



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Arquitectura Depositacional y Análisis Estratigráfico Secuencial de Depósitos del Eoceno, Grupo Salina, Cuenca Talara, Perú

Kevin Michael Torres Carpio¹, Guilherme Pederneiras Raja Gabaglia², Claiton Marlon dos Santos Scherer³, Jorge Antônio Campos Magalhães⁴ & Eloy Gerardo Pozo Calle⁵

⁽¹⁾ Abu Dhabi National Oil Company – Abu Dhabi, UAE. E-mail kevint@adnoc.ae

⁽²⁾ Petrobras – Rio de Janeiro (RJ), Brasil. E-mail: guilhermeraja@petrobras.com.br

⁽³⁾ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre (RS), Brasil. E-mail: claiton.scherer@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal, Brasil

⁽⁵⁾ Consultor Cía. Aguaytia Energy, Perú. E-mail: gpozo2010@gmail.com

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo reconstruir los ambientes depositacionales y la de caracterizar la evolución estratigráfica del Grupo Salina de la Cuenca Talara. Fueron interpretadas 12 asociaciones de facies a través de correlaciones estratigráficas utilizando datos de perfiles de pozos. Mediante la descripción de dos afloramientos localizados en la parte sur y este de la cuenca fueron interpretados diferentes ambientes depositacionales, siendo interpretadas en la parte sur las asociaciones de facies: prodelta, frente deltaica distal, proximal y planicie deltaica/canales distributarios, de un sistema deltaico; y en la porción central y este de la cuenca las asociaciones de facies: abanicos aluviales proximales, medianos y distales, de un sistema de abanicos aluviales; y complejo de canales y barras de canales de marea - estratificación heterolítica inclinada y planicie mixta de intermarea, de un sistema de estuario/planicie de marea. Finalmente, el análisis de estratigrafía permitió, en los pozos, el reconocimiento de dos secuencias depositacionales de 3er orden: E3 y E4, depositadas en condiciones progresivamente menos restrictas, que evolucionaron de sistemas siliciclasticos continentales para sistemas de estuarios y, por fin, para sistemas marinos abiertos,

indicando un aumento generalizado del nivel de base y ahogamiento regional de la cuenca.

Palabras clave. Estratigrafía de secuencias, Grupo Salina, Cuenca Talara, Perú.

ABSTRACT

This work synthesizes the depositional and sequence stratigraphic analysis of clastic deposits comprised by the Salina Group of the Talara Basin aiming the geological characterization of Ypresian reservoirs and the establishment of a depositional model for them. Facies associations and stratigraphic correlations were also supported by well logs. Facies association approach and stratigraphic correlation allowed the definition and the interpretation of depositional systems in two main study areas. The southern part is represented by the following facies associations: prodelta, distal and proximal delta front and delta plain/distributary channels composing the deltaic system; distal marine sandy bars, representing the estuary system; and medium shoreface to deep platform, corresponding to the shallow platform to offshore system. Central and eastern part of the basin is represented by other facies associations: proximal, medium and distal fan composing the alluvial fan system; finally the complex of chan-

nels and tidal channel bars - inclined heterolithic stratification with mixed tidal flat, representing the estuary. Finally, The stratigraphic analysis of wells allowed the recognition of two third order depositional sequences: E3 and E4, formed in progressively less restricted conditions, that evolved from continental siliciclastic systems to estuary systems and, finally, to open marine systems, indicating the general increase of the base level in regional correlation along the basin.

Keywords. Sequence Stratigraphy, Salina Group, Talara Basin, Perú.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta la reconstrucción paleoambiental y la evolución estratigráfica de secuencias depositacionales del Grupo Salina, Ypresiano inferior, en las regiones central y sur de la Cuenca Talara, Perú (Figure 1). Fueron realizadas descripciones e interpretación de afloramientos totalizando 500 m verticales, seguido de caracterizaciones de asociaciones de facies, mapeamiento y extrapolación de superficies estratigráficas genéticas a pozos. Las tendencias depositacionales permitieron definir los trectos de sistemas y finalmente establecer la evolución estratigráfica de las porciones investigadas de la cuenca.

La caracterización de sucesiones genéticas de asociaciones de facies y patrones de apilamiento, juntamente con el reconocimiento electrográfico en perfiles de pozos permitió la definición y correlaciones de superficies estratigráficas.

