

Sedimentología y Bioestratigrafía de alta resolución como herramienta para la caracterización del Flanco Norte del campo el Furrial, Venezuela

J.D. SANCHEZ, I. DURAN, D. CABRERA

PDVSA-Intevep, Apartado. 76343, Caracas 1070A, Venezuela (sanchezjido@pdvsa.com)

ABSTRACT

El yacimiento Naricual Superior, representa el principal productor de petróleo en el Campo El Furrial, en Venezuela. En este estudio, se realizó el análisis sedimentológico-bioestratigráfico en un núcleo de la Formación Naricual, el cual fue datado como Oligoceno tardío a Mioceno temprano. La integración de la información permitió obtener un mejor conocimiento de la geología del flanco norte del área.

Mediante la interpretación sedimentológica se definieron 12 asociaciones de facies las cuales varían desde ambientes deltaicos, costeros y plataformales. Esta interpretación se basó en aspectos como litología, estructuras sedimentarias e icnofósiles aunado a las interpretaciones paleoambientales producto del estudio bioestratigráfico. Las asociaciones de facies de canal distributivo con influencia de mareas, imparten la mayor heterogeneidad macroscópica al yacimiento, basado en las características sedimentológicas reportadas. Asimismo, las facies de bahía interdistributaria y plataforma interna a media representan los sellos, debido a sus espesores y su distribución areal, lo cual fue corroborado mediante correlaciones estratigráficas.

En el campo El Furrial se utilizó el concepto de unidades genéticas, con el cual se definen unidades sedimentarias utilizando superficies de máxima inundación. Se reconocieron 4 unidades sedimentarias las cuales presentan continuidad lateral en todo el campo. Las unidades, reportan altos valores petrofísicos, alcanzando una porosidad de 13% y una permeabilidad de 785 mD. Esta caracterización contribuye en el mejor conocimiento estratigráfico al norte del Campo El Furrial, minimizando de esta manera la incertidumbre geológica del área (Sánchez *et al.* 2004).

INTRODUCCION

El campo El Furrial está ubicado en el Norte de Monagas, en la subcuenca de Maturín (Cuenca Oriental de Venezuela). Está limitado

hacia el norte por el campo Jusepín, hacia el sur por el corrimiento del Furrial (subsuelo), hacia el este por el campo Corozo y hacia el oeste limita con el campo Carito (Figura 1).

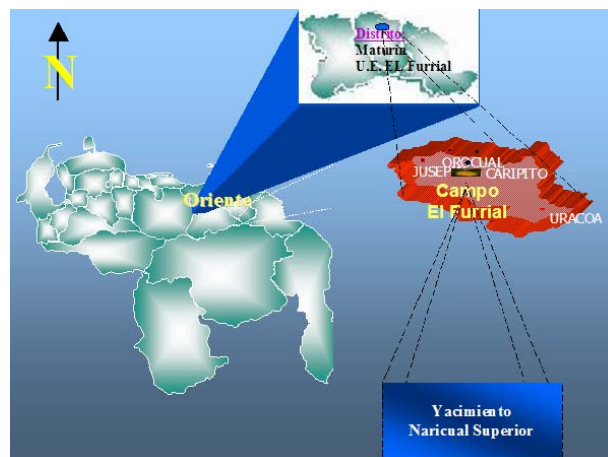


Figura 1. Mapa de localización del campo El Furrial, en el estado Monagas Venezuela

El campo El Furrial, está representado por un anticlinal de rampa de 14 Km de longitud y 6 Km de ancho orientado en dirección suroeste-noreste, con un buzamiento de 15 grados en su flanco norte y 25 grados en su flanco sur (Uroza *et al.*, 2002). El pozo en estudio se encuentra ubicado al noreste del campo El Furrial, en el Norte de Monagas (Figura 2). Los núcleos del pozo, corresponden en secuencia vertical, a las unidades A, B, C y D definidas según el modelo sedimentológico del intervalo Naricual Superior (Uroza *op Cit*).

En el pozo seleccionado se estudió la secuencia Naricual Superior, de edad Oligoceno tardío – Mioceno temprano (Figura 3). Esta secuencia está compuesta principalmente de areniscas gruesas intercaladas con lutitas grises y algunos carbones. Las areniscas son típicamente masivas, de color claro, cuarzosas, friables a cuarcíticas y de grano medio a grueso (González de Juana *et al.* 1980; Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1970).

Según Peirson (1965), el ambiente sedimentario del intervalo Naricual Superior,

corresponde a una fase regresiva en aguas dulces a muy salobres, relacionado a un sistema deltaico grande o una región amplia de tierras bajas pantanosas. Peirson (*op Cit*) sugirió una fuente de sedimentos en el Escudo de Guayana para Naricual y una fuente hacia el norte de terrenos en levantamiento para las unidades ftaníticas suprayacentes.

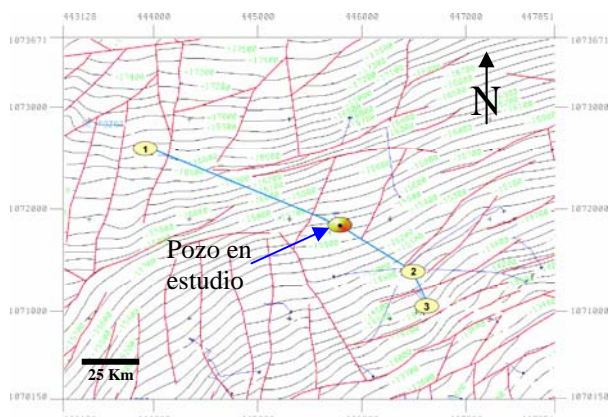


Figura 2. Ubicación del pozo en estudio, Flanco Norte del campo El Furrial.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA CAMPO EL FURRIAL					
YACIMIENTO	AMBIENTE	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	ESPESOR	REGISTRO TIPO (GR)	MARCADORES PRINCIPALES
NARICUAL SUPERIOR	PLATAFORMA INTERNA	LUTITAS GRISES FOSILIFERAS	900'		M3 (MFS)
	SISTEMA DELTAICO (Canales Distributarios y Bahías Salobres con algunos Abanicos de Rotura y Barras de Desembocadura)	ARENISCAS GRANOS MEDIOS A GRUESOS INTERCALADAS CON LUTITAS GRISES			
	BARRAS DE ANTEPLAYA Y LUTITAS MARINAS	ARENISCAS GRANOS MEDIOS A GRUESOS INTERCALADAS CON LUTITAS GRISES			
		LUTITAS GRISES CON			

Figura 3. Columna estratigráfica generalizada. (Modificado de Uroza *et al.*, 2002).

METODOLOGIA

Corte y preparación de los núcleos

Se cortaron 403,84 pies de núcleo en el intervalo comprendido entre 16363 a 16808 pies de profundidad. Una vez realizado el corte de cada núcleo se procedió a la corrida del registro CORE-GAMMA. Para la corrida de este perfil, se utilizó un aparato de rayos gamma, el cual tomó 5 lecturas por cada pie en los intervalos seccionados. La sección de 1/3 se utilizó para la descripción sedimentológica detallada, correlación núcleo-perfil y registros fotográficos.

Por otra parte, sobre cada sección de 2/3, se tomaron muestras para ser procesadas para los análisis petrográficos, bioestratigráficos y petrofísicos.

Calibración Núcleo-Perfil

La calibración núcleo-perfil de los núcleos del pozo, consistió en la corrección de las profundidades de perforación, así como en el ajuste con el registro Gamma Ray del pozo. La variedad de litologías en el núcleo junto con el perfil Core-Gamma fue comparada con la respuesta obtenida en el registro de rayos gamma a escala 1:200. Esta correlación permitió establecer un desfase que varía de 2 a 6 pies según cada sección de núcleo.

