

VIII CONGRESO GEOLÓGICO VENEZOLANO
I CONGRESO LATINOAMERICANO DE SEDIMENTOLOGÍA
Porlamar, Isla de Margarita, Venezuela
16 - 19 Noviembre de 1997



C-S-4 Taller de Núcleos
Core Workshop

Noviembre 20, 1997

Sociedad
Venezolana
de Geólogos

Edición Especial de la Sociedad Venezolana de Geólogos

HYDROCARBON BASINS OF VENEZUELA

Organized and Edited

by

Jean-Yves Chatellier

Rosa Aquino

AVS First Core Workshop
Margarita, November 20, 1997

© Copyright 1997 by AVS (Asociación Venezuelana de Sedimentólogos)

TABLE OF CONTENTS

CUENCA DE BARINAS

I Arena "P" en el Campo Torunos, Area de barinas

authors: Aquino, R., DeGuerra, C., Helenes, J., de Monroi, Z., y Arnstein, R.

IIa Controls on Dolomite Neomorphism and Reservoir Development: Cretaceous Escandalosa Formation, "O" Member, Barinas-Apure Basin, Venezuela

authors: Kupecz, J.A.*, Hernandez, E.*, Aquino, R.**, Figueroa, L.**, Lander, R.** and Gonzalez, A.**

II Escandalosa Formacion, "O" Member, Barinas/Apure Basin Venezuela: an example of depositional and diagenetic control on reservoir heterogeneity

authors: Hernandez, E., Julie Kupecz, J., Aquino, R. and Figueroa, L.

III Evaluacion sedimentologica y petrografica de la formacion Gobernador, Area de Barinas Norte, Venezuela.

authors: Toro, M., y Mahmoudi, M.

CUENCA DE MARACAIBO

IV The Maraca-basal La Luna Fm. interval, a carbonate play in the Maracaibo Basin

authors: Murat, B. and Muñoz, P.

V Los Icnofósiles como una herramienta para la interpretación ambiental y su control sobre la calidad de las rocas yacimiento en las Formaciones Paují y Misoa, Campos Barúa y Motatán, Estados Zulia y Trujillo, Venezuela.

authors: Delgado, M., Kabbabe, T., Sampson, E., y Chacartegui, F.

CUENCA ORIENTAL

VI Icnología de las Formaciones Neógeno-Cuaternarias en Venezuela Nororiental

author: Padron, V.

VII Analisis sedimentologico de los nucleos correspondientes al pozo PIC-7, entre los intervalos 16162' y 16092'(Formacion Naricual)

author: Briceño, M.A.,

VIII Synsedimentary tectonic events revealed by palynology and core studies; the vital proof for a previously tentative model, El Furrial Field, Eastern Venezuela

authors: Colmenares, O., Chatellier, J-Y., Marquez, P., and Laing, J.

IX Using core to assess the vertical permeability within individual marine sands of the "Naricual Superior" interval in the El Furrial field.

authors: Boardman, D., Rondon, L., and Chatellier, J.Y.



Asociación Venezolana de Sedimentólogos

AGRADECIMIENTOS



Los organizadores quisieran agradecer a todos los autores y compañías que hicieron posible la realización de este taller de núcleos:

Maraven, Corpoven y Lagoven por dar la autorización a los autores para presentar material de los núcleos y resultados de sus trabajos. También por permitir el transporte de valiosos núcleos a Margarita.



Corelab ha contribuido desde el comienzo de este proyecto; ellos han invertido gran parte de su tiempo y personal para asegurar el éxito de este primer taller de núcleos. Su experiencia y dedicación han sido invalorable y han permitido abrir muchas puertas.

Estamos agradecidos a **Intevep** por cubrir los costos de la reproducción de las láminas a color, lo cual incrementa notablemente el valor de los trabajos presentados.



La impresión del texto y las figuras ha sido amablemente hecha por **AfroLatin**. Su ayuda para cumplir con la fecha límite para la reproducción de este material es altamente apreciada.

Además de los autores participantes en este taller de núcleos, quisiéramos agradecer particularmente a las siguientes personas, quienes, de muchas formas, contribuyeron a la realización de este proyecto. Ellos son, en orden alfabético: A. Acosta, R. Alicandu, A.M. Atencio, M. Boujana, D. Buscan, F. Chacartegui, O. Chacín, P. Loaiza, M. A. Lorente, and M. Mahmoudi.



CORE
LABORATORIES



Afrolatín
Estudios Geológicos

Arena "P" en el campo Torunos, Area de Barinas.

Aquino, R., De Guerra, C., Helenes, J., de Monroy, Z. Y Arnstein, R.

Laboratorio Geologico El Chaure, Corpoven, S.A., Puerto La Cruz, Venezuela

ABSTRACT

"P" sandstone of Escandalosa Formation (Cenomanian), is an important hydrocarbon reservoir in the Barinas Basin, western of Venezuela. It is composed by coastal siliciclastic sandstone, that underlain platform deposits at the top of this unit.

In Torunos field, it is composed by 83% of sandstone, with 2-34 feet in thickness, sandstones are oil impregnated. Festoon cross-bedding and bioturbations are common. The sequence is fining up from very coarse sandstone (with pebbles about 1 cm) to fine grain. Laminated shale and very fine sandstone with ripple marks are intercalated. Sedimentological characteristics and ichnofossils suggest coastal marine environment (foreshore).

The sandstone contain heavy minerals, glauconite, pyrite nodules, debris coal, silt and shale lenses. The sandstone correspond to orthoquartzite, arkose and quartz wacke, of PETTJHON'S Classification. The clay minerals are kaolinite, illite and chlorite. Kaolinite results from feldspars alterations.

The diagenetic processes are sutured contacts, pressure - solution of quartz grains (quartz overgrown or silica cements), secondary porosity, feldspars altered to kaolin and total clay content reduced by leaching. Secondary porosity was preserved for hydrocarbon migration.

Average porosity is about 13% and average permeability 90 md, the highest porosity is 21% and correspond to very coarse, coarse and medium sandstone with secondary porosity. The highest permeability is 946 md.

RESUMEN

La Arena "P", Formación Escandalosa (Cenomaniense), es un importante yacimiento de hidrocarburos en el área de Barinas. Esta unidad está compuesta por areniscas siliciclásticas depositadas en un ambiente marino costero, infrayacentes a los depósitos de plataforma que conforman el tope de esta Formación.

En el campo Torunos, se compone de un 83% de paquetes arenosos que varían de espesor entre 2 y 34 pies (más espesos hacia la base), impregnados de hidrocarburos. Presentan estratificación cruzada festoneada y algunos intervalos bioturbados. Son granodecrecientes desde grano muy grueso a fino, con niveles de gránulos de hasta 1 cm; intercalados con lutitas y areniscas de grano muy fino, laminadas y con rizaduras, algunas veces bioturbadas. Por las características sedimentológicas y trazas fósiles se interpretó que esta unidad fué depositada en un ambiente marino costero (zona de playa).

Los paquetes arenosos contienen minerales pesados alineados, niveles glauconíticos, nódulos de pirita, fragmentos de carbón, láminas y lentes de lutitas y limolitas. Petrográficamente corresponden a arenitas de cuarzo, subarcosas y vacas de cuarzo; la arcilla presente en la secuencia es mayormente caolinita que se observó como producto de alteración de los feldespatos. Las otras arcillas encontradas son illita y clorita. Estas rocas presentan contactos suturados entre granos, el cemento es silíceo (sobrecrecimientos de granos de cuarzo). En toda la secuencia se observó porosidad secundaria por lixiviación de la matriz y de minerales de arcilla productos de la alteración de feldespatos. Esta porosidad fué preservada por invasión de hidrocarburos.

