies de Frente de Barra (Bar Front), Facies de Barras Arenosas Costeras (Playa y Tras playa).

Estas facies en su conjunto caracterizan un "Strand Plain" generado por corrientes interoceánicas que se desarrollaban, en esa época, a través de un canal genéticamente relacionado, a una falla de desplazamiento de rumbo sinistral. Dicha falla segmentaba el territorio y generaba una cuenca "Pull-apart", que por su alta subsidencia acumulaba espesos depósitos de sedimentos someros.

INTRODUCCION

Costa Rica se encuentra en el margen suroeste de la Placa Caribe al noreste de la fosa Mesoamericana (Fig. 1) y su origen se relaciona con la formación de un arco de isla cretácico.

De acuerdo con ASTORGA et al. (1989) "A finales del Eoceno y principios del Oligoceno, el arco de islas de Costa Rica es segmentado, por un sistemas de fallas de "strike-slip" tipo sinistral,

generando una cuenca de "Pull-apart" en la parte central del país. La rotación del segmento sur durante el Oligoceno genera un levantamiento del segmento norte que queda sujeto a erosión, mientras que en el segmento sur la sedimentación turbidítica clástica continúa y culmina hacia el Mioceno Inferior. Las cuencas transtensivas de la región central de Costa Rica comienzan a ser rellenadas por sedimentación clástica marina. En el Mioceno, en el segmento norte ocurre sedimen-

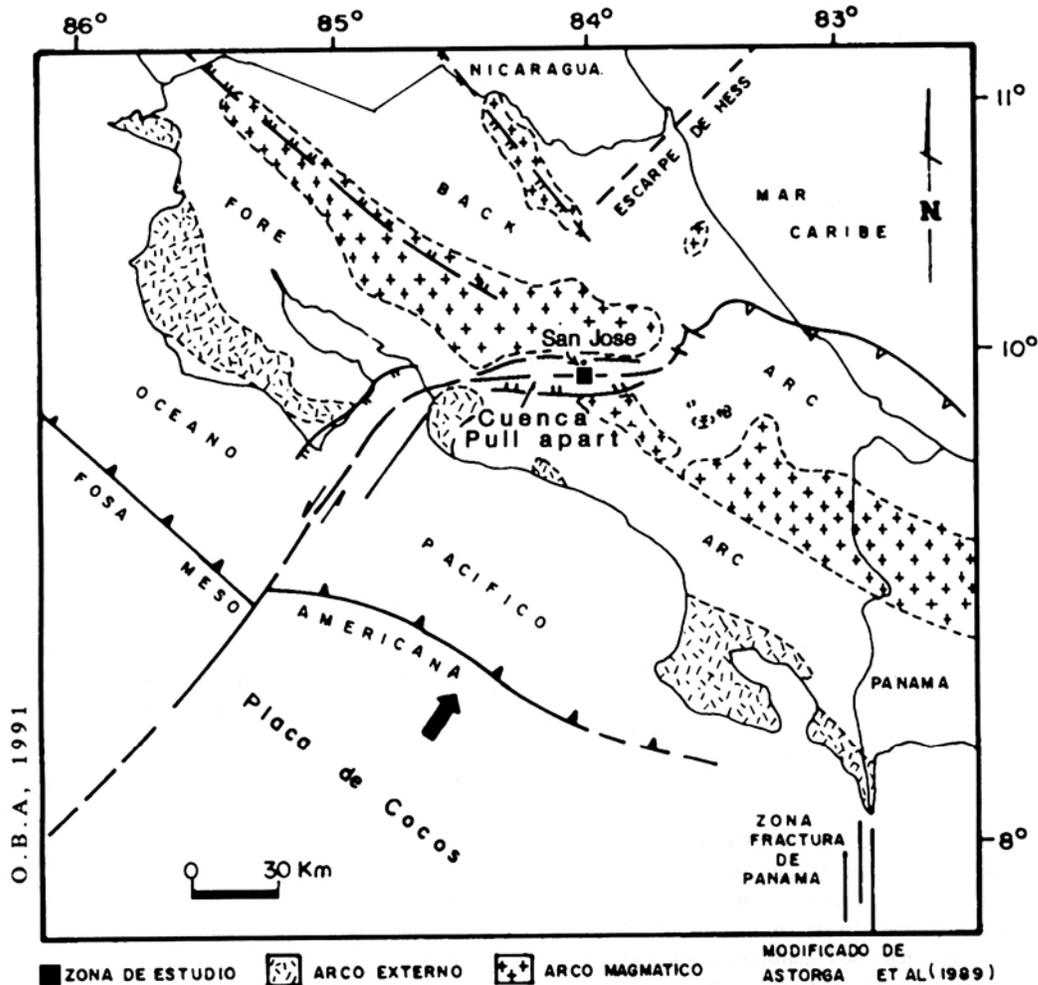


Fig. 1: Localización de la zona de estudio, Valle Central de Costa Rica y la Cuenca "Pull-Apart".

tación clástica marina somera, de carácter principalmente progradante. En el segmento sur, la sedimentación también es clástica marina durante este período. Hacia el Mioceno Cuspidal-Plioceno Medio, se registra una nueva fase compresiva que induce un fuerte levantamiento en el arco interno. Provocando el ascenso de la cordillera de Talamanca por el efecto de intrusiones ácidas e intermedias en el segmento sur. Mientras que en el segmento norte se origina un vulcanismo andesítico, con eventuales intrusiones de composición intermedia en las regiones del arco volcánico y back-arc".