Toma de tapones para análisis convencionales

La selección y toma de tapones para establecer las propiedades petrofísicas del intervalo Naricual Superior, se realizó en las instalaciones de PDVSA-Intevep. Para la selección de los tapones se consideraron criterios sedimentológicos y petrofísicos tales como litofacies (litología, tamaño de grano, estructuras sedimentarias), impregnación, contactos, etc.

Análisis Bioestratigráficos

Con la finalidad de determinar la edad y el paleoambiente de sedimentación de la secuencia sedimentaria estudiada, se realizaron análisis bioestratigráficos que incluyen el estudio de foraminíferos, palinología y nanoplancton calcáreo a 79 muestras de núcleo convencional.

En cuanto a las muestras se aplicó la metodología estándar utilizada en los laboratorios de PDVSA Intevep para cada una de las especialidades, además se aplicó el estudio de Nanofacies (Durán 1996) con la finalidad de obtener información sobre las tendencias paleoambientales a lo largo del intervalo analizado.

Con este método se logra inferir a lo largo de la secuencia, variaciones en la tendencia paleoambiental, utilizando la contraposición de las sumatorias de los elementos marinos vs terrígenos. Además los picos de nanoflora, sumados a otros marinos (fósiles, minerales, materia orgánica de origen marino), permitieron inferir candidatos para superficies de máxima inundación (MFS). Contrapuesto a esto, basado

en los picos de elementos considerados terrígenos, se infieren posibles límites de secuencia (SB). Los resultados obtenidos de la aplicación de esta metodología se correlacionaron con los picos de diversidad y abundancia de foraminíferos pláncnicos y de palinomorfos de origen marino, avalando los máximos de inundación (MFS) propuestos.

Las zonaciones empleadas para las determinaciones de edad fueron la zonación de Martini (1971) para nanoplancton, Blow (1969) en Bolli y Saunders (1985) para foraminíferos, Muller *et al.* (1987) para palinología y Williams y Bujak (1985), para dinoflagelados.

Descripción sedimentológica detallada e interpretación de resultados

Para la descripción sedimentológica detallada e interpretación, se realizaron actividades como:

- Calibración núcleo-perfil.
- Subdivisión en intervalos litológicos generales y descripción de los contactos entre estos intervalos.
- Revisión de marcadores estratigráficos.
- Descripción detallada de la granulometría y textura.
- Descripción detallada de la estratificación, estructuras sedimentarias primarias, bioturbación, componentes accesorios y color.
- Carga y graficación en *AppleCore*.
- Subdivisión en litofacies y revisión de los contactos.
- Agrupación en asociaciones de facies.
- Interpretación de paleoambientes.
- Integración con datos bioestratigráficos y petrofísicos.

RESULTADOS BIOESTRATIGRÁFICOS

La integración cronoestratigráfica de alta resolución, proporcionó los siguientes resultados Mioceno temprano (16419'6" a 16808') y Mioceno temprano a Oligoceno tardío (16808' 16979'). Estos resultados bioestratigráficos están basados en la sinergia de 3 disciplinas: Nanofósiles calcáreos, Palinología y Foraminíferos (Figura 4). En el estudio de Nanoplancton se observó predominio de materiales terrígenos. Sin embargo se reporta fluctuaciones marinas en varios intervalos en los cuales se hace presente cierta asociación de nanoflora calcárea, ésta no es muy abundante y por ende no permite obtener una datación detallada del intervalo. Basado en lo observado se interpretó edad Oligoceno tardío a

Mioceno temprano entre 16438'2"- 16716'3", basado en la asociación observada y específicamente en la ocurrencia de *Triquetrorhadulus carinatus* (NP24-NN3), *Discoaster adamanteus* (NP24-NN3).

Se determina un intervalo edad Mioceno temprano (16419'6"-16808') por la presencia de especies marcadores de palinomorfos como lo son *Psilatricolporites pachydermatus* (Mioceno temprano - Mioceno medio) y la presencia del dinoflagelado *Cribrerodinium tenuitabulatum* (Eoceno – Mioceno temprano) en el intervalo de 16419'6" a 16808'. Esta determinación es soportada por la presencia de nanofósiles entre 16438'2"-16716'3", de *Triquetrorhadulus carinatus* (NP 24 – NN 3), *Discoaster adamanteus* (NP24-NN3) y por la presencia de especies de foraminíferos planctónicos como *Globorotalia obesa* y *Cassigerinella chipolensis*, entre otros, nos indica una edad Mioceno Medio a Temprano, zona *G. fohsi peripheroronda* a *G. kugleri* (Bolli *et al.*, 1985) en el intervalo 16496-16515'6".

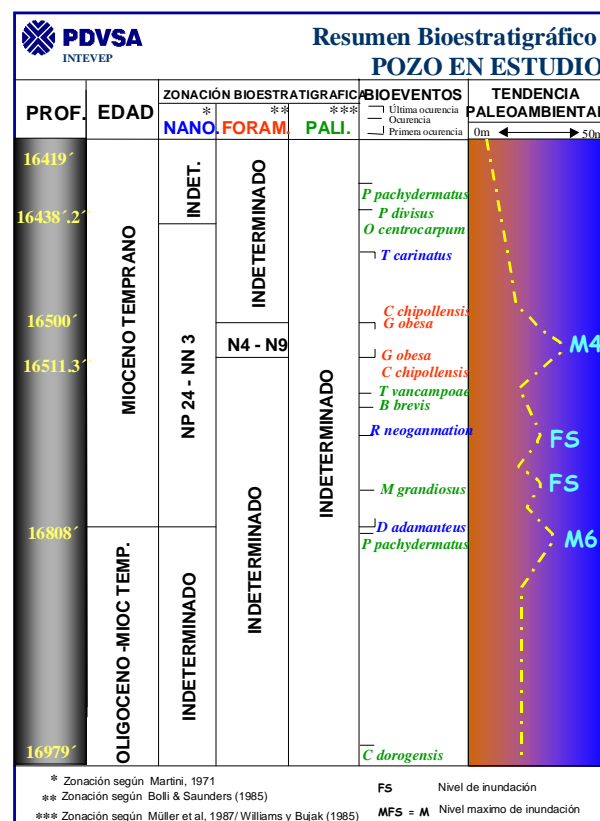


Figura 4. Resumen bioestratigráfico del pozo en estudio.

Se determina un intervalo de edad Mioceno temprano-Oligoceno tardío (16808'-16979') por la presencia de especies marcadores de palinomorfos debido a que no se reportan

especies de foraminíferos planctónicos índices ni nanofósiles calcáreos. Esta asignación se basa en la posición estratigráfica por debajo de la presencia más baja del polen *P. pachydermatus* (Mioceno temprano - Mioceno medio) en la muestra 16808' y la presencia más alta estratigráficamente de la espora *Cicatricosisporites dorogensis* (Eoceno medio – Oligoceno) en la muestra 16979'.

En cuanto a foraminíferos se observó el intervalo superior muy diversificado con relativa abundancia, se destacan especies calcáreas tales como *Valvulineria* sp., *Nonionoides grateloupi*, *Nonionella opima* y béticos de pared arenácea. entre los foraminíferos plácticos tenemos *Globorotalia obesa* y *Cassigerinella chipolensis*, entre otros.

La paleobatimetría corresponde a nerítico interno a medio. La edad es Mioceno medio a Mioceno temprano, Zona N9-N4 (Blow, 1966 en Bolli et al., 1985). En el intervalo inferior la mayoría de la fauna identificada pertenece a foraminíferos de pared arenácea, principalmente los géneros *Eggerella*, *Ammobaculites* y *Haplophragmoides* con menor proporción de béticos calcáreos y planctónicos, lo cual nos sugiere paleobatimetrías de nerítico interno. La presencia de *Globorotalia obesa*, y *Cassigerinella chipolensis*, entre otros, nos indica una edad Mioceno medio a temprano, zona G. *fohshi peripheroronda* a *G. kugleri* (Bolli et al., 1985).