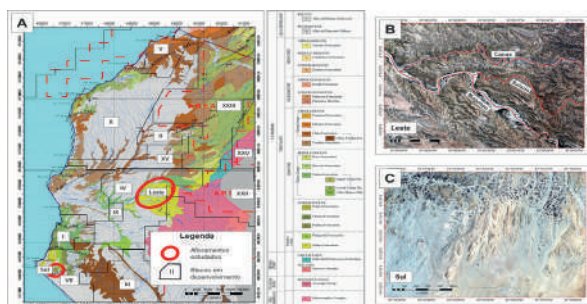


Figure 1 Localización de los afloramientos estudiados. A) Mapa geológico simplificado con la Cuenca Talara (BPZ Energy, 2004) con los lotes de desarrollo de petróleo y gas y la localización de los afloramientos estudiados del Ypresiano. Las imágenes satelitales muestran afloramientos: B) Quebras Mogollon, Casa y Salado, en el área este e C) Negritos, en el área sur.

ASOCIACIONES DE FACIES SEDIMENTARIAS (AF)

Las 27 facies sedimentarias, cuyas descripciones e interpretaciones incluyen, predominantemente

conglomerados medios a gruesos, clasto-sopordados, oligomicticos, con tamaño de granulos a guijarros con tamaño medio entre 2 y 4 cm., pudiendo ocurrir guijarros de hasta 7 cm, redondeados a angulosos, mal a moderadamente seleccionados, masivos o con estratificación horizontal incipiente. Las areniscas son muy finas, moderadamente seleccionadas, los granos esta constituidos por cuarzo, feldespatos y líticos, subangulosos a subredondeados, moderadamente seleccionados. Los finos son gris oscuro, con intercalaciones de lutitas y limolitas, con laminación horizontal, y presentándose sobre la forma de estratos centimetricos. Localmente pueden presentar lentes de areniscas muy finas, bien seleccionados.

El Grupo Salina comprende 12 asociaciones de facies: 1) plataforma media a profunda; 2) plataforma media; 3) barras distales de marea; 4) planicie mixtra de intermarea; 5) complejo de canales y barras de marea – estratificación heterolitica inclinada (IHS); 6) planicie deltaica/canales distributarios; 7) frente deltaica proximal; 8) frente deltaica distal; 9) prodelta; 10) abanicos distales aluviales; 11) abanicos medios aluviales e 12) abanicos proximales aluviales.

Al sur, el grupo es representado por las AF de prodelta, frente deltaica y planicie deltaica/canales distributarios, barras distales de marea en el ambiente de estuario y plataforma media a profunda. En la parte central y al este, las AF proximales, intermedias y distales en el sistema de abanicos aluviales y, finalmente, complejo de canales y barras de canales de marea –IHS y planicie mixtra de intermarea, en ambiente estuarino. Para la presentación de las AF, será agrupadas dentro de cada sistema depositacional que las contienen.

SECUENCIAS DEPOSITACIONALES

Con base en la correlación de 18 pozos integrados a las tres secciones de afloramiento columnar (acantilados Negritos, Canas y Salado), fue posible identificar dos secuencias depositacionales de edad Ypresiana, que corresponden a las secuencias E3 y E4 de Daudt et al. (2010). Esta correspondencia entre las secuencias identificadas y las propuestas por Daudt et al (op cit.) se basa en la correlación estratigráfica de trectos de sistemas y superficies claves en las regiones central, este y sur de la cuenca.

Secuencia Estratigrafica E3

La secuencia estratigráfica E3 (S-E3) tiene un es-

pesor de hasta 1000 m, delimitada a la base por la discordancia subaerea Paleogeno/Eoceno de edad 53.61 Ma con correlacion regional (DS2), marcada en los perfiles electricos por la abrupta disminucion de los valores de GR, asociada al desarrollo de un intervalo conglomerado (Figure 6). Además, según Pozo (2002), fue posible definir el hiato depositacional correspondiente a la base del Ypresiano, debido a la ausencia de la zona regional de nanofósiles NP-10. Para esta secuencia, no fue posible realizar un análisis faciológico detallado, ya que no se dispone de núcleos y/o afloramientos, excepto en la parte superior de la Formación San Cristóbal.