Con base en nuevas observaciones de campo, realizadas por los autores, la presente investigación compila e reinterpreta los trabajos realizados en el Valle Central de Costa Rica, al sur de la ciudad de San José, en relación con las cuarzoarenitas y otras rocas genética y temporalmente relacionadas. Aquí son estudiadas, desde el punto de vista sedimentológico las formaciones estratigráficas Pacagua, en sus facies del Mioceno Superior (ALVARADO, 1982; OBANDO, 1983) y Coris del Mioceno Medio, Mioceno Superior (FISCHER & FRANCO, 1979). En esta última, muy recientemente MALAVASSI (1983, RE-

COPE, informe interno) estudia los carbones que contiene, únicamente desde el punto de vista minero.

SEDIMENTOLOGIA

Los depósitos sedimentarios del Mioceno Medio a Superior del Valle Central de Costa Rica considerados en este trabajo, constituyen un secuencia de aproximadamente 500 m de espesor de lutitas, lutitas arenosa calcáreas, arenisca líticas y cuarzosas y conglomerados relativamente finos, con estructuras sedimentarias que obedecen a ambientes marino-someros.

La secuencia está compuesta de ciclos progradantes que se relacionan con depósitos de Strand-plain (sensu REINSON; 1984), en los cuales se han definido las siguientes facies:

Facies No. 1: Facies de plataforma silicoclástica (Mixed Facies)

Corresponden a lutitas arenosas y arenitas líticas calcáreas, rica en fauna autóctona (péctenes y bioturbadores relacionados con la ichnofacies Cruziana), con laminación milimétrica, paralela asociada a estratos decimétricos, bioturbación oportunística y materia orgánica diseminada documentada en concreciones aisladas. En los niveles superiores se observaron además ripples de oscilación y depósitos gradados (tempestitas). Estas observaciones sugieren un ambiente de bahía en su área más profunda (plataforma silicoclástica, Fig. 2a).

El aporte continental fue caracterizado por un sedimento muy fino y escaso, rico en materia orgánica que permitió el desarrollo de una fauna suspensiva (Pécten) y comunidades oportunísticas que habitaban el fondo marino en períodos de mínima sedimentación pero con un aporte apropiado de materia orgánica y oxígeno. El efecto del oleaje se refleja en los ripples de oscilación.

Facies No. 2: Bahía abierta (Lower shoreface)

Secuencia de areniscas tobáceas de grano medio a fino generalmente cuarzosas y lutitas os-

curas (Fig. 2a), con finas laminaciones paralelas y bioturbación tipo *Thalassinoides* y *Ophiomorpha* sp que ocasionalmente deslaminan los niveles.

Estas facies comúnmente sobreyacen a la facies de plataforma silicoclástica y subyacen facies de ambientes marinos más someros. Las características que presenta, indican un ambiente con una tasa de sedimentación relativamente baja, pero con un aporte de nutrientes suficiente para permitir el desarrollo de comunidades suspensivas (péctenes), con períodos de incremento en el aporte que se documenta en los horizontes densamente bioturbados (desarrollo de comunidades oportunistas: representadas por la *Ophiomorpha* sp.). La existencia de estos bioturbadores indican, así mismo, un ambiente removido y por ende rico en oxígeno.

Facies No. 3: Frente de barra (Middle shoreface)

Intercalación de areniscas cuarzosas de grano fino a medio y vulcarenitas con matriz limosa (Fig. 2a), dispuestos en bancos masivos de hasta 50 m de espesor, con estructuras sedimentarias escasas.

Las facies de frente de barra pueden terminar contra areniscas cuárcicas limpias, lo cual es debido a la progradación de la barra arenosa (Facies 4: a y b descritas más adelante), sobre secuencias menos someras (Facies 3) o pueden tener una gradación positiva, debido a la disminución esporádica de la tasa de sedimentación normal en un frente deltáico, esta idea es soportada por el espesor y homogeneidad de los bancos que componen la secuencia, la escasez de estructuras sedimentarias y el carácter limoso y poco lavado de las litologías.

Un frente de barra puede estar caracterizado por un constante aporte de sedimentos, en suspensión y deslizados desde la cresta de la barra. Tiene pocas o ninguna estructura y ningún tipo de fauna autóctona que bioturbe los sedimentos debido a la alta tasa de sedimentación y a la influencia hidrodinámica ocasionado por la profundidad.