Los valores promedio de porosidad para el yacimiento son de 13% y los de permeabilidad 90 md. Los mayores porcentajes de porosidad (21%), corresponden a areniscas de grano muy grueso, grueso y medio que sufrieron lixiviación de matriz, en este caso las permeabilidades son de 946 md.

INTRODUCCION

El pozo está ubicado en el área de Barinas, a 24 Km al sureste de la ciudad de Barinas (fig. 1). La unidad estudiada (arena "P"), forma parte de la Formación Escandalosa (Cenomaniense-Turonense), la cual ha sido subdividida en el subsuelo de Barinas en cuatro miembros, de más viejo a más joven son: la lutita S, las arena R, la arena P y la caliza O (fig. 2). Los dos últimos son importantes yacimientos de hidrocarburos.

La arena "P" según GONZALEZ DE J., C et al, 1980, se compone de areniscas cuarzosas de granularidad fina a gruesa, con estratificación cruzada y localmente glauconíticas, intercaladas con lutitas carbonosas menores. En todos los pozos con núcleos estudiados por CORPOVEN S.A., la arena "P" está en contacto erosivo con la caliza "O", suprayacente.

En este pozo se describieron 90' de núcleos correspondientes a la arena "P" (aproximadamente unos 27 m). En el registro este intervalo presenta un espesor total de 144' (unos 44 m aproximadamente), es productora de hidrocarburos con una producción acumulada desde el año de 1995 hasta la fecha de más de 100.000 barriles de petróleo de 28,8 ° API.

DESCRIPCION SEDIMENTOLOGICA, AMBIENTES SEDIMENTARIOS Y EDADES:

La secuencia se compone aproximadamente en un 83% de paquetes arenosos (de grano muy grueso a fino), que varían de espesor entre 2' y 34', siendo más espesos hacia la base (fig. 3). Estos paquetes son de base erosiva, con tendencia de afinamiento hacia arriba, láminas de color oscuro conformadas por minerales pesados alineados, con superficies internas de erosión, detritos carbonosos, láminas y lentes de lutitas y limolitas. Intercalados con estos paquetes arenosos hay secuencias heterolíticas y lutitas. Las secuencias heterolíticas (aproximadamente un 14%), están conformadas por intercalaciones de capas de areniscas de grano muy fino, limolitas y lutitas negras laminadas (fig. 4). Las lutitas y limolitas (aproximadamente un 7%), son negras, laminadas, limosas, piritosas y bioturbadas (figs 5 y 6). Todo el intervalo está impregnado de hidrocarburos.

Se interpretó que esta unidad es depositada durante un proceso transgresivo, en un ambiente marino muy somero (canales de playa), el paquete arenoso de la base es el más espeso y se compone de areniscas con una cantidad considerable de feldespatos (subarcosas); el paquete subsiguiente le sigue en espesor conteniendo minerales pesados alineados. Hacia la parte media y tope hay mayor influencia marina, en este caso los paquetes arenosos se hacen menos espesos presentando también mayor bioturbación, observándose un intervalo con microfauna con un índice marino bastante alto, con especies como *Throhamina* Sp.,

Arena "P" Campo Torunos

Ammobaculites delicatus, *Haplophragmoides* sp., *Textularia* Sp., *Hanzawaia concentrica* y Gasterópodos, representativos de profundidades neríticas internas. El intervalo culmina con una superficie erosiva bioturbada con trazas de *Thalassinoides* que lo pone en contacto con el suprayacente Miembro "O", depositado en un ambiente un poco más profundo (plataforma interna), haciéndose abundante el contenido de glauconita (figs 7 y 8).

Las edades asignadas al intervalo fueron basadas en la composición y abundancias relativas de los conjuntos de palinomorfos marinos, terrestres y dinoflagelados y en los conjuntos de foraminíferos planctónicos. Así la edad asignada para el intervalo fué Cenomaniense tardío a medio (figs. 2 y 9).

CARACTERIZACION DE LA ROCA YACIMIENTO:

Las rocas yacimiento en esta unidad están conformadas por areniscas bien escogidas, donde el tamaño de grano varía desde muy grueso con niveles conglomeráticos, hasta grano medio y fino (fig.9). Estas rocas sufrieron diferentes procesos diagenéticos que comprenden contactos suturados entre granos, cementación por sobrecrecimientos en granos de cuarzo, alteración de feldespatos, formación de caolinita (fig. 10), lixiviación de minerales lábiles y matriz, este último proceso aumenta considerablemente la porosidad, finalmente esta porosidad fué preservada por invasión de hidrocarburos (figs. 10 y 11).

Las porosidades alcanzan valores de hasta 21% y las permeabilidades son de hasta 946 md. Siendo los valores promedio de 13% para la porosidad y 90 md para la permeabilidad (fig. 9).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

GONZALEZ DE J., C., ITURRALDE DE AROZENA, J. y PICARD, X., (1980) "Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas" 1030 p. Caracas, Ediciones Foninves.