Tendencia Paleoambiental

En la secuencia analizada se observó en general un predominio de aporte continental identificado por la presencia de materia orgánica abundante además de la presencia de esporas de hongos, granos de polen, etc., lo cual nos indica la cercanía al continente. Sin embargo observando las tendencias, se puede dividir la secuencia en dos, la parte basal (16808' - 16798'1") y la parte superior (16796'8"-16367'3"), en la que se observa una sedimentación con alta incidencia de elementos terrígenos, con incursiones marinas, marcadas no solo por la incidencia de nanoflora calcárea sino por la presencia de otros indicadores marinos como son: glauconita, y foraminíferos.

La Formación Naricual representa sedimentación en ambientes transicionales a nerítico interno. Las superficies de inundación M6, M5 y m3-2, son localizadas en ambientes transicionales, tales como bahías y lagunas con niveles carbonosos y paleosuelos asociados. El nivel M6 presenta una excelente extensión lateral,

mientras la superficie M5 tiende a desaparecer hacia el oeste del campo El Furrial, debido a cambios laterales de facies (mayor influencia fluvial). La superficie M4 corresponde a niveles de inundación representados por arcillas de plataforma interna.

ANALISIS SEDIMENTOLOGICO DE NARICUAL SUPERIOR

Facies Sedimentarias Descriptivas

Los núcleos descritos están caracterizados principalmente por areniscas de grano medio. Se identificaron 19 facies sedimentarias descriptivas. Estas facies se definieron tomando en cuenta parámetros tales como litología, granulometría, composición mineralógica, fósiles, icnofósiles y estructuras sedimentarias. Lo anterior, sirvió como base para corroborar la nomenclatura que facilita la interpretación de los procesos sedimentarios y la correlación con propiedades petrofísicas (Figura 5). Estas facies corresponden a:

- Facies carbonosa (FC)
- Facies de paleoraíces (FP)
- Facies de lutitas (FL1)
- Facies de limolitas (FL2)
- Facies limolitas ó lutitas con fragmentos de conchas (FL3)
- Facies de limolitas ó lutitas bioturbadas (FLB)
- Facies heterolítica de limolitas o lutitas (FH1)
- Facies heterolítica de areniscas (FH2)
- Facies heterolítica bioturbada (FHB)
- Facies de areniscas con granos de cuarzo grueso (FA1).
- Facies areniscas con láminas de arcilla (FA2).
- Facies de arenisca con rizaduras (FA3)
- Facies de arenisca con estratificación Hummocky (FA4).
- Facies de arenisca con estratificación paralela (FA5).
- Facies con estratificación cruzada (FA6).
- Facies de arenisca con granos de cuarzo dispuestos en láminas. (FA7).
- Facies de arenisca masiva (FA9)
- Facies de arenisca limosa bioturbada (FAB1),
- Facies intensamente bioturbada (FAB2)

Las facies descriptivas que presentan el mayor espesor en toda la columna estratigráfica en estudio son las facies FA6 con 137.8 pies. Asimismo esta facies presenta los mejores valores petrofísicos con porosidades que

alcanzan hasta un 13,93% y permeabilidades de hasta 785 mD (Figura 5).

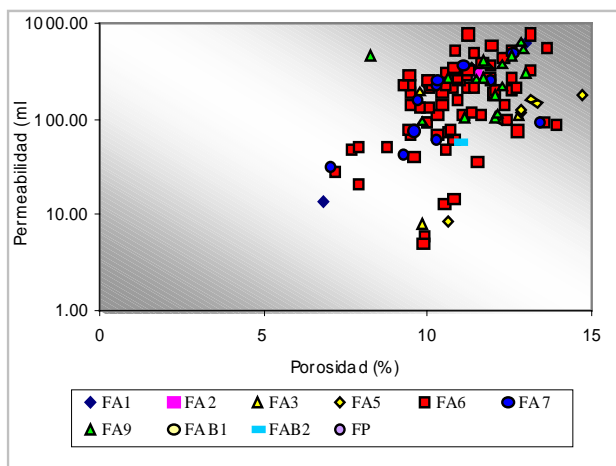


Figura 5 Valores de Porosidad (%) y Permeabilidad (mD) obtenidos de los análisis convencionales de los núcleos del pozo en estudio, para las facies sedimentarias descriptivas.

Ambientes de Sedimentación por unidad sedimentaria.

Las facies sedimentarias descriptivas, fueron agrupadas con la finalidad de definir el ambiente de sedimentación. La facies de canales distributarios con influencia de mareas representan un 41,28% en la columna sedimentológica (Tabla 1).

En el campo El Furrial se utilizó el concepto de unidades genéticas, con el cual se definen unidades sedimentarias utilizando superficies de máxima inundación. Se reconocieron 4 unidades sedimentarias las cuales presentan continuidad lateral en todo el campo (Figura 6). Estas unidades están delimitadas por superficies de inundación. A continuación se describe la sedimentología interpretada en detalle para cada una de las unidades sedimentarias del pozo.