Los bancos espesos y masivos con grano fino hasta grueso que son sobreyacidos por facies de playa concuerdan con esta interpretación.

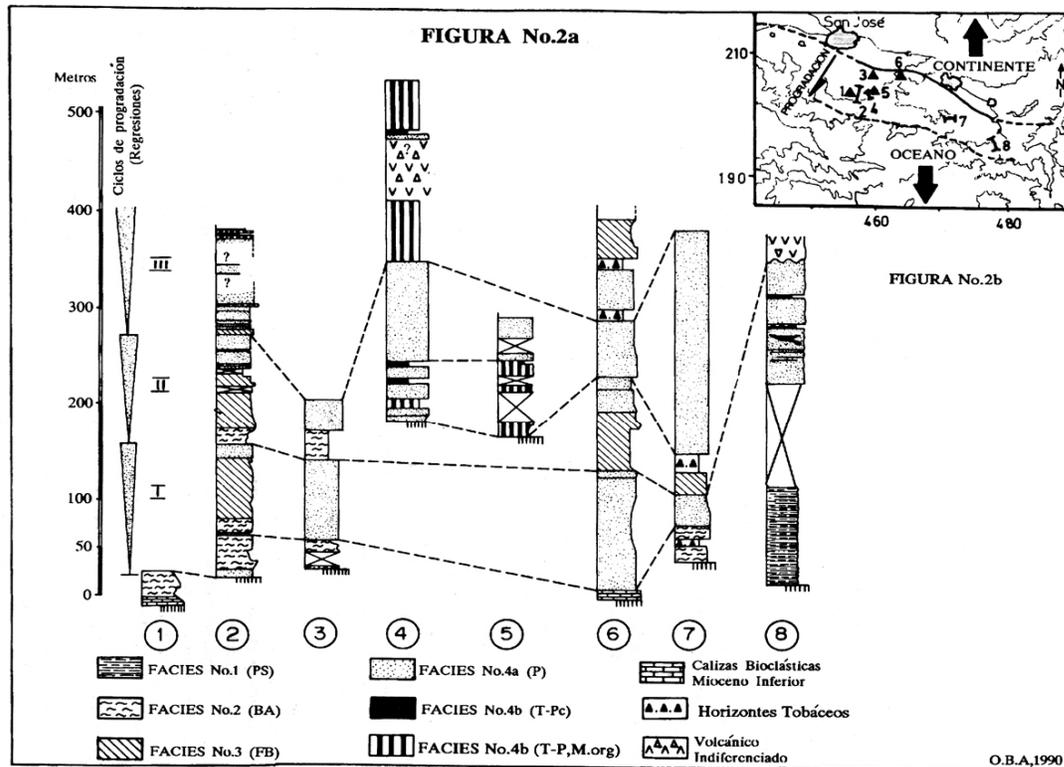


Fig. 2 a: Columnas de Correlación: Facies No.1 = Plataforma Silicoclástica (PS); Facies No.2 = Bahía Abierta (BA); Facies No.3 = Frente de Barra (FB); Facies No.4a = Playa (P); Facies No.4b = Tras-Playa, carbón (T-Pc), Tras-Playa (T-P) con materia orgánica (M.org) incluyéndose además: tobías, vulcarenitas, y lutitas con mucha materia orgánica.
Fig. 2 b: Progradación de la línea de costa (Mioceno Medio a Superior).

Facies No. 4: Facies de barras arenosas costeras (Upper shoreface)

Es la facies mejor representada en toda el área de estudio, y marca el tope de ciclos menores de progradación en toda la secuencia deposicional (Fig. 2 a).

Están caracterizadas por todos los niveles cuarzo-arenosos relativamente bien lavados, intercalados con las lutitas carbonosas y carbones, los cuales predominan en los niveles superiores de la secuencia. De acuerdo a las observaciones se puede separar en dos subfacies:

Subfacies 4a (Cordón de playa), y Subfacies 4b (Tras-playa).

Las cuarzo-arenitas, bien lavadas de grano medio a grueso, con laminaciones planares paralelas horizontales o de bajo ángulo, sugieren un ambiente de depositación de alta energía (Subfacies 4a).

Esta idea es apoyada por la existencia de niveles con densa bioturbación del tipo *Thalassinoides* y *Ophiomorpha*, los cuales se atribuyen al shoreface en la zona de shoaling y que por lo común están sobreyacidos por depósitos de foreshore, (sensu REINSON, 1984).

Estos últimos están caracterizados por estratos centimétricos y laminaciones inclinadas de bajo ángulo, marcadas por microplaceres magnéticos, que a su vez están sobreyacidos por depósitos de "washover" en la laguna de tras barra, marcados por los mantos de arenas que se intercalan con los depósitos de carbón (Subfacies 4b).