En la base de S-E3, las muestras de canaleta y los perfiles eléctricos indican un patrón de apilamiento retrogradante en el sector central y este (Figure 6), y un patrón de apilamiento progradante-retrogradante en el sector oeste, gradando de niveles finos (representados al Sur y al Oeste, correspondiente litoestratigráficamente a la Formación Dra-ga, hacia un predominio de areniscas conglomeráticas y conglomerados en la parte superior (Fm Basal Salina).

Las progradaciones se interpretan como depósitos asociados con sistemas depositacionales de *fan delta*, fuertemente amalgamados, sobre depósitos marinos (Carozzi & Palomino, 1993), que corresponderían al tracto de nivel bajo (TSNB-E3). En la parte superior de las progradaciones, los intervalos amalgamados cada vez son menos espesos están limitados por una superficie de correlación regional que separa el complejo de *fan delta* de las facies marinas superpuestas (con valores crecientes de rayos gamma - base de la Formación San Cristóbal), por esta razón denominada superficie de máxima regresión SRM-E3, que marca el final del TSNB-E3.

El TST-E3, se caracteriza a la base por una tendencia de rápido aumento de los valores de los GR (patrón retrogradacional), seguido de un intervalo de hasta 300m de espesor donde permanecen valores elevados de GR en los sectores oeste y sur de la cuenca (ambiente marino profundo). El perfil de rayos gama presenta, de manera más significativa en este sector, un pico de inflexión de la curva en la parte central de ese intervalo (aproximadamente a 120 m de la base), que definiría la superficie máxima de inundación (SIM-E3). En el análisis de las muestras de canaletas ubicadas en la base de este tramo, se observaron escasos intervalos arenosos

de 5 a 10 m de espesor y en el resto de la seccion hay una sucesión monótona de depósitos pelíticos glauconíticos de color gris oscuro.

Los perfiles de GR inmediatamente arriba del SIM-E3 (150 m), al oeste y sur del área, muestran valores similares a la parte superior del TST-E3. Arriba, en un intervalo de 50 a 100 m, se presenta un padrón en forma de embudo, caracterizando progradaciones de origen deltaico, como lo muestran las correlaciones con el afloramiento de Negritos, donde este sistema depositacional está bien caracterizado. Tanto en los perfiles como en este afloramiento, los ciclos de progradación de mayor frecuencia exhiben una sucesión estrato-creciente acendente, probablemente reflejando la reducción de la acomodación. Por lo tanto, no solo el padrón general de inflexión negativa de los perfiles de rayos gamma a lo largo de los 200/300 m, sino también el patrón de apilamiento de los ciclos de frecuencia más alta de origen deltaico conduce a la interpretación de este intervalo como un tracto del sistema de nivel alto (TSNA -E3).

En el sector sur y, en particular, en el afloramiento de Negritos, el TSNA-E3 culmina, en la parte superior, por un contacto brusco con facies conglomeráticas canalizadas, formando este contacto una superficie erosiva irregular. Seguidamente se impone un nuevo sistema deltaico más enérgico, representado por AF de granulometría mayor, de frente y de planicie deltaica mucho mas desarrolladas (TSNB de la secuencia E4, ver más abajo). El pasaje de TSNA-E3 a TSNB-E4 indica, para este dominio de cuenca, la ausencia del tracto de nivel de caída (TSEQ-E3), aquí representado solo por la superficie erosiva.

Por otro lado, en el centro y este, el tectonismo expresivo afectó el basamento, creando elevaciones provocadas por fallas subverticales, interpretadas como horst y graben (Tankard, 2002), las mismas que, en el intervalo TSEQ-E3, muestran fuerte variación de espesor, con fuerte incremento hacia el oeste y puede correlacionarse en los pozos de la zona.

Los depósitos identificados en TSEQ-E3 en el centro y este de la cuenca se interpretan como resultado de procesos de deslizamiento, relacionados con flujos hiperconcentrados, corrientes de turbidez de alta / baja densidad y canales incisivos con orientación Este-Oeste (Formación Mogollón, Miembros Inferior y Medio; Seranne, 1987 y Marin et al., 2014). Su eje principal es perpendicular al

basamento del Paleozoico, representado por un horst (Distrito El Alto), que aflora y actúa en esta área, de hecho, como el borde oriental de la cuenca en el momento del TSEQ-E3, e).