MAPA ESTRUCTURAL

TOPE FM. ESCANDALOSA

LOCALIZACION DEL POZO TORUNOS-IX

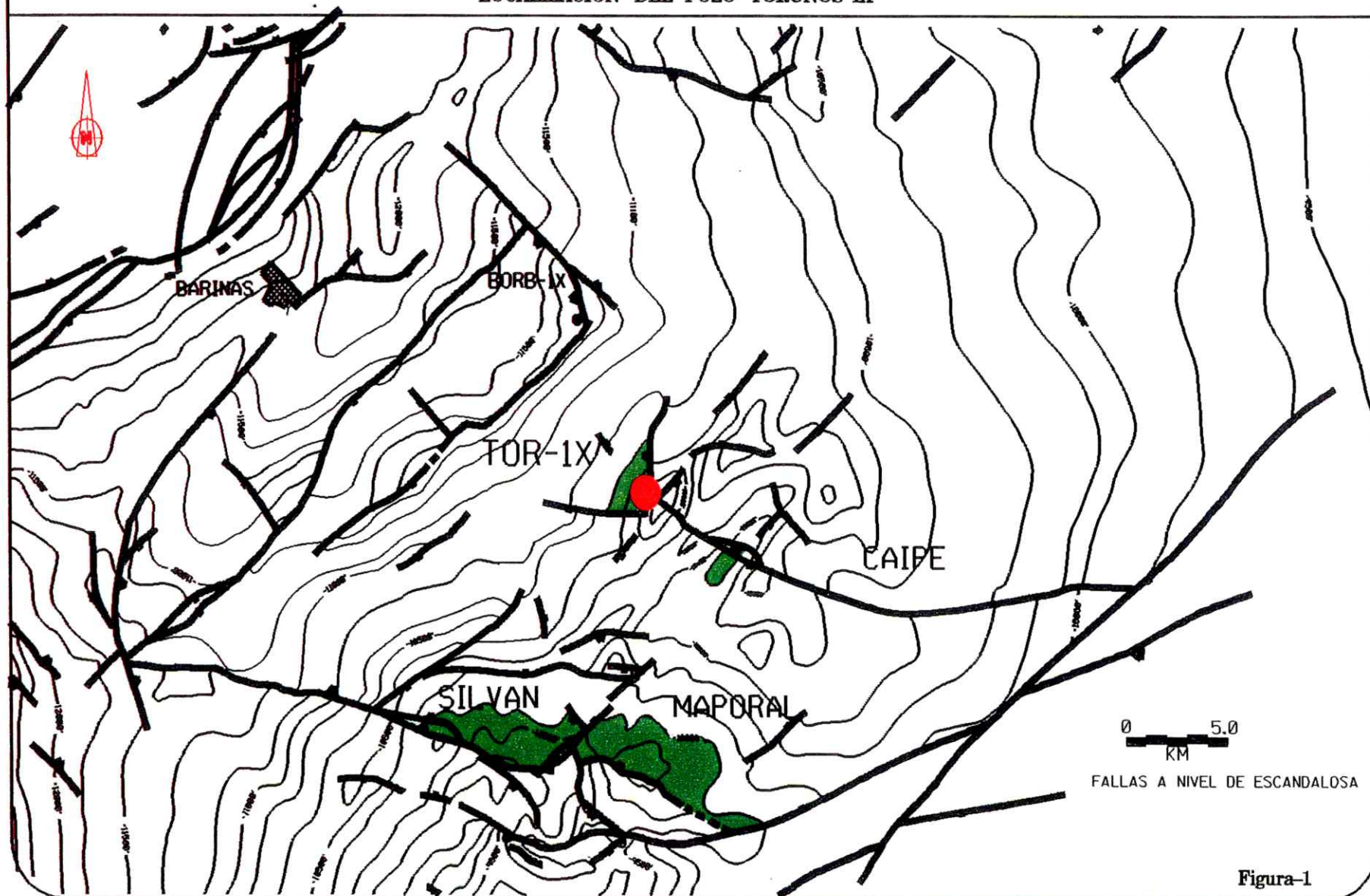


Figura-1

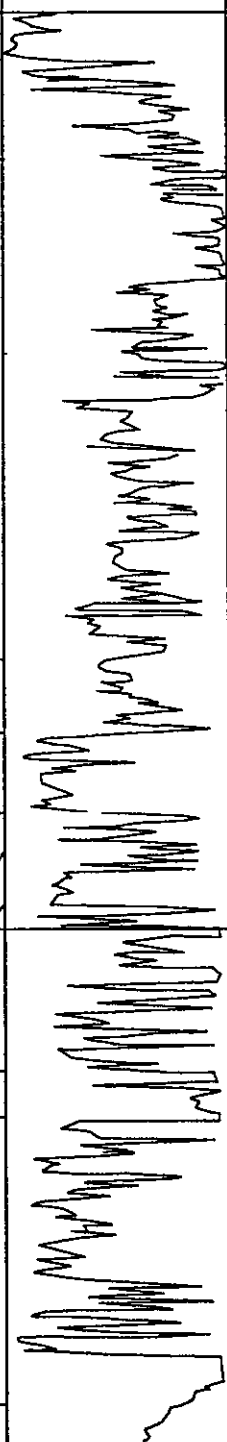
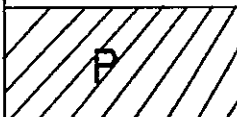
FORMACIONES	MIEMBROS	G.R.	EDADES	
Gobernador			Eoceno Medio	
Burgúita			Maastrichtiense	
N a v a y	Q u e v e d o		Campaniense	
			Santoniense	Tar.
				Temprano
			Coniaciense	
	La Morita		Turonense	
Escandalosa	O		Cenomaniense	Tardío
				
	R			M
	S			Temprano
Aguardiente	T			
Basamento			Albiense Tardío Pre Cretácico	

Figura 2.

 INTERVALO ESTUDIADO
HELENES, E., et al (1994)



Fig. 3. Arenisca con estratificación cruzada festoneada impregnada de hidrocarburos (Arena P, Fm. Escandalosa).

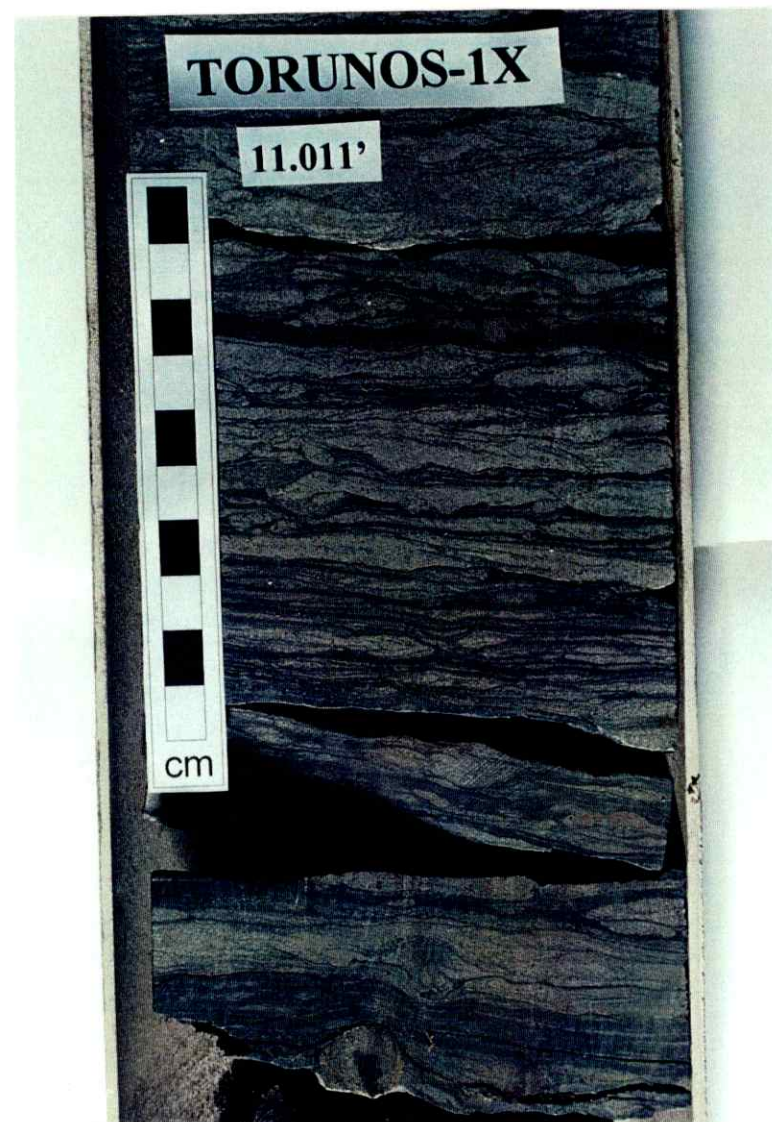


Fig. 4. Secuencias heterolíticas compuestas de intercalaciones de areniscas de grano muy fino biotrubadas intercaladas con lutitas (Arena P, Fm. Escandalosa)



Fig. 5. Limolitas altamente bioturbadas con trazas de *Tiechichnus*.
(Arena P, Fm. Escandalosa).