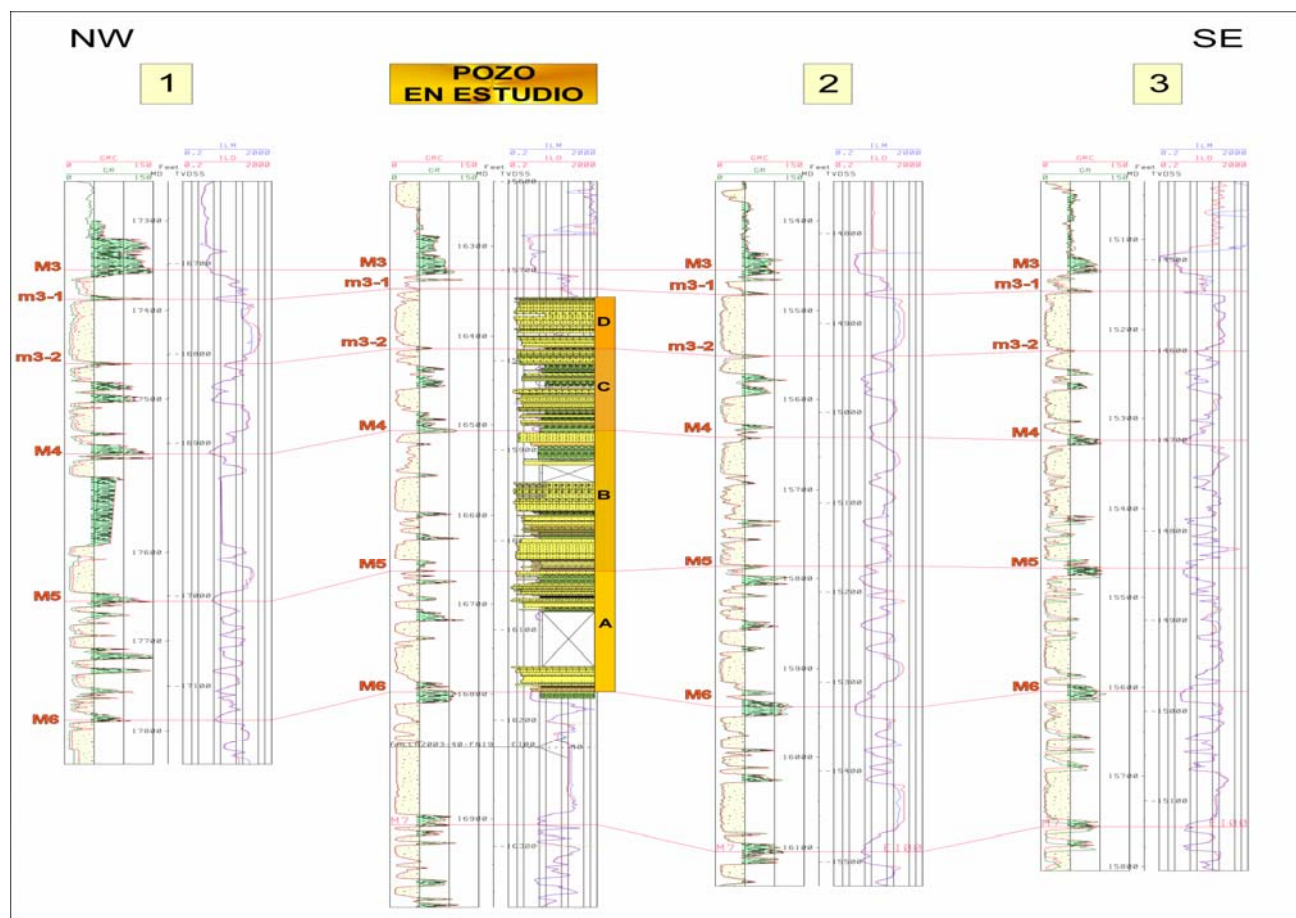


Figura 6. Correlación estratigráfica del pozo en estudio con los pozos 1, 2 y 3, Flanco Norte del Campo El Furrial. Se puede observar la continuidad lateral de las unidades sedimentarias A, B, C y D.

Tabla 1. Asociaciones de facies con sus espesores

Ambientes de Sedimentación	Espesor	Porcentaje (%)
Plataforma interna	8,21	2,03
Plataforma interna a media	10,33	2,56
Barra de anteplaya distal	30,58	7,57
Barra de anteplaya proximal	33,73	8,35
Isla Barrera	31,55	7,81
Bahía Interdistributaria	62,27	15,42
Marisma	17,44	4,32
Canal distributivo	166,72	41,28
Canal estuarino	17,95	4,44
Canal de marea	18,63	4,61
Paleosuelo	2,09	0,52
Abanico de Rotura	4,34	1,07
TOTAL	403,84	100,00

Unidad A (16808 – 16668 pies)

La unidad sedimentaria A presenta un espesor de 140 pies, en el intervalo 16808 y los 16668 pies. Esta unidad está definida entre los marcadores estratigráficos M6 y M5. Está constituida principalmente por las facies de canales distributarios con un 39% (Figura 7). La unidad A presenta ambientes de sedimentación (Figura 6) que en secuencia estratigráfica vertical varían:

Plataforma interna

Está constituida por sedimentos finos como limo y arcillas. Su espesor en la unidad es de 3.33 pies. La bioestratigrafía interpreta condiciones del tipo nerítico interno.

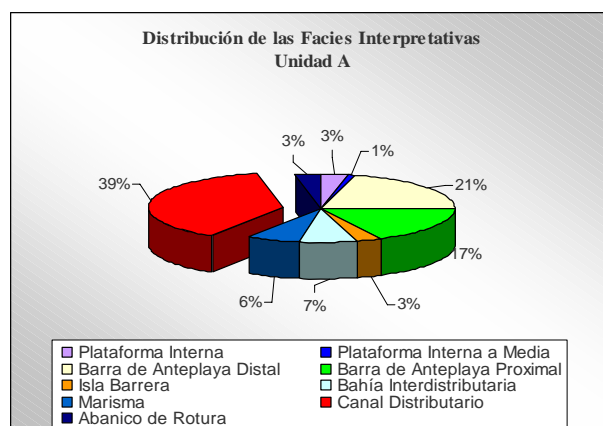


Figura 7. Distribución de las facies sedimentarias interpretativas en la unidad A del pozo en estudio.

Plataforma interna a media

La asociación de lutitas de plataforma interna a media está constituida por sedimentos finos como limo y arcillas transportados correspondientes a las facies FL1. Su espesor en

la unidad es de 1.46 pies. La bioestratigrafía interpreta una mayor profundización que indican condiciones del tipo nerítico interno a medio. Los resultados de nanofacies proponen una superficie de inundación a los 16716'3".

Barra de Anteplaya Distal.

La asociación de facies de Barras de anteplaya distal, está constituida por sedimentos con un espesor que varía entre 1.67 y 11.37 pies. Esta asociación de facies presenta granos de cuarzo grueso dispuestos en lámina lo cual sugiere niveles de reactivación de energía. La bioturbación es moderada a intensa. Se evidencian trazas fósiles tales como: *Rizocorallium*, *Teichichnus*, *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Palaeophycus* y *Asterosoma*. Estas trazas principalmente están asociadas a ambientes más distales, de menor energía y con una mayor actividad de los procesos biogénicos (Buatois et al., 2002). Según las asociaciones de icnofósiles interpretadas, corresponde a la icnofacies *Skolithos* - *Cruziana*. Las estructuras físicas dominantes son la estratificación cruzada planar hacia el tope de las barras, y la estratificación cruzada del tipo "hummocky", la cual sugiere acción de las olas durante períodos de tormentas. Presenta fracturas abiertas y cerradas en algunos intervalos, estando algunas cementadas por material arcilloso.

Barra de Anteplaya Proximal

Las barras de anteplaya proximal presentan un espesor que no supera los 6,92 pies. Presenta una tendencia granocreciente (grano fino a muy grueso). Principalmente predominan las estructuras del tipo estratificación cruzada planar (Figura 8), así como en menor proporción estratificación paralela y rizaduras unidireccionales. Lo anterior, sugiere un ambiente de alta energía. En esta asociación los procesos físicos predominan sobre los biogénicos por lo cual la diversidad de icnofósiles es mínima. Solo se reconocen trazas fósiles tales como *Ophiomorpha nodosa* y *Skolithos*, sugiriendo una icnofacies de *Skolithos*.

Barra Costera: Isla de Barrera.

La asociación de facies de Isla de Barrera presenta un espesor de 3.92 pies. La secuencia granocreciente es de grano fino a medio. En el ámbito icnológico se reconocen trazas fósiles de *Macarronichnus*, *Palaeophycus*, y *Planolites*. Estas trazas evidencian una bioturbación intensa.

Su asociación corresponde a la icnofacies Skolitos – Cruziana, lo cual da indicios de un ambiente correspondiente a la parte superior de las barras costeras. Presenta granos dispersos de cuarzo grueso lo cual muestra cambios de energía. No se reconocen estructuras sedimentarias debido al alto grado de bioturbación.

Abanico de rotura.

Los abanicos de rotura están constituidos por cuerpos arenosos que se alternan verticalmente con sedimentos finos de la llanura deltaica o de la bahía interdistributaria. El material fino se deposita en períodos de aguas bajas cuando cesa el suministro de material arenoso (Allen, 1997). Se caracteriza por areniscas de grano medio a grueso y en algunos casos presentan una granulometría conglomerática. Predomina la estratificación cruzada de bajo ángulo. Con estas diferencias en la granulometría se podría inferir si el intervalo se encuentra en la parte distal o proximal de un abanico de rotura.

Canal distributivo con influencia de marea

Los canales distributarios constituidos por arena de grano fino a grueso, con una base erosiva y granulometría granodecreciente. La tendencia granulométrica es de grano decreciente hacia el tope, presentando capas o láminas de lutitas que se depositan cuando hay una disminución de la energía. La energía se incrementa en aquellos niveles que evidencian granos de cuarzo grueso dispuestos en bandas.

El espesor de estos canales distributarios varía entre 3.2 y 22.16 pies. Esta facies alcanza un 39% en la unidad A. En la base los canales pueden tener areniscas con laminaciones discontinuas de arcilla, con estratificación cruzada planar de alto ángulo y en menor frecuencia estratificación paralela. Las rizaduras unidireccionales y la laminación flaser se evidencian hacia al tope. Presenta algunos minerales accesorios tales como pirita y siderita.