El tope de TSEQ-E3 está definida en el centro y este de la cuenca por la discordancia subaérea DS3 y, al oeste, por la conformidad correlativa (CC3) (Catuneanu, 2006), siendo definida en los perfiles de GR por el cambio en el patrón de apilamiento, de progradante hacia agradante, en un contexto depositacional no marino de la Formación Moggollón (Miembro Superior), que marca el inicio de los depósitos de la secuencia E4 (S-E4).

Las correlaciones de los perfiles eléctricos de los cuerpos arenosos pueden ser precarias, con fuertes acuñaientos en extensiones de hasta 3 pozos (pocos cientos de metros). En los perfiles eléctricos, se identifican patrones dentados, es decir, sin un patrón progradacional claramente definido. La parte superior del S-E3 está marcada por un contacto brusco con los depósitos aluviales en la base del S-E4.

Secuencia Estratigráfica E4

La S-E4, puede alcanzar espesores máximos de 2000 m, descansa sobre la S-E3, formando, en la zona central, este y sur de la cuenca (más proximal), una discordancia regional subaérea erosiva (DS3), que pasa por el sector Oeste (más distal) a una concordancia correlativa (CC3), cuya superficie se interpreta como generada durante y al final del tracto de nivel de caída (TSEQ-E3).

S-E4 inicia, en el área sur, con la interrupción de un patrón de apilamiento progradante abajo con presencia de finos más desarrollados (TSNA y TSEQ - E3) a otro patrón progradante arriba, más psamítico, como se refleja en el perfil de GR, en alta y media frecuencia. Es un reflejo de un alto aporte sedimentario (deltas) en un momento de subida moderada en el nivel base. Por otro lado, en las áreas central y este, el patrón progradante de abajo se revierte a un patrón más agradante en ambas escalas (abanicos aluviales), que son más sensibles a la variación del nivel base, con la reducción asociada de gradiente y energía de transporte. Estos abanicos fueron depositados a lo largo de los ejes principales noreste-suroeste (Carozzi & Palomino, 1993) con entradas localizadas en una orientación Este-Oeste (Seranne, 1987; Fildani et al., 2005). El tracto de sistema que vincula los abanicos aluviales en la zona proximal con los deltas en la parte distal se interpreta

como tracto de nivel bajo (TSNB-E4).

Limitando, al tope, los depósitos del sistema deltaico, al sur y de abanicos aluviales, en el centro y al este, es definida la superficie de máxima regresión (SRM-E4), sobre la cual se sobrepone respectivamente, un intervalo de 40 y 200 metros de asociaciones de facies de estuario, marea y de plataforma, y marcan el inicio del tracto del sistema transgresivo (TST-E4).

La superficie de máxima inundación (SIM-E4) se ubica en el intervalo pelítico de la porción superior del TST-E4, que se puede identificar en los perfiles eléctricos por la inversión de la respuesta del perfil de GR, más específicamente en la parte central de la Formación Ostrea (Miembro "D"), en el centro y este de la cuenca, y también en la parte central de la Formación Palegreda, al sur.

El intervalo por encima de SIM-E4 presenta una tendencia progradacional característica del tracto del sistema de nivel alto (TSNA-E4), resultando en la aparición de depósitos de playa en la porción central de la cuenca, con reducida influencia de marea (Carrillo et. al, 2009). Se definen litoestratigráficamente como el Miembro Peña Negra de la parte superior de la Formación Ostrea, en el centro de la cuenca, y como la porción inferior de la Formación Pariñas, en el centro-sur. Este mismo intervalo estratigráfico se vuelve mucho más arcilloso hacia el sur de la cuenca, cerca del afloramiento Negritos, donde se define como la porción superior de la Formación Palegreda.

Estratigrafía de Secuencias de Alta Resolución

Es posible establecer ciclos de alta frecuencia dentro del TSNB-E4 y TST-E4 de la secuencia E4.

El TSNB-E4 está compuesto, en el centro y al este, por abanicos aluviales y, en el sur, por sistemas deltaicos; el TST-E4, en el centro, por plataforma media y, en el sur, por plataforma marina profunda; y el TSNA-E4, en el centro, por una plataforma clástica progradante y, en el sur, por una plataforma marina profunda.