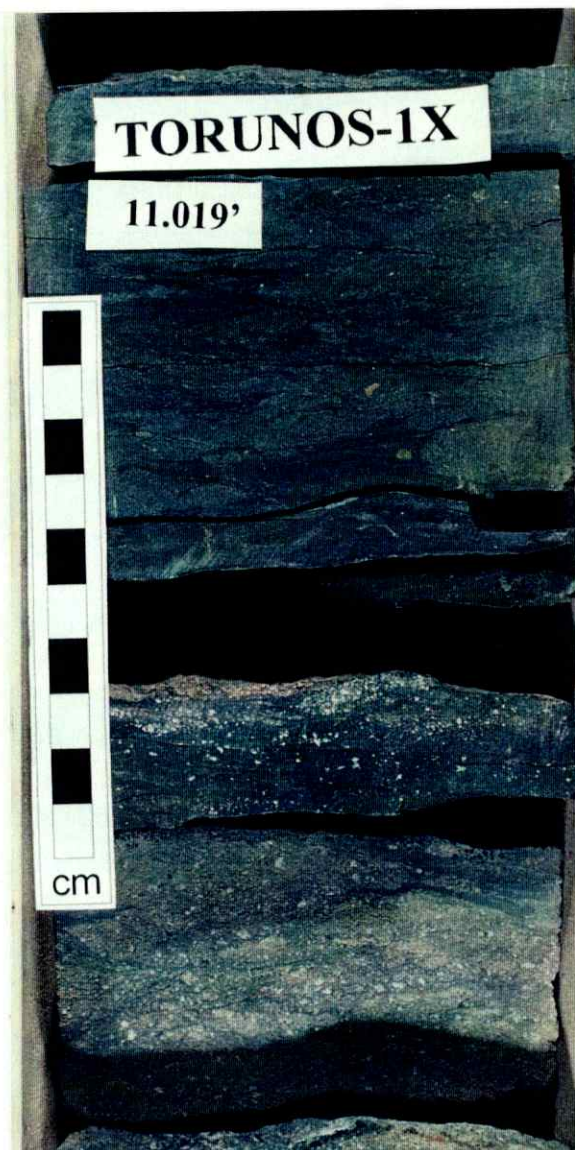


Fig. 6. Facies lutitas (Arena P, Fm. Escandalosa)



Fig. 7. Contacto erosivo y bioturbado con trazas de *Thalassinoides* entre la arena P (base) y caliza O (tope).

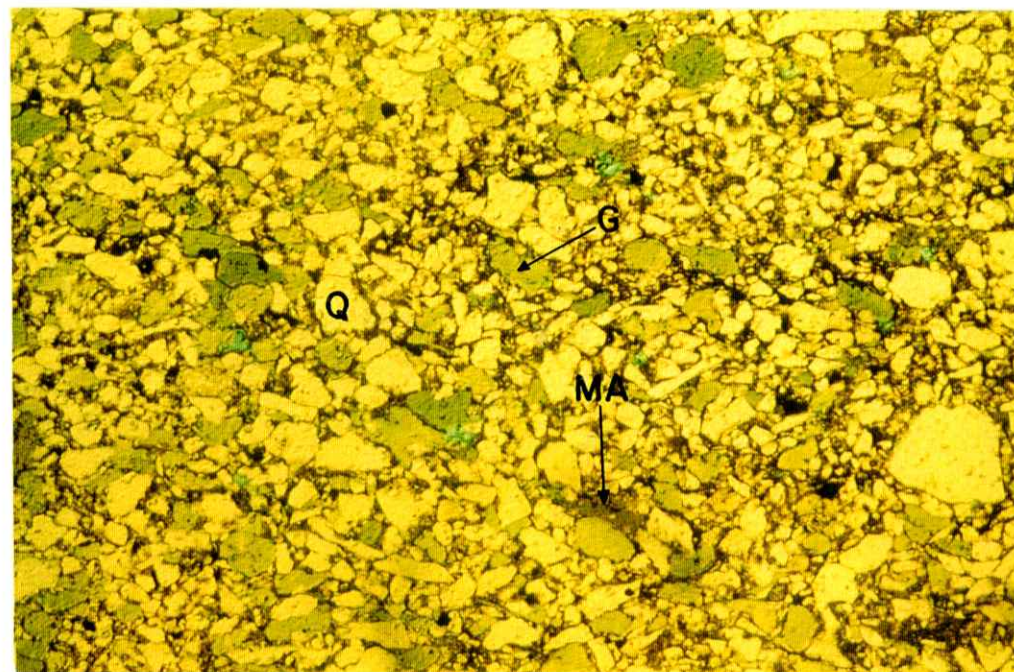
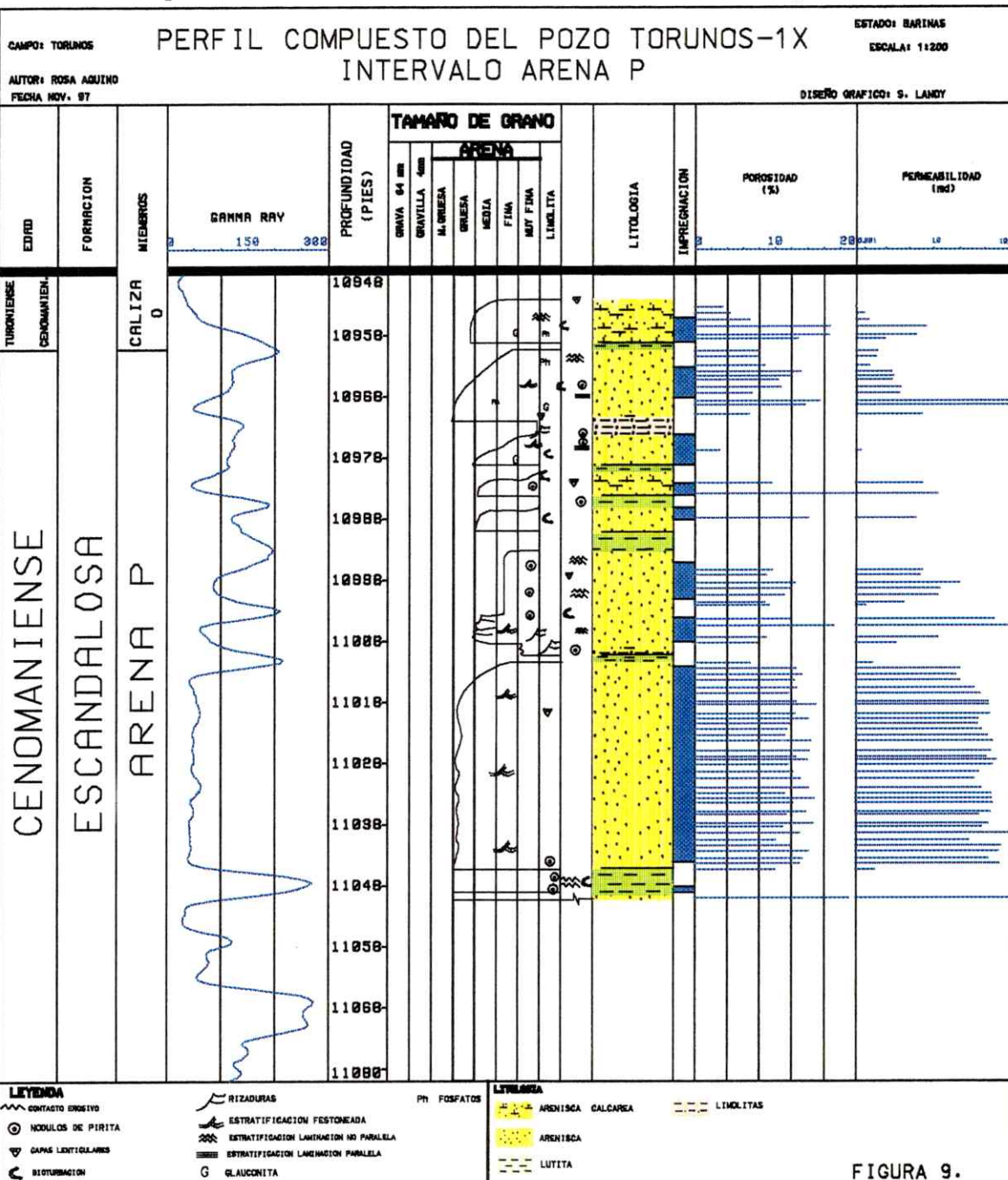


Fig. 8. Arenisca glauconítica correspondiente a la base del Miembro O suprayacente, MA: Matriz arcillosa, Q: Cuarzo, G: Glauconita. (10X).