Por otra parte, el análisis secuencial de toda la sección indica varios ciclos de progradación, que culminan precisamente con este tipo de facies que sobreyacen depósitos de ambientes más profundos, marcando así los períodos de máxima regresión (Fig. 2a: I, II, III).

Adicionalmente, fue utilizado como criterio de interpretación ambiental para la laguna de tras barra (Subfacies 4b, Fig. 2a), el contenido de azufre en los niveles de carbón y materia orgánica asociada.

Muchos autores han utilizado la presencia del azufre en los carbones y turbas para la interpretación y desarrollo de modelos sobre el medio

de depositación de la turba (por ej.: BUSTIN et.al.1983; COHEN, 1984; CRELLING et. al. 1984; DAVIS & RAYMOM 1984; SHIMOYAMA, 1984; STACK et.al.1984).

La interpretación de los resultados de los análisis químicos practicados (Fig. 3 y 4), revelan los siguientes resultados y conclusiones:

Los contenidos de azufre altos (mayor del 0.5%, Fig.3) posiblemente se asocian a la circulación de agua marina en la laguna de tras playa. La interpretación se basa en que las turbas recientes, de agua salada o salobre presentan mayor contenido de azufre que las de aguas dulces (COHEN et.al.1984; CRELLING et.al. 1984), debido a la penetración de agua de mar por canales o infiltración, durante las mareas altas o tormentas.

Para las muestras con valores bajos de azufre (menor del 0.5%, Fig. 3), existen algunas posibilidades en consideración; las que pudieron actuar juntas o separadas:

- a) Que la laguna poseía localmente entradas de agua dulce en lugares parcialmente aislados de la influencia marina donde la barra de arena era relativamente larga y estable; hecho ya sugerido por STAUB & COHEN (1979) para las turbas modernas.
- b) Que el rápido sepultamiento de las capas de turba en un medio tan variable y las características permeables de las cuarzo-arenitas, permitieron la percolación de agua salada hacia niveles inferiores, o bien la penetración de agua dulce desde la superficie. Estos factores inhibieron el desarrollo de la actividad bacteriana, por lo que no hubo oportunidad de fijar demasiado azufre.
- c) Que el bajo contenido de azufre es debido a la poca materia orgánica (Fig. 4) contenida en la arcilla y por tanto, a la poca actividad bacteriana. Particularmente, para el caso de las muestras con azufre mayor al 1% (Fig. 3), su alto contenido de azufre, apoya el hecho de que un sector de la turbera estaba influenciada por agua marina.

Se concluye que los carbones, en general, poseían una fuerte influencia marina, excepto para la muestra MCTSP2, la cual parece ser influenciada por agua dulce. Dado que estratigráficamente esta muestra se localiza hacia la cima de la secuencia, coincide con el último ciclo de progradación observado y probablemente la influencia marina quedaba relativamente alejada.

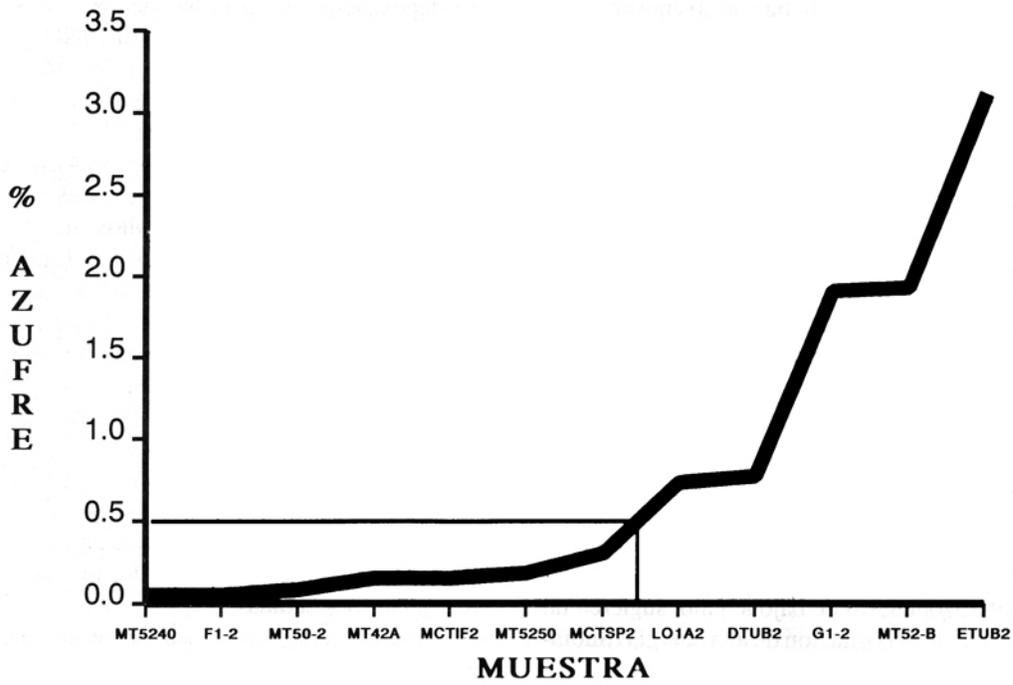


Fig. 3: Contenido de Azufre (As-recieved, Porcentaje por peso).