Las cuatro AF descritas del sistema deltaico (prodelta, frente deltaico distal, proximal y planicie deltaica/canales distributarios) en el TSNB-E4 (Formación Salina) en la porción sur de la cuenca, se superponen rítmica y verticalmente, formando ciclos principalmente granodecrecientes ascendente, con espesores de 7 a 20 m, que representa la progradación deltaica en ciclos individuales. Cada

ciclo está formado por al menos tres, pero, en la mayoría de los casos, por cuatro asociaciones faciológicas.

CONCLUSIONES

El análisis estratigráfico propuesto se desarrolló a partir de datos de afloramientos (áreas Sur y Este) y pozos (todas las áreas), mediante la identificación, interpretación y asociación de facies sedimentarias. Con base en datos de pozos asociados a criterios faciológicos, se estableció la integración roca-perfil, que permitió el reconocimiento de superficies estratigráficas en el subsuelo y también fortaleció la definición de sistemas deposicionales, paso fundamental en la construcción de un entramado estratigráfico de 3er orden. Se propusieron dos secuencias de 3er orden, que cubren los depósitos del Eoceno, incluidos en el Grupo

Salina y trazables por decenas de kilómetros, principalmente en las áreas central, este y sur de la cuenca.

La estratigrafía secuencial resultó adecuada para la caracterización cronoestratigráfica de la secuencia E4, estudiada con mayor detalle, con depósitos de sistemas de abanico aluvial en TSNB-E4, plataforma marina transgresiva en TST-E4 y plataforma clástica progradante en TSNA-E4, estos correspondientes a los reservorios de hidrocarburos más importantes de toda la cuenca.

De lo anterior se concluye que, para el área y para los intervalos estudiados, un análisis sedimentario basado en la metodología de la estratigrafía secuencial es coherente y predictivo, y debe ser considerado como base para futuras investigaciones con enfoque en alta resolución.

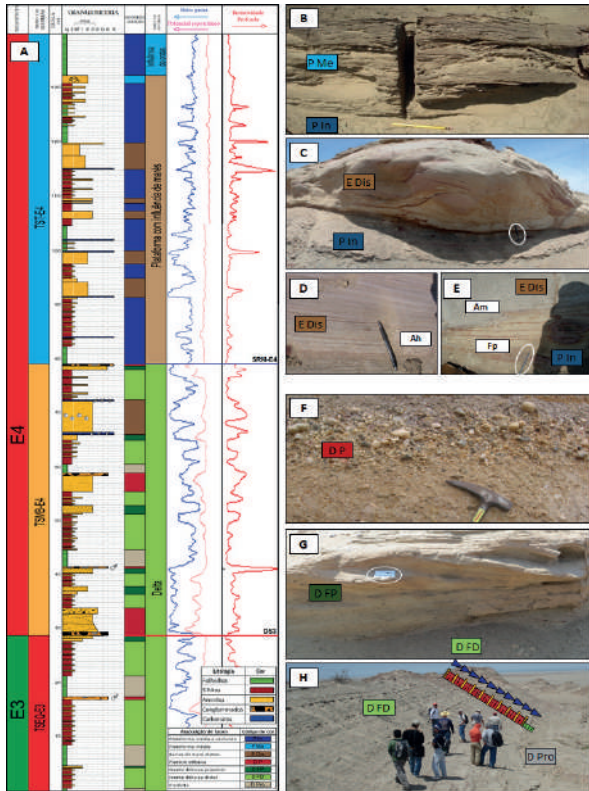


Figure 2 5Sistemas depositacionales deltaico, estuario y de plataforma. A) Perfil columnar correspondiente a la sucesion vertical con dominio de olas, de la izquierda para la derecha: facies sedimentarias, AF interpretadas e integracion roca-perfil mediante los perfiles de rayos gama (azul), potencial espontaneo (rosa) y resistividad (rojo) de pozos proximos (3.5 km). B) AF plataforma media (P Me). C) AF Barras de marea distales (E Dis) y planicie inferior a profunda (P In), compuesta por las facies de D) areniscas con estratificacion de plano paralela (Ah), E) areniscas masivas (Am). F) AF de planicie deltaicas/canales distributarios (D P). G) AF de frente deltaica proximal (D FP) y distal (D FD). H) AF de frente deltaica distal e prodelta (D Pro).