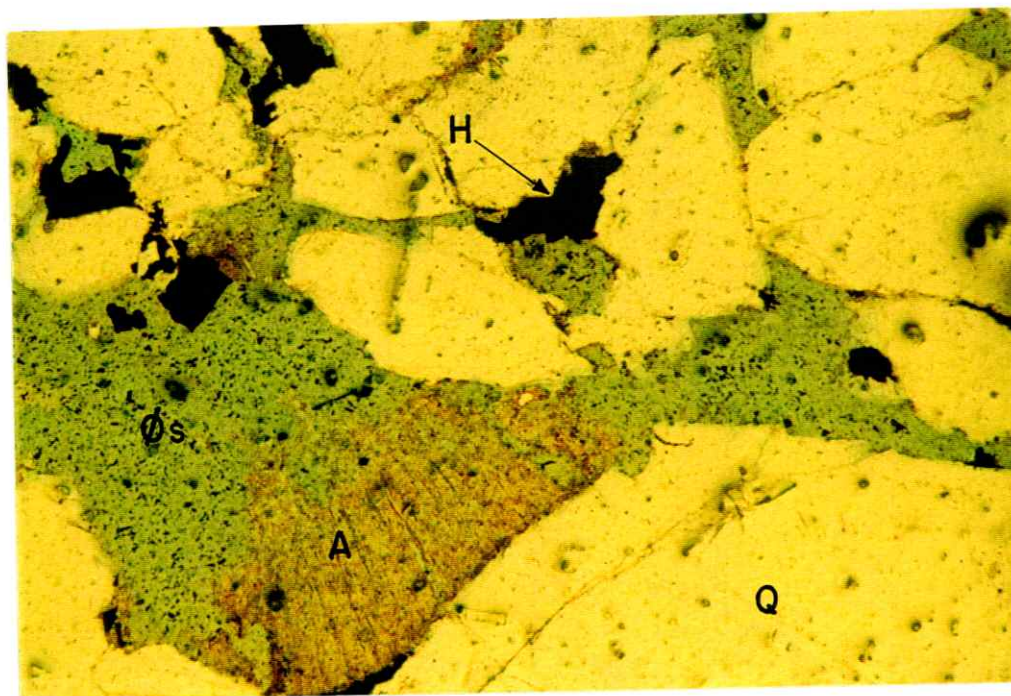


Fig.10. Feldespato alterado a caolinita, y porosidad secundaria generada por lixiviación, H: Hidrocarburo, A: Arcilla, Q: Cuarzo, Øs: Porosidad secundaria (Arena P, Fm. Escandalosa) (20X)

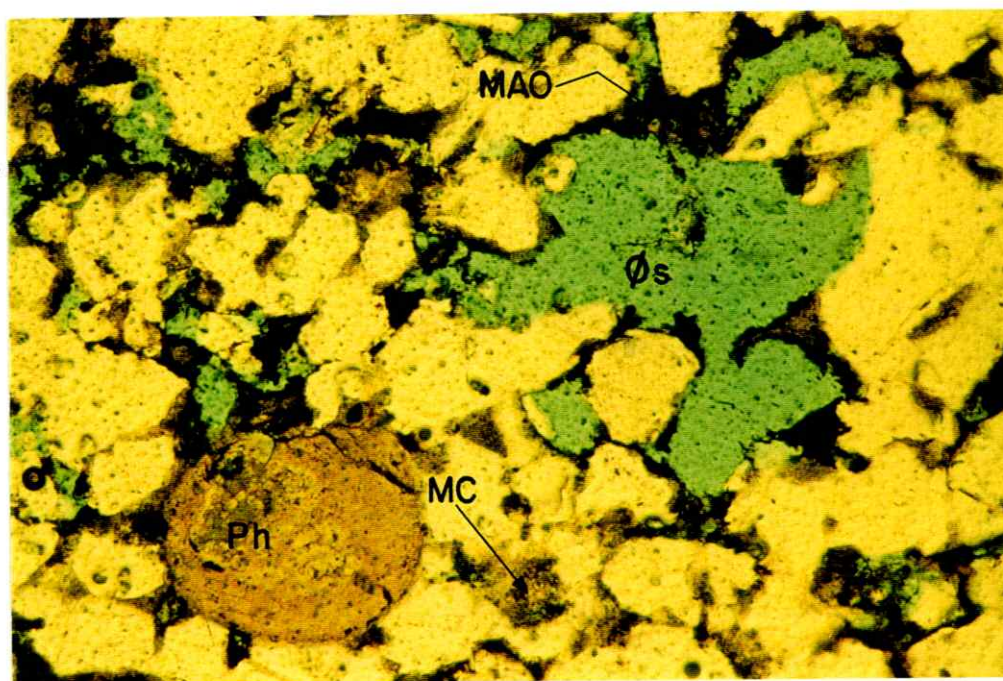


Fig. 11. Porosidad secundaria generada por lixiviación de matriz arcillosa, MAO: Matriz arcillosa orgánica, MC: Lodo carbonático, Ph: fosfato, Øs: Porosidad secundaria (Arena P, Fm. Escandalosa) (10X)

Controls on Dolomite Neomorphism and Reservoir Development: Cretaceous Escandalosa Formation, "O" Member, Barinas-Apure Basin, Venezuela

KUPECZ, J. A.*, HERNANDEZ, E.*, AQUINO, R.**¹, FIGUEROA, L., LANDER, R.**² and GONZALEZ, A.**

* *Intevep S. A., Los Teques, Venezuela*

** *Corpoven, S. A., Puerto La Cruz, Venezuela*

The "O" member of the Escandalosa Formation is a significant hydrocarbon producer in the Barinas-Apure Basin of Venezuela. Facies within the "O" member represent deposition in a shallow-marine platform environment, which grades to a deeper water environment. The "O" member can be subdivided into seven parasequences that are correlatable within the basin. In general, within individual parasequences, facies change landward to basinward (south-southeast to north-northwest) from sandstones to dolomitic sandstones, to arenaceous dolomites, to dolomites. Basinward, there is an abrupt facies change into micrites and micritic siltstones. Hydrocarbon production is from the upper, dolomitic intervals of parasequences.

Dolomites within the "O" member display a complex diagenetic history. There are multiple generations of dolomite, which can be subdivided into two main types, (1) dolomites that predate cycle exposure, interpreted to be "early-stage" dolomites; and (2) dolomites that post-date "O" deposition and cross-cut the overlying La Morita shales. Between the "O" and the La Morita is a hiatus of approximately 1.5 million years; therefore, these dolomites are interpreted to be "late-stage," post-depositional, dolomites. Cathodoluminescence (CL) petrography illustrates that early-stage dolomites consist of heterogeneous CL. These are coarse crystalline, and appear to have undergone extensive modification by late-stage dolomites, including recrystallization and multiple generations of dissolution and cementation. CL characteristics of cements which partially infill intracrystalline porosity correlate with the CL of late-stage dolomite overgrowths and rhombs. Late-stage dolomites consist of several generations separated by at least four periods of dissolution. This dissolution occurs between cement generations, but is also manifest as intracrystalline porosity within early-stage dolomites. Intercrystalline porosity constitutes the most important reservoir pore type; however, it is not clear to what extent intracrystalline porosity affects production.