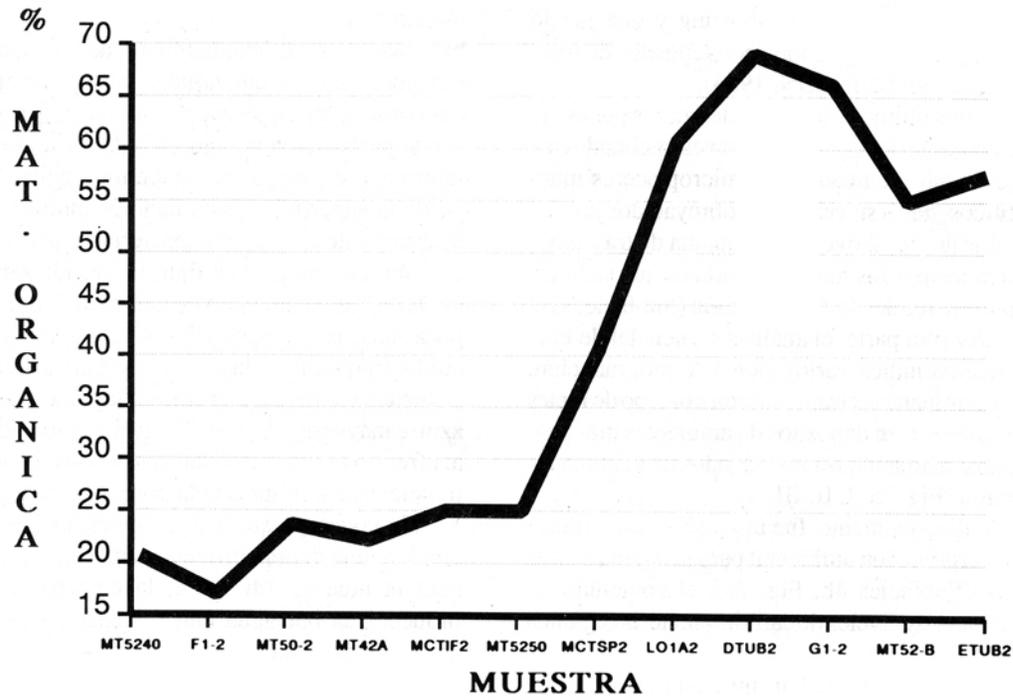


Fig. 4: Contenido de Materia orgánica (As-recieved, Porcentaje por peso).

CONCLUSIONES

El Mioceno de Costa Rica, en sus facies más someras está caracterizado por secuencias típicamente progradantes. Así por ejemplo, en la cuenca de San Carlos en el sector norte del país, sedimentos lagunares y deltáicos sobreyacen a depósitos calcáreos de barrera (OBANDO 1986, CALVO & BOLZ 1987, SEYFRIED et al. 1987.). Al sureste del país se documentan facies deltaicas que progradan sobre facies de plataforma lodosa (BOTTAZZI et al. 1988). En la costa Pacífica se han descrito secuencias progradantes donde facies de playa o más someras sobreyacen depósitos más profundos (KUYPERS 1979, FISHER 1981, SEYFRIED et al. 1985)

En este caso, las secuencias aflorantes en el sur del Valle Central evidencian claramente progradación de sedimentos someros, de playa y tras playa sobre sedimentos de plataforma silicoclástica, (Fig. 2a).

Es así, como las facies de plataforma lodosa están generalmente sobreyacidas por una interdigitación de facies de bahía abierta (Facies 2) y frente de barra (Facies 3). Estas facies a su vez son sobreyacidas por facies de playa (Facies 4a). En ellas, se evidencian estructuras sedimentarias que indican un retrabajo correspondiente al nivel base de las olas, superpuestas por facies de "swash" y asociadas, culminando con depósitos de tras playa (Facies 4b), caracterizados por la presencia de carbón y litologías muy enriquecidas en materia orgánica de origen continental (lagoon).

La columna sedimentaria general del área está caracterizada por tres ciclos de progradación con características similares a las ya descritas (Fig. 2a: I, II, III). Los dos ciclos de progradación superiores (Fig. 2a: II, III) culminan con depósitos de carbón, mientras que el ciclo inferior (Fig. 2a: I) culmina con facies de playa. Esta característica, donde los ciclos superiores se muestran completos con depósitos de carbón mineral, evidencia una secuencia progradante en su conjunto. Esto concuerda con las caídas relativas del nivel del mar durante el Mioceno Superior (VAIL et al., 1977) y el levantamiento del Arco Magmático al sur del país, durante ese período (RIVIER, 1979). Lo que localmente debió haber marcado fuertes

regresiones atenuadas en el Valle Central por la fuerte subsidencia típica de cuencas protegidas tipo "Pull-apart" como la definida por ASTORGA, et al. (1989) para el área de estudio.