Los canales distributarios debido a fuertes cambios de energía y carga de sedimentos, no poseen bioturbación intensa (Buatois et al., 2002). Sin embargo algunas trazas verticales se pueden encontrar en fases de abandono de canal, específicamente trazas de *Ophiomorpha* y *Bergaueria*. En estos cuerpos sedimentarios de canal distributivo se evidencia bioturbación leve a moderada de *Ophiomorpha Nodosa*.

Bahía Interdistributaria

Las bahías interdistributarias son cuerpos de agua ubicados en los lóbulos de los deltas, limitados lateralmente por los diques fluviales o por marismas costeros, los cuales están comunicados con el mar por los canales de marea. Presenta espesores que alcanzan los 5.83 pies. Según los análisis bioestratigráficos, debido a la escasa a moderada presencia de fósiles, se interpretan ambientes que varían desde transicionales a continentales. Esta asociación de facies presenta niveles con laminaciones discontinuas y onduladas de arcillas, así como la presencia de pirita. Esta asociación no representa ningún potencial de hidrocarburo, aunque puede constituir localmente delgados sellos, y así aumentar la heterogeneidad del yacimiento. En el intervalo 16742' 7" - 16736' 9", la bioturbación es moderada a alta, en donde se distinguen trazas fósiles de *Thalassinoides*. Esta combinación sugiere una icnofacies de aguas salobres, con lo cual se interpreta en este nivel (16742' 7" - 16736' 9") una asociación de facies de bahía interdistributaria con alta influencia marina. Es importante mencionar que el marcador estratigráfico M5 (16665'10" a 16667'10") el cual es el tope de la unidad A, se identifica como una superficie de máxima inundación (MFS) localizada geográficamente en ambientes transicionales, tales como bahías y lagunas con niveles carbonosos y paleosuelos asociados (Uroza et al., 2002).



Figura 8. Estratificación cruzada planar de bajo ángulo en barra de anteplaya proximal. Obsérvese una falla inversa (Profundidad: 16708'6" a 16709').

Marisma

Las facies de marismas están constituidas por limos, arcillas y materia orgánica y no se ven afectadas por la acción de las mareas (Allen, 1997). Presenta un espesor que alcanza los 3,92

pies. Las facies bioturbadas están caracterizadas por pseudoperforaciones de *Thalassinoides* correspondientes a las icnofacies de *Teredolites* (16700' 2"-16696' 6"). Es importante destacar que esta icnofacies en esta profundidad (16700' 2"-16696' 6") puede representar un límite de secuencia (SB).

Unidad B (16668 – 16512 pies)

La unidad sedimentaria B presenta un espesor de 156 pies en el intervalo 16668 a 16512 pies. Esta unidad está definida entre los marcadores estratigráficos M5 y M4. Está constituida principalmente por canales distributarios en un 27% (Figura 9).

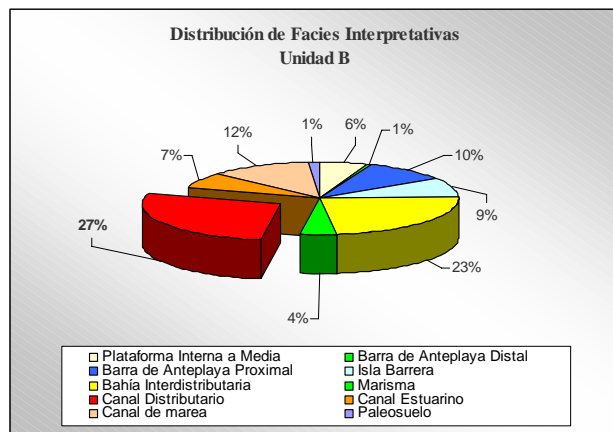


Figura 9. Distribución de las facies sedimentarias interpretativas en la unidad B del pozo en estudio.

La unidad B presenta ambientes de sedimentación que en secuencia estratigráfica vertical varían:

- Canal Estuarino

La asociación de facies de canal estuarino presenta espesores que varían entre 0.42 y 4.58. Se evidencian laminaciones de arcilla discontinuas, granos de cuarzo grueso dispersos y una superficie de reactivación. La bioturbación es alta a moderada. La bioturbación consiste de trazas fósiles de *Ophiomorpha nodosa*, *Planolites*, *Palaeophycos*, *Teichichnus*, *Rizocorallium*, *Thalassinoides* y *Skolithos*. Las icnofacies interpretadas corresponden a las icnofacies de *Skolithos* con *Cruziana* empobrecida. Estas icnofacies representan condiciones de aguas salobres que corresponden a canales estuarinos.

- Bahía Interdistributaria

Las bahías interdistributarias presentan espesores que varían entre 0.41 y 9.17 pies. Según los análisis bioestratigráficos, debido a la escasa a moderada presencia de fósiles, se interpretan ambientes que varían desde transicionales a continentales. La asociación de facies presenta niveles con laminaciones discontinuas y onduladas de arcillas, así como la presencia de pirita. Esta asociación no representa ningún potencial de hidrocarburo, aunque puede constituir localmente delgados sellos, y así aumentar la heterogeneidad del yacimiento. En el intervalo 16664' - 16657' 1½", la bioturbación es moderada a alta, en donde se distinguen trazas fósiles de *Thalassinoides* y *Planolites*. Esta combinación sugiere una icnofacies de aguas salobres, con lo cual se interpreta en este nivel (16664' - 16657' 1½") una asociación de facies de bahía interdistributaria con alta influencia marina. En el intervalo 16631' a 16629' 9" se reportaron trazas fósiles de *Skolithos*, que sugieren una icnofacies de *Skolithos*. Mientras en el intervalo 16628' 2½" - 16624' 7" presenta bioturbación de *Planolites*, *Thalassinoides*, *Rizocorallium* y *Lockeia*, los cuales en conjunto sugieren la presencia de una icnofacies de *Skolithos*. Desde los 16611' 7" y hasta los 16611' 2" se observan limolitas bioturbadas por trazas de *Thalassinoides* y *Planolites*, asociadas a pirita las cuales indican probablemente una icnofacies de *Glossifungites* (posible límite de secuencia). En el intervalo 16545' - 16534' se presenta bioturbación leve a intensa de icnofósiles tales como: *Teichichnus*, *Palaeophycus*, *Rizocorallium*, *Planolites* y *Thalassinoides*, con los cuales se puede interpretar una icnofacies de aguas salobres (Figura 10).

- Canal distributivo con influencia de marea

El espesor varía entre 19.75 y 23.5 pies. En la base los canales pueden tener areniscas con laminaciones discontinuas de arcilla, con estratificación cruzada planar de alto ángulo y en menor frecuencia estratificación paralela. Presenta algunos minerales accesorios tales como pirita y siderita. Los canales distributarios debido a fuertes cambios de energía y carga de sedimentos, no poseen bioturbación intensa (Buatois et al., 2002).

- Marisma

El espesor de esta facies, varía entre 0.83 y 3.29 pies. Se reconocieron trazas fósiles de

Teichichnus, *Planolites*, *Thalassinoides* y *Palaeophycus*.

- Paleosuelo

El espesor de estos paleosuelos es de 1.67 y 0.42 pies, respectivamente. Esta facies presenta bioturbación de paleoraíces.

- Canal de marea

La asociación de facies de canal de marea presenta un espesor de 4.83 pies y 8.88 pies. Estos canales presentan en sus bases clastos de arcilla y laminaciones discontinuas de arcillas. Se reconocen estructuras físicas tales como rizaduras unidireccionales y laminación flaser.

En algunos niveles presentan láminas de cuarzo grueso. Generalmente los canales de marea se encuentran en las llanuras de marea formando depósitos de arena con base erosiva y un contacto en el tope mas o menos gradual con los sedimentos arcillosos de la llanura de marea (Reineck *et. al*, 1980).

- Barra Costera: Isla de Barrera.