Studies of tectonics and oil migration of the area suggest that major fluid-flow events occurred approximately 40 mya. Modification of early-stage dolomites and precipitation of late-stage dolomites in the study area are possibly related to regional tectonically-driven fluid flow.

Escandalosa Formation, "O" Member, Barinas-Apure Basin, Venezuela: An example of depositional and diagenetic controls on reservoir heterogeneity.

E. Hernandez¹, J. Kupecz¹, R. Aquino², L. Figueroa²

¹ *Intevep S.A. Apdo 76343 Caracas 1070A*

² *Corpoven S.A. Apdo 4326-4064 Pto. La Cruz 6023A*

Abstract

Within the northern Barinas-Apure Basin of Venezuela, the "O" member of the Cenomanian-Turonian, Escandalosa Formation can be subdivided into eight fourth-order parasequences that are correlatable within the study area. The "O" member is interpreted to have been deposited on a shallow-marine platform to shelf-slope in a mixed siliciclastic-carbonate system. Parasequences display depositional complexity, which is reflected in changes in lithology, pore types, and reservoir quality.

Diagenesis also plays an important role in the enhancement, redistribution, and destruction of reservoir quality. Diagenetic processes include: early, possibly syndimentary dolomitization of platform edge carbonates, dissolution of allochems at tops of parasequences, multiple generations of post-depositional dolomite, late carbonate dissolution; abundant fracturing and faulting, calcite pore-filling cement, and dedolomitization.

The facies relationships and controls on reservoir quality described provide a framework for recognizing possible reservoir heterogeneities and may be useful as a predictive tool for oil exploration and development in the Barinas area.

INTRODUCTION

Understanding facies distribution and reservoir quality in mixed carbonate-siliciclastic depositional settings has been an important exploration and development objective of geologists (e.g., Budd and Harris, 1990). These types of systems have many kinds of inherent complexities, due to a combination of variable depositional controls, cyclicity and reservoir distribution, and superimposed diagenesis.

This study is of the "O" member of the Cenomanian-Turonian Escandalosa Formation, Barinas-Apure Basin, Venezuela (Fig. 1). The "O" member is composed of a complex mixture of sandstones, calcareous sandstones, sandy carbonates, limestones, dolomites, and shaly micrites and siltstones. It unconformably overlies the "P" sandstone member of the Escandalosa Formation, and is unconformably overlain by the La Morita member of the Navay Formation (Fig. 2). Superimposed are a number of diagenetic events, including early and late dissolution, cementation, dolomitization, dolomite recrystallization, all of which increase the complexity of the reservoir quality prediction process.

This paper represents a summary of a larger study of the "O" in the area. The objectives of this study are to display detailed foot-by-foot analysis of two cores (Fig. 1), to illustrate vertical facies distribution, depositional cycles and their internal changes in lithology, and diagenesis.

DEPOSITIONAL FACIES

Rocks within the "O" member of the Escandalosa Formation of the Barinas-Apure Basin, Venezuela can be subdivided into five major depositional facies: sandstone, mixed sandstone-carbonate, limestone, dolomite and micrite-siltstone.

Sandstone

This facies is composed of very-fine to fine-grained quartzarenites with variable amounts of glauconite and minor quantities of feldspar. Cements include calcite and dolomite to varying degrees. Physical sedimentary structures are not observed in this facies, which is dominated by abundant bioturbation and occasional preservation of trace fossils *Thalassinoides* and *Teichichnus* (Fig. 3A). Based on the observed trace fossils and the lateral and vertical association with marine carbonates, the environment of deposition is interpreted to be marine with depositional depths to lower shoreface, with abundant biogenic reworking. Porosity is variable in this facies, ranging from less than 5% to approximately 20% (interparticle), depending on the amount of carbonate cement; it is generally better in the southern part of the study area.

Mixed Sandstone-Carbonate

This facies consists of mixed sandstone (quartzarenite)-dolostone and calcareous sandy dolomite (Fig. 3B). Sand content varies from 30% to 65%. Grain size ranges from 75 μ to 1000 μ whereas median