Por otra parte, las progradaciones debieron ser muy lentas y sin fluctuaciones periódicas fuertes ya que, de lo contrario, la acumulación de algunos horizontes de turba no hubiese ocurrido (JONES & CAMERON, 1988).

El fuerte aporte de sedimentos en esta cuenca se evidencia por el alto contenido de materia inorgánica en los carbones y el excesivo contenido de sílice en las facies de barra, que podrían corresponder a un fuerte vulcanismo, relativamente ácido, el cual pudo sumar, un aporte fuera de lo normal de sílice. ASTORGA et al. (1989), al referirse al Terciario Superior de Costa Rica, señala la presencia de un vulcanismo localizado a lo largo de la falla transversal de Costa Rica la cual originó la cuenca de "Pull-apart". Dicho vulcanismo bien pudo aportar el material que dio origen a estos sedimentos silíceos.

MODELO SEDIMENTOLOGICO

El estudio de las facies y su asociación reflejan que el ambiente de sedimentación corresponde a una costa fisiográficamente lineal (Fig. 2b y 5), afectada por fuertes corrientes interoceánicas debidas a las diferencias mareales entre los dos océanos y que se canalizaban a lo largo de la falla transversal ya mencionada de dirección este-oeste. Evidencias de esta comunicación se encuentran hacia el sureste del área en el Cerro Buena Vista (aprox. a 3000 m.s.n.m.) donde afloran sedimentos silíceos del Mioceno Superior con estratificación cruzada tipo hummocky (del middle Shoreface).

Bajo estas condiciones el aporte sedimentario progradante hacia una cuenca transtensiva (en el sector central) es deformado a lo largo de la costa por dichas corrientes. McCUBBIN (1982), señala un ambiente de strand plain en depósitos semejantes del Cretácico Tardío del Complejo de Gallup en Nuevo México.

Cabe señalar que los considerables espesores de areniscas en estos ambientes, son debidos a un adecuado balance entre la razón de la acumula-

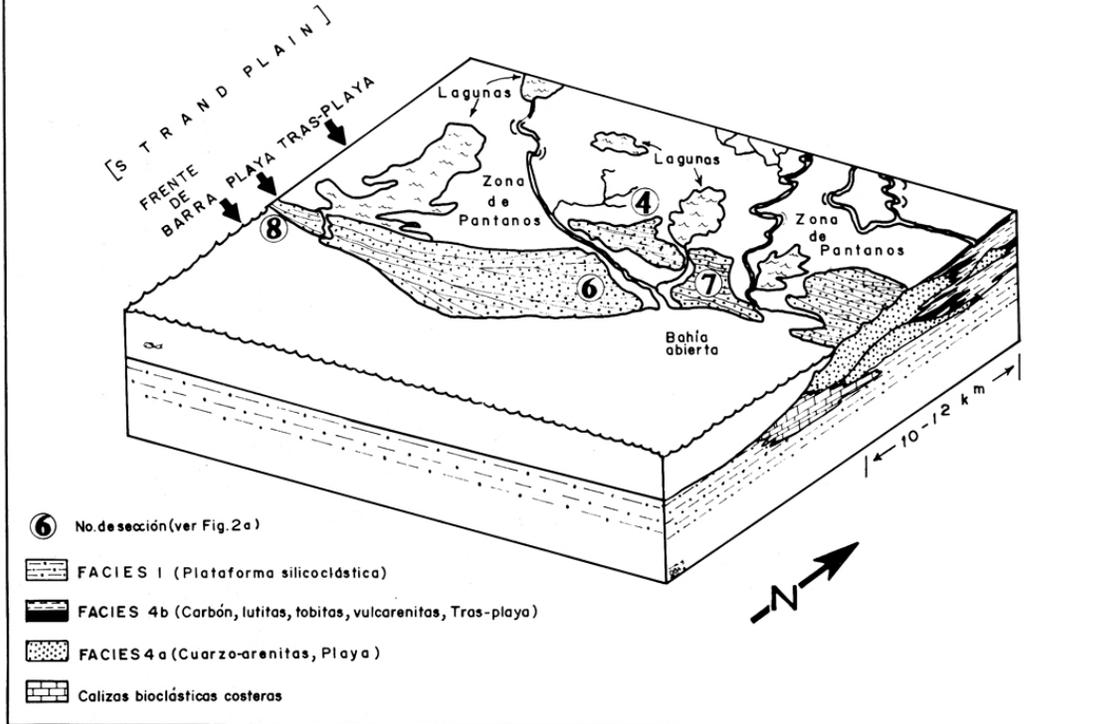


Fig. 5: Modelo Sedimentológico (escala aproximada).

ción de sedimentos y la subsidencia de la cuenca. Bajo este modelo (strand plain), las facies cuarzosas con estructuras típicas de oleaje, como ripples de oscilación en las facies basales y laminaciones inclinadas de bajo ángulo y paralelas en las facies superiores, corresponden con un ambiente de shore-face, mientras que las facies finas y tobáceas corresponderían a un ambiente de bahía externa o plataforma (lower shoreface o upper foreshore).