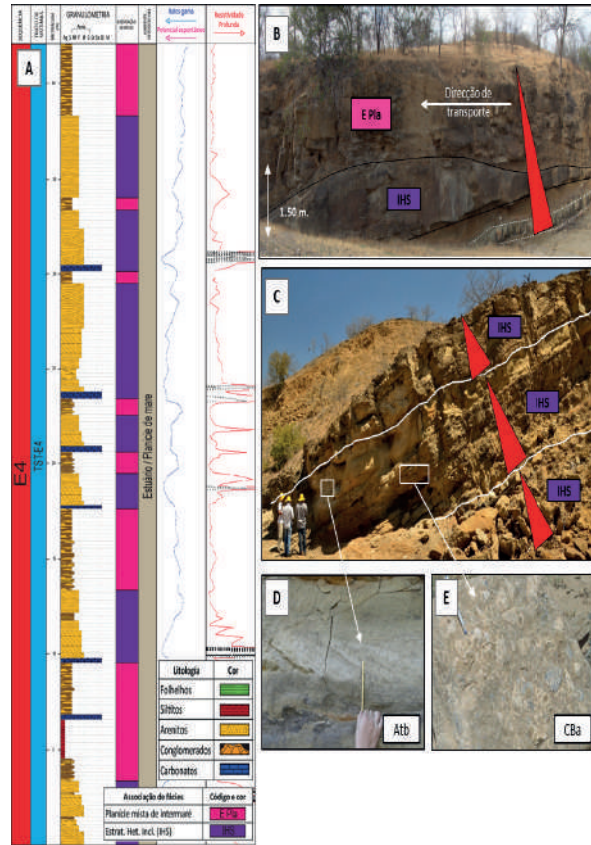


Figure 3 7Sistemas depositacionales estuario/planicie de marea. A) Perfil columnar en el area de Quebrada Canas, en el intervalo correspondiente al Sistema estuario/planicie de marea, mostrando de izquierda a derecha: facies sedimentarias descritas, AF interpretadas e integracion roca-perfil mediante los perfiles de rayos Gama (azul), potencial espontaneo (rosa) y resistividad (rojo) de pozos proximos (2.0 Km). B y C) AF de: Planicie mixtra de intermarea (E Pla) y estratificacion heterolitica inclinada (HIS) compuesta por facies de D) areniscas con estratificacion cruzada por marea (Atb) y E) Conclomerados de ostras y turritelas de tamaño grande (C Ba)