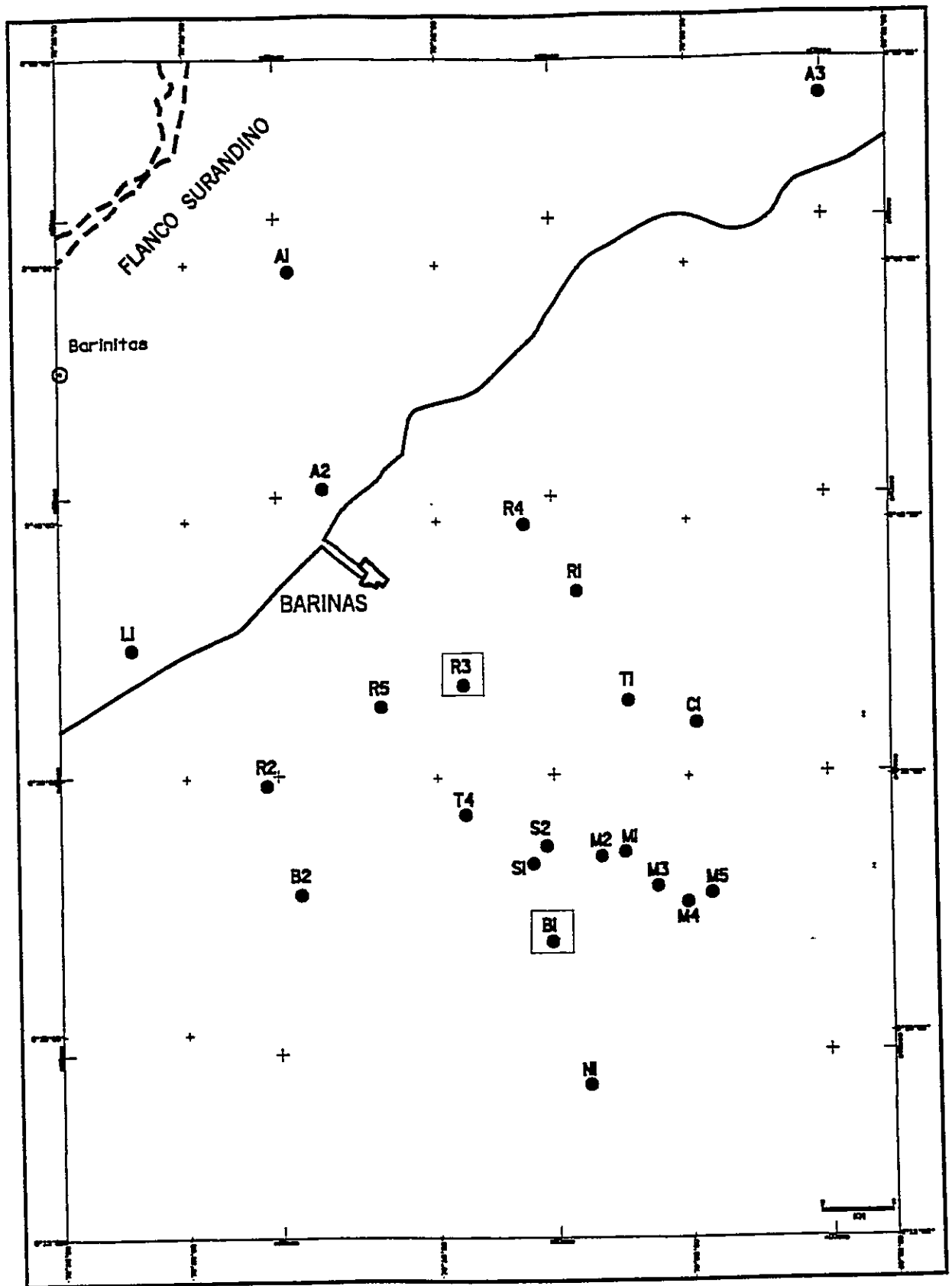
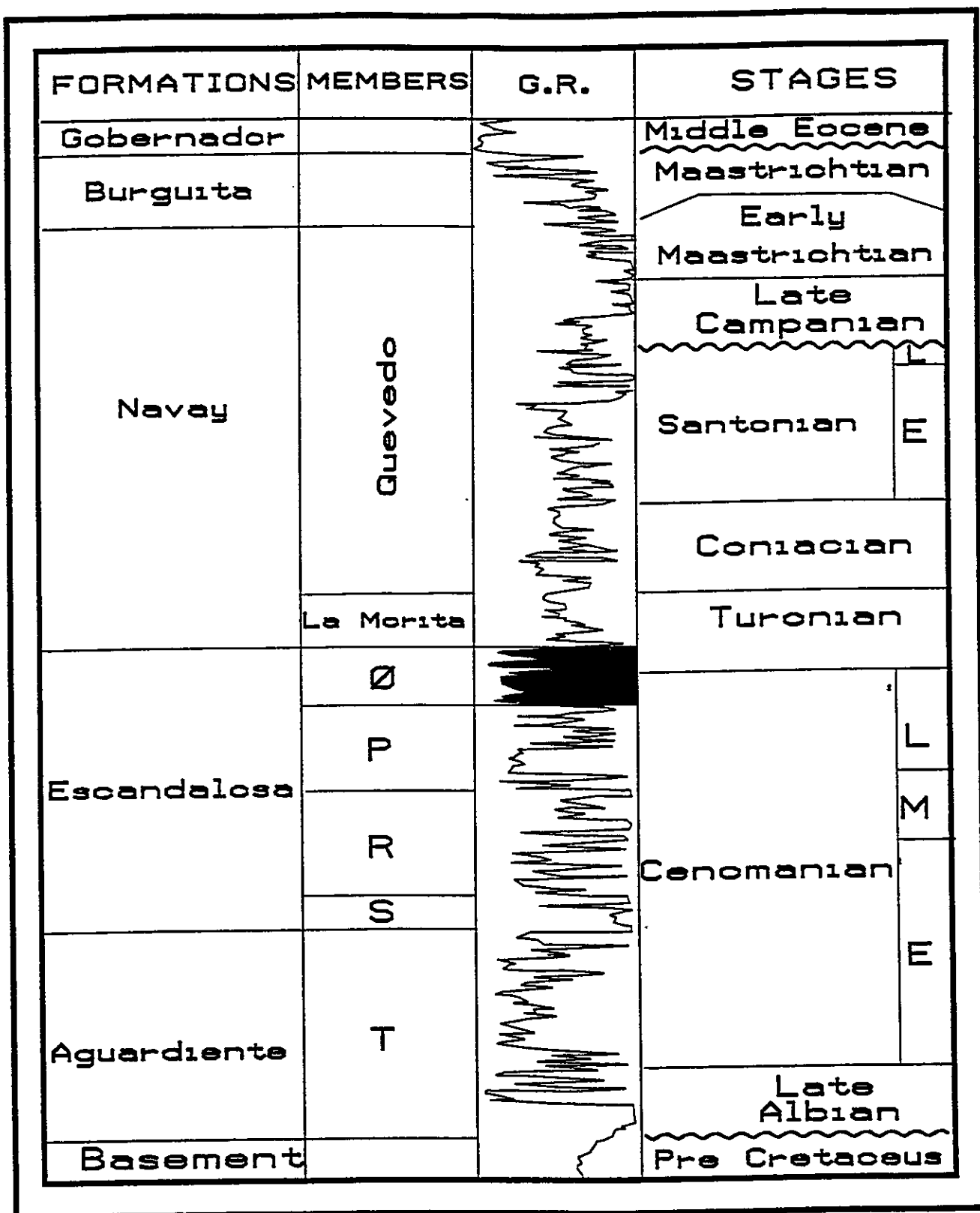


Fig. 1. Location Map

Escandalosa Formacion



 STUDY INTERVAL

Fig. 2. General Stratigraphic Column

grain size varies from 100 μ to 175 μ ; sorting is moderate to poor. Median dolomite crystal size varies from 400 μ to 450 μ . Interparticle calcite cement volume is 5-10%; interparticle dolomite cement averages 10%. Sedimentary structures include extensive bioturbation as well as irregular calcite nodules. Porosity varies from less than 5% to 10% (occasionally 15%), and depends on the amount of carbonate cement.

Limestone

Based on depositional texture, limestones correspond to mudstones, wackestones and packstones. Allochems are predominantly pelecypods, with rare gastropods (Fig. 3C). The limestones also contain variable amounts of glauconite, quartz sand (fine grained) and shale. Sedimentary structures include abundant bioturbation, wispy shale laminae and irregular calcite nodules. Molds that are infilled with either quartz sand or glauconite are observed, as are a number of limestone intervals which appear to be karstified, with irregular dissolved clasts. Based on lateral facies relationships, the nature of the fossil assemblage and the evidences of subaerial exposure, the environment of deposition is interpreted to be a shallow-marine platform. Porosity varies from less than 5% to 10% (moldic and vuggy) and is better developed at the top of the parasequences where the limestones were affected by meteoric dissolution.

Dolomite

This facies consists of dolostones with variable amounts of very-fine to fine-grained quartz and glauconite, and shale. Median dolomite crystal size varies from 250 μ to 800 μ . Calcite cement occurs in variable quantities. Sedimentary structures include abundant bioturbation, rare wispy shale laminae and irregular calcite-cemented fractures and vugs. Open fractures and uncemented vugs are also present. Frequently the dolostones are massive, with no sedimentary structures or allochems observed, which suggests that dolomitization may have obscured any original fabric. However, when the dolostones exhibit packstone textures, the allochems are often dissolved, resulting in both intercrystalline and moldic porosity (Figs. 3D, 3E). A number of dolostone intervals appear to be karstified, with breccia clasts infilled with black shale from the overlying La Morita. Molds and solution-enlarge burrows that are infilled with either sandstone or glauconite are also present (Fig. 3F). Porosity ranges from 3% to 20% (intercrystalline, moldic and vuggy). This facies is best-developed where the sand content is least, (i.e., at the tops of cycles, and toward the interpreted shelf edge).

Micrite-Siltstone

This facies is characterized by argillaceous-calcareous siltstones and argillaceous, silty to sandy mudstones and foraminiferal wackestones (Fig. 3G), with variable amounts of glauconite. Shale content ranges from 15% to 40%. Sand grain size varies from 75 μ to 250 μ , and sorting is moderate. Allochems include rare fine-walled pelecypods and planktonic foraminifera. The rocks vary from massive, to thinly-laminated, to extensively burrowed and bioturbated. Thin laminae of glauconitic shale, differential compaction features and large (decimeter-scale rip-up clasts in shale matrix are also observed (Fig. 3H). The fine grained nature of the facies, the low diversity of the fossil assemblage and the presence of large rip-up

clasts suggest deposition in shelf-slope environments. No significant porosity was observed in this facies.