Calizas bioclásticas costeras del Mioceno Inferior Tardío (Formación San Miguel de CARBALLO & FISHER, 1979) fueron progradadas por las facies arenosas del strand plain del Mioceno Medio Superior. La distribución regional de las facies, sugiere una costa abierta hacia el sur del área de estudio, en donde predominan espesas secuencias de sedimentos de plataforma (Formación Pacacua, Facies 1), mientras que al norte afloran las secuencias asociadas a facies de playa (Formación Coris, Facies 4) engrosándose y adelgazándose, en dependencia de la razón del influjo de sedimentos y del área de depositación, lo cual es típico de estas barreras arenosas (SELLEY 1976, STAUB & COHEN 1979, COHEN 1984). Localmente la distribución geográfica de facies someras, refleja una tendencia de somerización hacia el norte (prevalencia de facies carbonosas y cuarcicas (Facies 4a y 4b, Fig. 2b).

De acuerdo con la dirección y distribución de los ripples de oscilación en la superficie estratigráfica, se puede inferir una línea de costa orientada sureste-noroeste (Fig. 2b y 5).

Tierra adentro, detrás de la barrera, se desarrolló un ambiente lagunar de tras barra, documentado por la presencia de delgados horizontes carbonosos, altos en azufre y materia inorgánica, depósitos de "washover" y otros sedimentos ricos en materia orgánica.

Localmente este ambiente, se encontraba influenciado por agua dulce, aunque al parecer (análisis de azufre), ésta influencia era escasa y estaba subordinada al ambiente marino.

Este ambiente concuerda con el tipo I de COHEN (1984), esto es: un pantano salobre (salt marsh), que deposita delgados lentes carbonosos con altos contenidos de azufre y ceniza, además de abundante arcilla turbosa (Fig. 5).

Los depósitos de carbón localizados, generalmente son más espesos en asociación con las areniscas cuarzosas y disminuyendo su espesor en relación directa con la presencia de otras litologías (lutitas por ejemplo), lo cual coincide con los estudios de STAUB & COHEN (1979).

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos al Dr. H. SEYFRIED (STUTTGART, ALEMANIA) y al LIC. FRANCISCO ROJAS (Director de exploraciones RECOPE) por la revisión del manuscrito y el interés mostrado. Nuestros más sinceros reconocimientos al Director Mina Zent (RECOPE), Lic. LUIS MALAVASSI R. por su desinteresado apoyo durante la realización de la investigación, extensivo al Lic ALBERTO FERNANDEZ, Jefe del Departamento de Geología de RECOPE. A BQ. LOURDES QUESADA por los análisis químicos de los carbones. Por último los autores agradecen a RECOPE y a todas aquellas personas que de una u otra manera ayudaron en esta investigación, en especial a la Dra MARIA E. ALVARADO por la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

- ALVARADO, M.E., 1982: Estudio sedimentológico de la Formación Pacacua.-200 págs. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica (Tesis inédita).
- ASTORGA, A.; FERNANDEZ, J.A; BARBOZA, G.; CAMPOS, L.; OBANDO, J.; AGUILAR, A.& OBANDO, L.G., 1989: Cuencas sedimentarias de Costa Rica: Evolución Cretácico Superior-Cenozoica y potencial de hidrocarburos. Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), -18 págs. (en prensa).
- BOTTAZZI, G.; GONZALES, G. & VARGAS, J., 1988: Sedimentología del Borde Norte y Noroeste de la Cuenca Limón Sur. -98 págs. Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE, Informe interno).