El espesor de esta facies es de 1.54 y 12.08 pies. Presenta laminaciones de arcilla, laminación flaser, rizaduras unidireccionales, estratificación paralela y hacia el tope estratificación cruzada. En el ámbito icnológico se reconocen trazas fósiles de *Skolitos*, *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Planolites* y *Bergaueria*. Estas trazas evidencian una bioturbación moderada a alta. Su asociación corresponde a la icnofacies Skolitos, lo cual da indicios de un ambiente de barras costeras. Presenta granos dispersos de cuarzo grueso lo cual muestra cambios de energía.

- Barra de Anteplaya Proximal

El espesor en la unidad es de 10.75 pies. Presenta una tendencia granocreciente (grano medio a grueso) con una selección de los granos buena a moderada. Principalmente predominan las estructuras del tipo estratificación cruzada de bajo a alto ángulo. Lo anterior, sugiere un ambiente de alta energía. Presenta laminaciones de arcilla y siderita asociados a las estructuras. En esta asociación los procesos físicos predominan sobre los biogénicos por lo cual la diversidad de icnofósiles es mínima.

- Barra de Anteplaya Distal

El espesor de esta facies es de 2.92 pies. Esta asociación de facies presenta laminaciones de arcilla y menor proporción siderita. La bioturbación es alta. Se evidencian trazas fósiles de *Thalassinoides* y otras sin diferenciar. Estas trazas principalmente están asociadas a ambientes más distales, de menor energía y con una mayor actividad de los procesos biogénicos (Buatois *et al.*, 2002). Según las asociaciones de icnofósiles interpretadas, corresponde a la icnofacies *Cruziana*. Carece de estructuras físicas debido a la alta bioturbación.



Figura 10. Bioturbación moderada a intensa en bahía interdistributaria. Se reconocieron icnofósiles tales como: *Thalassinoides*, *Teichichnus*, *Rizocorallium*, *Planolites* y otras trazas fósiles sin diferenciar. (Profundidad: 16535 a 16534').

- Plataforma interna a media

Está constituida por sedimentos finos como limo y arcillas transportados, espesor 3.83 y 4.87 pies. Se identificaron foraminíferos de pared arenácea, principalmente de los géneros *Eggerella*, *Ammobaculites* y *Haplophragmoides* con menor proporción de bénticos calcáreos y planctónicos, lo cual sugiere paleobatimetrías de nerítico interno a medio.

La palinología reportó escasa presencia de pólen. En el intervalo 16605'6" a 16602', la ocurrencia de especies tales como *Eggerella scabra*, *Quinqueloculina* sp., *Nonionella* cf. *opima*, y *Textularia grenadana*, sugiere una columna de agua no mayor de 30m, por lo que se ubica en el nerítico interno. En esta facies se encuentra el marcador estratigráfico M4, el cual representa el tope de la unidad B y evidencia una excelente extensión lateral en el campo El Furrial.

Unidad C (16512 – 16419 pies)

La unidad sedimentaria C presenta un espesor de 93 pies en el intervalo 16512 a 16419 pies. Esta unidad está definida entre los marcadores estratigráficos M4 y m3-2. Está constituida principalmente por las facies de bahía interdistributarias en un 27% (Figura 11).

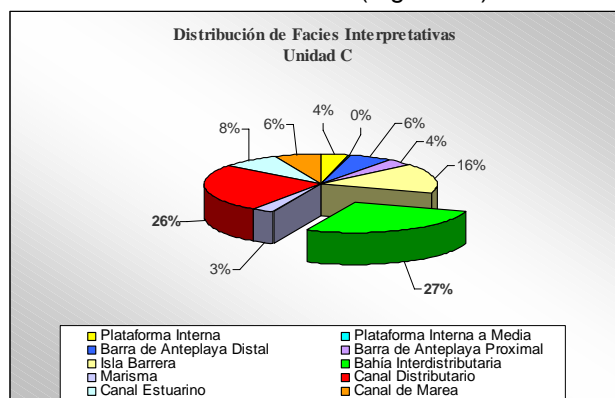


Figura 11. Distribución de las facies sedimentarias interpretativas en la unidad C del pozo en estudio.

La unidad C presenta asociaciones de facies las cuales varían:

- Plataforma interna

La asociación de lutitas de plataforma interna se encuentra en los intervalos 16505'3" a 16504'7" y 16502'1" a 16499'. Está constituida por sedimentos finos como limo y arcillas transportados. Su espesor en la unidad es de 0.59 y 3.08 pies, respectivamente. Estos sedimentos fueron reportados por análisis bioestratigráficos de foraminíferos donde destacan especies calcáreas y bénticos de pared arenácea. entre los foraminíferos plácticos interpretándose una paleobatimetría de nerítico interno.

- Plataforma interna a media

La asociación de lutitas de plataforma interna a media se encuentra en el intervalo 16496' a 16495'10". Está constituida por sedimentos finos como limo y arcillas transportados. Su espesor en la unidad es de 0.17 pies. Estos sedimentos fueron reportados por análisis bioestratigráficos de foraminíferos donde destacan especies calcáreas y bénticos de pared arenácea. La paleobatimetría es nerítico interno a medio.

- Barra de Anteplaya Distal.

La asociación de facies de barra de anteplaya distal, se encuentra en el intervalo 16495'10" a 16490'5½". El espesor de esta facies es de 5.37 pies. Esta asociación de facies presenta laminaciones lenticulares y onduladas de arcilla. La estructura física dominante es la estratificación cruzada del tipo "hummocky", la cual sugiere acción de las olas durante períodos de tormentas (Figura 12).

- Barra de Anteplaya Proximal

El espesor en la unidad es de 3.6 pies. Presenta una tendencia granocreciente (grano muy fino a medio) con una selección de los granos buena a moderada. Principalmente predominan las estructuras del tipo estratificación cruzada de bajo a alto ángulo, así como en menor proporción estratificación paralela. Lo anterior, sugiere un ambiente de alta energía. En esta asociación los procesos físicos predominan sobre los biogénicos por lo cual la diversidad de icnofósiles es mínima.



Figura 12. Laminación hummocky en barra de anteplaya distal (Profundidad: 16494'10 a 16494'2").

- Barra Costera: Isla de Barrera.

El espesor de esta facies varía entre 0.5 y 9.17 pies. Presenta una secuencia granocreciente de grano fino a grueso.

En el ámbito icnológico se reconocen trazas fósiles de *Ophiomorpha Nodosa* y *Asterosoma* en el intervalo 16436' – 16435'5". Estas trazas evidencian una bioturbación moderada a alta. Su asociación corresponde a la icnofacies Skolithos – Cruziana, lo cual da indicios de un ambiente correspondiente a la parte superior de las barras costeras. Asimismo estas facies, presenta granos dispersos de cuarzo grueso lo cual muestra cambios de energía. Presenta estructuras físicas

tales como rizaduras unidireccionales, estratificación paralela, estratificación cruzada planar y estratificación cruzada del tipo "hummocky". Esta última, sugiere la acción de las olas durante períodos de tormentas. Presenta algunas fracturas cementadas con calcita.

- Bahía Interdistributaria

Las bahías interdistributarias presentan un espesor que varía entre 0.83 y 7 pies. Según los análisis bioestratigráficos, debido a la escasa a moderada presencia de fósiles, se interpretan ambientes que varían desde transicionales a continentales.

La asociación de facies presenta niveles con laminaciones discontinuas y onduladas de arcillas, así como la presencia de pirita. De igual forma, se evidencia calcita en algunos niveles. Esta asociación puede constituir localmente delgados sellos, y así aumentar la heterogeneidad del yacimiento.