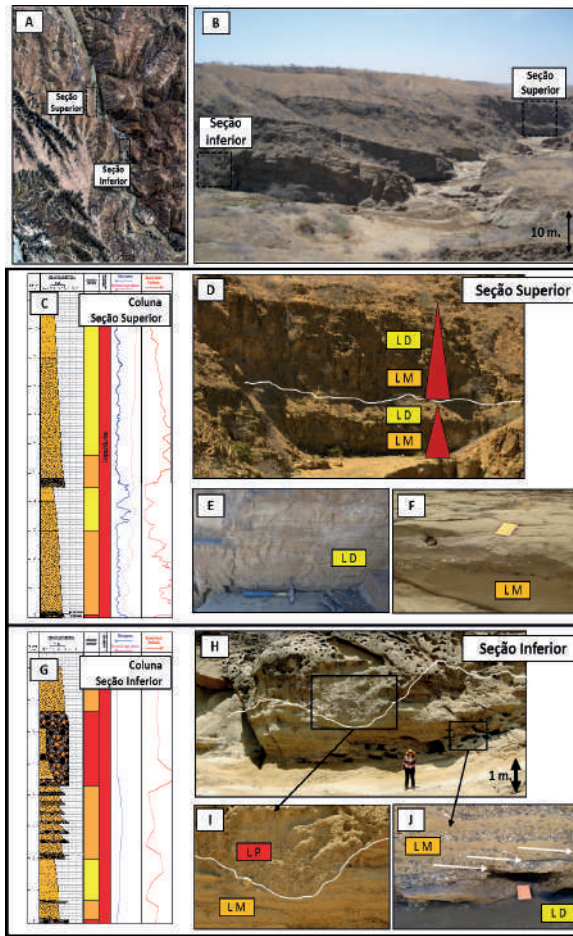


Figure 4 11 A y B) Imagen de satellite y foto panoramica de la localizacion de dos columnas descritas: superior e inferior en el área de la quebrada Salado. En la porción superior, C) perfil columnar, D) foto panorámica, E) AF de abanicos aluviales distales (L D) y F) de abanicos aluviales medianos (L M). en la porción inferior, G) perfil columnar, H) Foto panorámica, I) AF de abanicos aluviales medianos (L M) y de abanicos aluviales proximales (L P) y J) AF de abanicos aluviales medianos (L M) y de abanicos aluviales distales (L D). Los perfiles columnares muestran, de izquierda a derecha: facies sedimentarias, AF interpretadas e integración roca-erfil mediante los perfiles de rayos Gama (Azul), potencial espontaneo (rosa) y resistividade (rojo) de pozos próximos 2 Km.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J. 1970. Studies in fluvial sedimentation: a comparison of fining-upward cyclotherms, with special reference to coarse-member compo-

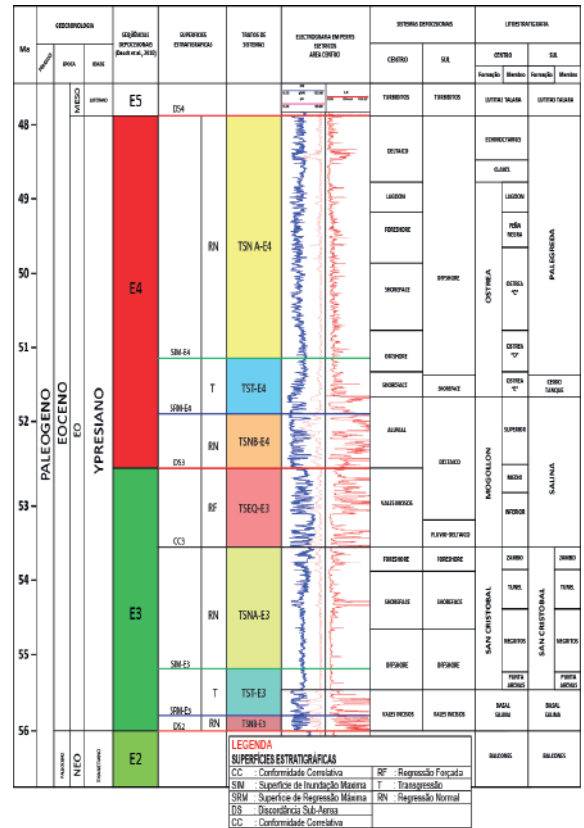


Figure 5 12 Cronoestratigrafía de las secuencias eocénicas E3 y E4, mostrando las principales superficies estratigráficas, trectos de sistemas, respuesta electrográfica, ambientes depositacionales y la correspondencia litoestratigráfica de los intervalos en las áreas centro y sur de la cuenca.

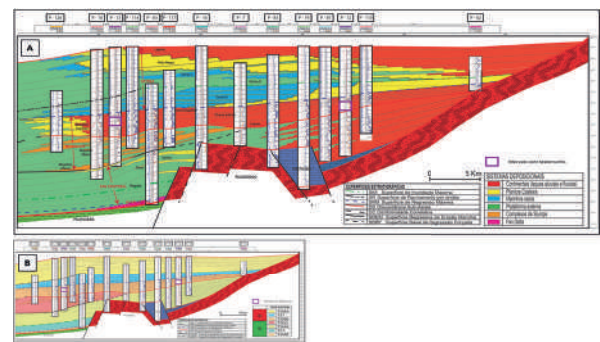


Figure 6 13 Sección transversal oeste-este en la parte central de la Cuenca mostrando: A) las principales superficies estratigráficas, distribución de las facies, sistemas depositacionales y formaciones litoestratigráficas; B) Trectos de Sistema para las secuencias E3 y E4 del Eoceno. Pozos P-10, 13, 114, 83, 117, 16, 7 y 83 fueron usados por Daudt et al, 2010.

sition and interpretation. *Journal of Sedimentary Research (SEPM)*, 40: 298-323.