- BUSTIN, R.M.; CAMERON, D.A.; GRIEVE, D.A. & KALKREUTH, W.D., 1983: Coal Petrology-Its Principles, Methods, and Applications: Alberta, Canada.- V.3, 230 págs. Geological Association of Canada, Short Course Notes.
- CALVO, C. & BOLZ, A., 1987: La secuencia de Venado, un Estuario Lagunar Tropical del Mioceno Medio, San Carlos, Costa Rica. -Revista Geol. Amer. Central 6: 1-24.
- CARBALLO, M. & FISCHER, R., 1978: La Formación San Miguel.-Inst. Geogr. Nac. Inf. Semestral Enero-Junio.:48-144.
- COHEN, A., 1984: The Okefenokee Swamp: a low sulphur end-member of a shoreline-related depositional model for coastal plain coals: Coal Bearing. - En: Rahmani, R. & Flores, R. (eds): Spec. Publis int. Ass. Sediment. Sedimentology of Coal-Bearing Sequences, 7: 231-240.
- COHEN, A.; SPACKMAN, W. & DOLSEN, P., 1983: Occurrence and Distribution of Sulfur in Peat-Forming Environments of Southern Florida. - Intern.J. Coal Geology, 4: 73-96.
- CRELLING, J.C.; STUTZMAN, P.E. & ROBINSON, P.D., 1983: Evidence from the Herrin No. 6 Coal Seam for Pre and Post-Burial Differences in the Sulfur And Mineral Contents of Peat.- En: Raymond, R. & Andrejko, M. (eds): Mineral Matter in Peat, Its Occurrence, Form, and Distribution: 113-121. Los Alamos National Laboratory, N. Mexico.
- DAVIES, T.; RAYMOND, R., 1983: Sulfur as a Reflection of Depositional Environments in Peats and Coals.- En: Raymond, R. & Andrejko, M. (eds): Mineral Matter in Peat, Its Occurrence, Form, and Distribution: 123-139. Los Alamos National Laboratory, N. Mexico.
- ELLIOT, T., 1982: Reading H.G. (ed). Sedimentary Environments and Facies.- 143-177 págs. Blackwell Sc. Publ.
- FISCHER, R.; FRANCO, J., 1979: La Formación Coris (Mioceno; Valle Central, Costa Rica). - Inst. Geogr. Nac., Inf. Semestral Enero-Junio: 15-71.
- FRANCO, J., 1978: La Formación Coris (Mioceno, Valle Central, Costa Rica).- 87 págs. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (tesis inédita).
- JONES, J.R. & CAMERON, B., 1988: Modern Coastal Back-Barrier Environment: Analog for Coal or for Carbonaceous Shale?.-Geology, 16: 345-348.
- KUYPERS, E., 1979: Análisis Sedimentológico de la Formación Punta Carballo (Mioceno), Costa Rica.- Inst. Geogr. Nac., Inf. Semestral Julio-Diciembre: 77-92.
- MALAVASSI, L., 1983: Reconocimiento del Tablazo (Proyecto Carbón Tablazo).- 30 págs. División de Recursos Carboníferos. Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE, Informe Interno).
- OBANDO, L.G., 1983: Estratigrafía y Petrografía de las Rocas Aflorantes al Sur del Valle Central (Tarabaca).-137 págs. Escuela Centroamericana. de Geología, Universidad. de Costa Rica (tesis inédita).
- OBANDO, L.G., 1986: Estratigrafía de la Formación Venado y Rocas Sobreyacentes (Mioceno-Recente), Provincia de Alajuela, Costa Rica.-Rev. Geol. Amer. Central, 5: 73-104.
- REINSON, G., 1984: Barrier-Island and Associated Strand Plain Systems.119-140.- En: Facies Models, Walker R.G. (ed), 317 págs. Geoscience Canada.
- RIVIER, F., 1979: Geología del Area Norte de los Cerros de Escazú.Cordillera de Talamanca, Costa Rica.- Inst. Geogr. Nacional. Inf. Semestral Enero-Junio: 99-137.
- SELLEY, R.C., 1976: Medios Sedimentarios Antiguos. - 251 págs. H. Blume Ed., España.
- SEYFRIED, H.; ASTORGA, A. & CALVO, C., 1987: Sequence Stratigraphy of Deep and Shallow Water Deposits from an Envolvin Island Arc: The Upper Cretaceous and Tertiary of Southern Central America. - Facies,17: 202-214.
- SEYFRIED, H.; SPRECHMAN, P. & AGUILAR, T., 1985: Sedimentología y Paleocología del litoral Pacífico del Istmo Centroamericano Primordial (Mioceno Medio, Costa Rica). - Rev. Geol. Amer. Central 3: 1-68.

- SHIMOYAMA, T., 1984: Sulphur Concentration in the Japanese Paleogene coal. - En. Rahmani, R. & Flores, R. (eds): Spec. Publs. int. Ass., Sedimentology of Coal-Bearing Sequences, 7: 361-372, Blackwell Scit. Publish.
- STACH, E.; MACKOWSKY, M.TH.; TEICHMÜLLER, R.; TEICHMÜLLER, M.; TAYLOR, G.H.; CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R., 1982: Coal Petrology. - 535 págs. Berlin.
- STAUB, R. & COHEN, A., 1979: The Snuggedy Swamp of South Carolina: A Back-Barrier Estuarine Coal-Forming Environment. - J. Sedim. Petr., 49: 133-144.
- VAIL, P.R.; MITCHUM, JR. & THOMPSON, S., 1977: Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 4: Global Cycles of Relative Changes of Sea Level. - En: Payton, C. (ed.): Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration, A.S.P.G., Tulsa: 83-97.