En el intervalo 16510'7½" – 16509'4", la bioturbación es alta, en donde se distinguen trazas fósiles de *Thalassinoides* y *Planolites*, así como *Bergaueria*. Esta combinación sugiere una icnofacies de *Glossifungites*, en donde posiblemente existe un límite de secuencia (SB). Los resultados reportados por nanofósiles calcáreos proponen un límite de secuencia a los 16511'. En el intervalo 16448' a 16447' se reconoce una alta bioturbación de icnofósiles del tipo *Thalassinoides* correspondientes a icnofacies de aguas salobres.

- Marisma

La facies de marismas están constituidas por limos, arcillas y materia orgánica y no se ven afectadas por la acción de las mareas (Allen, 1997). En el intervalo estudiado de la unidad C del pozo en estudio, la asociación de facies de marisma está representada por la litofacies *FC* y *FP*, en el intervalo 16475'7" a 16473'10" con un espesor de 1.87 pies. Las litofacies *FP* y *FC*, se encuentran bioturbadas por paleoraíces y trazas fósiles de *Ophiomorpha*.

- Canal distributivo con influencia de marea

El espesor de estos canales distributarios en la secuencia estudiada de la unidad C reportan 11.42, 6.13 y 6.5 pies, respectivamente. Esta facies alcanza un 27% en la unidad C. En la base los canales pueden tener areniscas con laminaciones discontinuas de arcilla, con

estratificación cruzada planar de alto ángulo y en menor frecuencia estratificación paralela y laminación flaser. Presenta algunos minerales accesorios tales como pirita y siderita. Se evidencian algunas fracturas naturales cerradas. Los canales distributarios debido a fuertes cambios de energía y carga de sedimentos, no poseen bioturbación intensa (Buatois et al., 2002).

- Canal Estuarino

Presenta un espesor que varía entre 1.16 y 3.29 pies. Se evidencian laminaciones de arcilla discontinuas y granos de cuarzo grueso dispersos.

En general, la facies de canal estuarino está alta a levemente bioturbada. La bioturbación consiste de trazas fósiles de *Ophiomorpha Nodosa*, *Asterosoma*, *Teichichnus*, *Thalassinoides* y *Skolitos*. Las icnofacies interpretadas corresponden a las icnofacies de *Skolitos* con *Cruziana* empobrecida. Estas icnofacies representan condiciones de aguas salobres que corresponden a canales estuarinos.

- Canal de marea

Presenta un espesor que no supera los 2.5 pies. Estos canales presentan en sus bases clastos de arcilla y laminaciones discontinuas de arcillas. Se reconocen estructuras físicas tales como estratificación cruzada planar y festoneada; así como estratificación paralela. En algunos niveles presentan láminas de cuarzo grueso.

Unidad D (16419 a 16363 pies)

La unidad sedimentaria D presenta un espesor de 56 pies en el intervalo 16419 a 16363 pies. Esta unidad tiene como base el marcador m3-2. Está constituida principalmente por canales distributarios con influencia de marea en un 99% (Figura 13). La unidad D presenta asociaciones de facies las cuales varían:

- Canal distributivo con influencia de marea.

El espesor varía entre 2.17 y 49.04 pies. En la base los canales pueden tener areniscas con laminaciones discontinuas de arcilla, con estratificación cruzada planar de alto y bajo ángulo, así como estratificación cruzada festoneada. Presenta algunos minerales accesorios tales como pirita y siderita. Se evidencian algunas fracturas abiertas y otras cementadas por cuarzo. Los canales distributarios debido a fuertes cambios de energía y carga de

sedimentos, no poseen bioturbación intensa (Buatois et al., 2002).

- Bahía Interdistributaria

Presenta un espesor de 0.58 pies. Esta asociación de facies está constituida por sedimentos limosos y arcillosos. La asociación de facies presenta algunas rizaduras unidireccionales. Esta asociación no representa ningún potencial de hidrocarburo, aunque puede constituir localmente delgados sellos, y así aumentar la heterogeneidad del yacimiento.

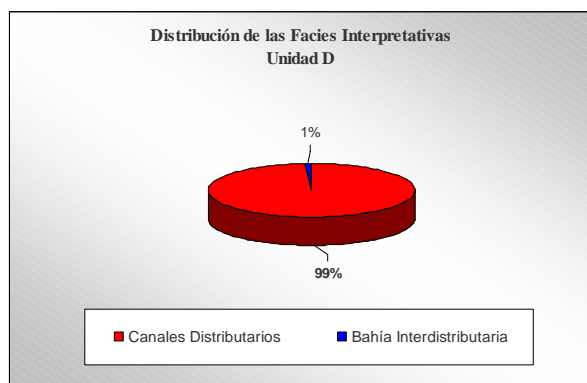


Figura 13. Distribución de las facies sedimentarias interpretativas en la unidad D del pozo.

CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA DE LAS FACIES SEDIMENTARIAS INTERPRETATIVAS

Las facies sedimentarias interpretativas definidas en los núcleos del pozo en estudio, fueron cotejadas con los resultados de los análisis de porosidad y permeabilidad realizados en muestras de tapones tomados en los núcleos recuperados.

La unidad A (Figura 14), presenta 3 potentes facies reservorios de hidrocarburos. Estos intervalos comprenden facies de: canales distributarios con influencia de mareas (Porosidad: 13.32%; Permeabilidad: 785 mD); abanicos de rotura (Porosidad: 12.54%; Permeabilidad: 259 mD) y facies de barras de anteplaya proximal (Porosidad: 13.93%; Permeabilidad: 207 mD).

En la unidad B (Figura 15), las facies de canales distributarios con influencia de marea, presentan considerables valores de porosidad (13.65%) y permeabilidad (769 mD). Sin embargo, las facies de anteplaya proximal muestran altos valores petrofísicos.

Los canales distributarios con influencia de mareas evidencian los más altos valores de porosidad (14.77%) y de permeabilidad (470 mD) en la unidad C. De igual forma, en la unidad D se puede observar que los canales distributarios con influencia de mareas reportan los mayores valores petrofísicos que alcanzan un 13.58 % de porosidad y 295 mD de permeabilidad.

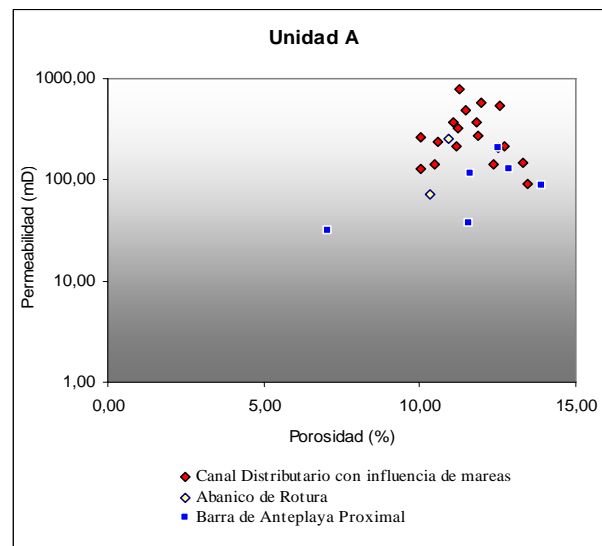


Figura 14. Valores de porosidad (%) y permeabilidad (mD) obtenidos para las facies sedimentarias interpretativas de la unidad A.

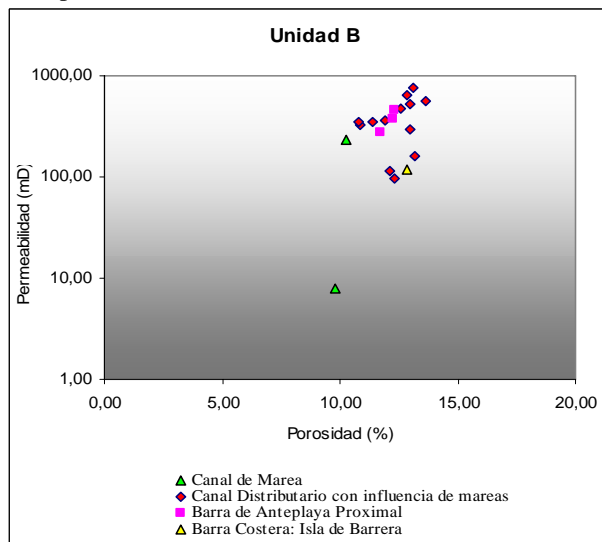


Figura 15. Valores de porosidad (%) y permeabilidad (mD) obtenidos para las facies sedimentarias interpretativas de la unidad B.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La descripción sedimentológica detallada de 403.84 pies de núcleos, de un pozo del flanco norte del campo El Furrial, permitió identificar 19

facies sedimentarias descriptivas para el intervalo Naricual Superior. Estas facies son el producto de los cambios de granulometría, ocurridos como consecuencia de las variaciones de energía en los diferentes subambientes de sedimentación. Estas facies fueron detalladas en las unidades sedimentarias A, B, C y D.

Se definieron 12 asociaciones de facies en los núcleos del pozo en estudio, las cuales son: plataforma interna, plataforma interna a media, barras de antepaya distal, barras de antepaya proximal, barras costeras, bahía Interdistributaria, marisma, canales distributarios, canales estuarinos, canales de marea, paleosuelos y abanicos de rotura. La facies de canales distributarios con influencia de mareas representa un 41,28 % en la columna sedimentológica de los núcleos del pozo en estudio. Asimismo la facies de bahía interdistributaria alcanza un 15.42 %.

Para el intervalo estudiado de Naricual Superior, se interpreta un ambiente de sedimentación compuesto por facies que varían desde el plano deltaico con influencia de mareas al plano costero. Las icnofósiles reportados contribuyeron en la definición de los diferentes ambientes de sedimentación. La icnofacies *Cruziana* ayudó a interpretar ambientes de antepaya. Asimismo la icnofacies *Skolithos* con *Cruziana* empobrecida corroboró la presencia de ambientes de aguas salobres en facies de bahía interdistributaria con alta influencia marina. Hay que destacar que se proponen algunos límites de secuencia debido a la interpretación de icnofacies de *Glossifungites* (intervalos 16611'7" a 16611'2" y 16510'7½" a 16509'4") y *Teredolites* (intervalo 16700' 2"-16696' 6").

Las unidades A, B, C y D están constituidas principalmente por canales distributarios con influencia de mareas. Las unidades A y B reportan los más altos valores petrofísicos, alcanzando una porosidad de 13 % y permeabilidades del orden de los 785 mD en canales distributarios con influencia de mareas.

Se estudiaron 79 muestras de núcleo para cada una de las disciplinas. La data generada por estos estudios fue integrada generándose un marco cronoestratigráfico. La parte superior como Mioceno temprano (16419'-16808'), con presencia de palinomorfs, foraminíferos y nanoplancton calcáreo, observándose predominio en cuanto diversidad y abundancia de los palinomorfs debido a las características de sedimentación de la secuencia. La parte inferior fue datada como Oligoceno-Mioceno temprano (16808'-16979').

Este intervalo se caracterizó por la disminución de la asociación fosilífera, observándose específicamente una asociación palinológica de rangos largos, en la cual destaca la presencia de *C. dorogensis*.

La interpretación paleoambiental se definió, integrando las curvas de diversidad y abundancia generadas por el estudio de foraminíferos y palinomorfs, aunado a la integración del estudio de las nanofacies. Lo anterior dio como resultado paleoambientes que oscilan entre profundidades muy cercanas a la costa penetrados por oscilaciones del nivel del mar, pudiéndose identificar dos niveles máximos de inundación (M6 y M4) que sirvieron de amarre en la determinación de las unidades.

Mediante el análisis paleobatimétrico, se corroboraron las superficies de inundación M6, M5 y m-3.2 las cuales corresponden a bahías interdistributarias con influencia marina. Mientras tanto, la superficie de inundación M4 se encuentra en un intervalo correspondiente a una plataforma interna a media.

El análisis sedimentológico y bioestratigráfico realizado tiene gran detalle y fundamento integrado a datos de producción y análisis de yacimiento, un modelo estático y dinámico de alta resolución confiable.

La metodología utilizada debe aplicarse y masificarse rápidamente en los próximos estudios del campo El Furrial, a objeto de impulsar características integradas de detalle que permitan fundamentar la toma de decisiones efectiva sobre completaciones de pozos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al equipo multidisciplinario de PDVSA-Intevep que participó en el proyecto El Furrial en el año 2004. Entre ellos se destaca la participación de: *Luis Itriago, Jorge Alviarez, Mauricio Hernández, Martha Carrillo, Solangel Alfonso, Ilio Rodríguez y Pedro Oropeza*. Un especial agradecimiento a la Ingeniero Geólogo *Ana Zamora*, de la Gerencia de Estudios Integrados de PDVSA-Oriente, por su colaboración en la generación de las correlaciones estratigráficas.

REFERENCIAS

Allen, G.P. (1997). Sedimentología de los depósitos clásticos. TOTAL. 132 pp

Blow, W.H. (1969). Late middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. Internatl. Conf. Planktonic Microfossils 1st. Geneva 1967, proc., 1, 199 - 422, 43 fig. 54 pl.

Bolli, H. M., Saunders, J. B., & Perch-Nielsen, K. (1985). Plankton Stratigraphy. *Cambridge University Press*, 1032pp.

Buatois, L.; Mángano, G.; Aceñolaza, F. (2002). Trazas fósiles: señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Museo Paleontológico Egidio Feruglio. Edición especial. Bahía, Blanca, Argentina. 382 pp.

Durán, I. (1996). A New Tool in Environmental Interpretations. AAPG, 1996 International congress and Exhibitions. Poster Session A14

González de Juana, C.; Iturralde, J.; Picard, X. (1980) Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones Foninves. Tomos I y II.

Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970). Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Dirección de Geología. Caracas. 756 pp.

Martini, E. (1971). Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. En : Farinacci, A., Ed. Proceedings of the second planktonic conference. Rome: Edizioni Tecnoscienza, vol.2, pp. 739-785, pls. 1-4, tables 1-6.

Muller, J. Di Giacomo, E. & Van Erve, A. (1987). A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of northern South America. American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series Num. 19, pp. 7-76.

Peirson, A. L., (1965). Formación Naricual, en: www.Intevep.pdv.com/~ibc.03/n10w.htm.

Reineck H.; Singh, B. (1980) Depositional Sedimentary Environments, with reference to terrigenous clastics. Springer-Verlag. Berlin. 543 pp.

Sánchez, J. D.; Carrillo, M. E.; Hernández, M. E. Cabrera L., D. L.; Durán, I.; Alviarez, J.; Rodríguez, I.; Itriago, L.; Oropeza, P. (2004). Análisis Sedimentológico y Bioestratigráfico de los

núcleos del intervalo Naricual Superior. Campo El Furrial, Norte de Monagas. PDVSA Intevep. Informe interno. 106 pp.

Uroza, C.; Arostegui, G.; Machillanda, C.; Rondón, L.; Solorzano, E.; Lopenza, A.; Solano, N.; Maguregui, J.; Mesones, A.; Colmenares, O.; Carrillo M.; Oropeza, H.; Gómez, R. (2002). Modelo Sedimentológico Integrado. Intervalo Naricual Superior. Campo El Furrial, Norte de Monagas, Venezuela.

Walker, R. ; James, N. (1992) Facies Models: response to sea level change. Geological association of Canada. 409 pp.

Williams G.L.; Bujak, J.P. (1985). Mesozoic and Cenozoic dinoflagellates. in Bolli, Saunders & Perch-Nielsen (Eds.), Plankton Stratigraphy. Cambridge Earth Science Series, pp. 847-964.