Depositional Environment

The "O" member is interpreted to have been deposited on a shallow-marine platform to shelf-slope in a mixed siliciclastic-carbonate system (Fig. 4), as suggested by the characteristics of the facies. Facies distribution across the area, shown in isopach maps based on core information (Fig. 5a-d), also corresponds to the general trend characteristic of such a setting. The maps show variations in depositional facies (from south to north) within the inner, middle and outer sections of the platform. The inner section, located towards the south of the study area, is characterized by sandstone-dominated facies, suggesting proximity to the coast and therefore a major terrigenous influence. To the north, mixed sandstone-carbonate facies characterize the inner-middle section, indicating an increase in marine influence. Dolostones and limestones occur in the middle to outer sections of the platform, suggesting that the reduction in the amount of clastics in that area allowed carbonate precipitation (followed by very early dolomite replacement). Finally, siltstones and micrites define the slope setting, indicating deposition in deeper, relatively quiet, low energy environments, with episodic transport of material suggested by the occurrence of rip-up clasts.

PARASEQUENCES

Analysis of the distribution of facies in the cores reveals the existence of a cyclical pattern of deposition. Cycles generally display deepening followed by shallowing upwards trends, indicating episodes of transgression-progradation. The "O" member can be subdivided into eight cycles or parasequences that are correlatable within the study area. The major characteristics of the interpreted parasequences are: (a) the deposits are generally bounded by erosive surfaces; (b) the facies grade upward from sandy to silty to shaly deposits, indicating transgressive sedimentation; a thin bed of shale is often present, probably recording the maximum flooding. Upward, the amount of shale decreases and the deposits grade into limestones and dolostones, indicating the progradational phase; (c) subaerial exposure marks the end of the cycles. It is indicated by the presence of karstified intervals as well as the occurrence, in limestones and dolostones, of molds infilled with either quartz sandstone or glauconite. This is interpreted to represent exposure following deposition of the cycle, subsequent meteoric dissolution of allochems, and infill of molds during the subsequent transgression; (d) the cycles are not easily distinguishable towards the deepest part of the basin because of the regional facies change from shallow platform deposits to shelf-slope deposits. In this area, the depositional cycles are interpreted to be conformable.

The depositional complexity displayed by the parasequences, reflected in changes in lithology, pore

Escandalosa Formacion

FIGURE 3

- 3-A Intense bioturbation in sandstone facies. Note preservation of *Teichichnus* traces (arrows). Core B1, sample depth 9.689'7".
- 3-B Mixed Sandstone-Carbonate facies. Core C1, sample depth 11.005'3".
- 3-C Limestone facies (pelecypod packstone). Note low diversity of the fossil assemblage which is dominated by pelecypods. Also note partial dissolution of the shells. Core C1, sample depth 10.950'.
- 3-D Dolomite facies. Dissolution of allochems resulted in moldic porosity. Core R3, sample depth 12.039'8".
- 3-E Dolomite facies. Combination of moldic and intercrystalline porosity. Core S1, sample depth 10.442'5".
- 3-F Dolomite facies. Molds infilled with glauconite (arrows), interpreted to be deposits of the overlying transgressive facies. Core M2, sample depth 10.449'4".
- 3-G Micrite-siltstone facies (silty to sandy foraminiferal mudstone to wackestone). Core A1, sample depth 10.571'6".
- 3-H Micrite-siltstone facies. Note decimeter-scale rip-up clasts in shale matrix (arrows). Clasts are pelecypod packstone, interpreted to have been derived from time-equivalent platform-edge deposits Core A2, sample depth 11.934'3".

FIGURE 3

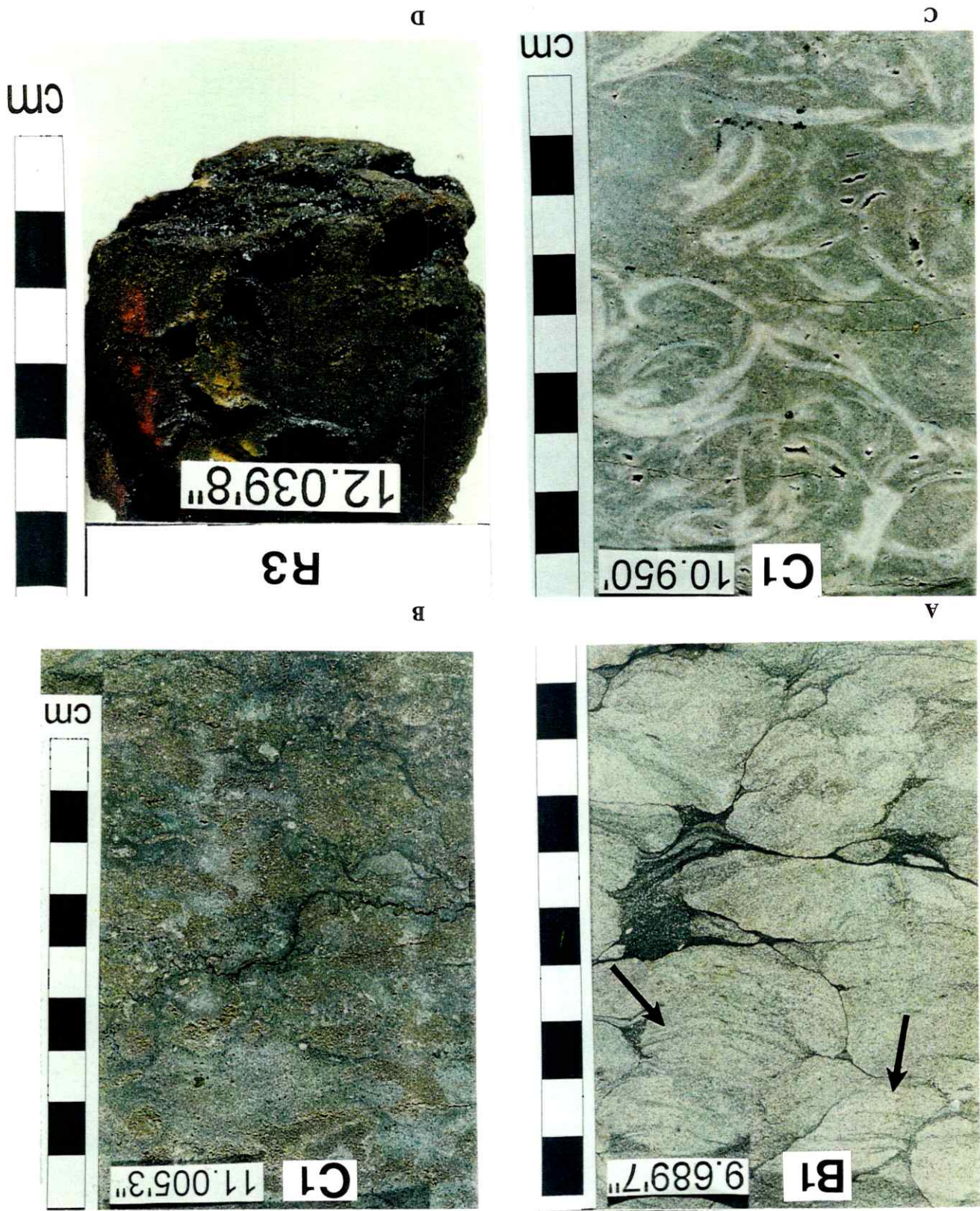
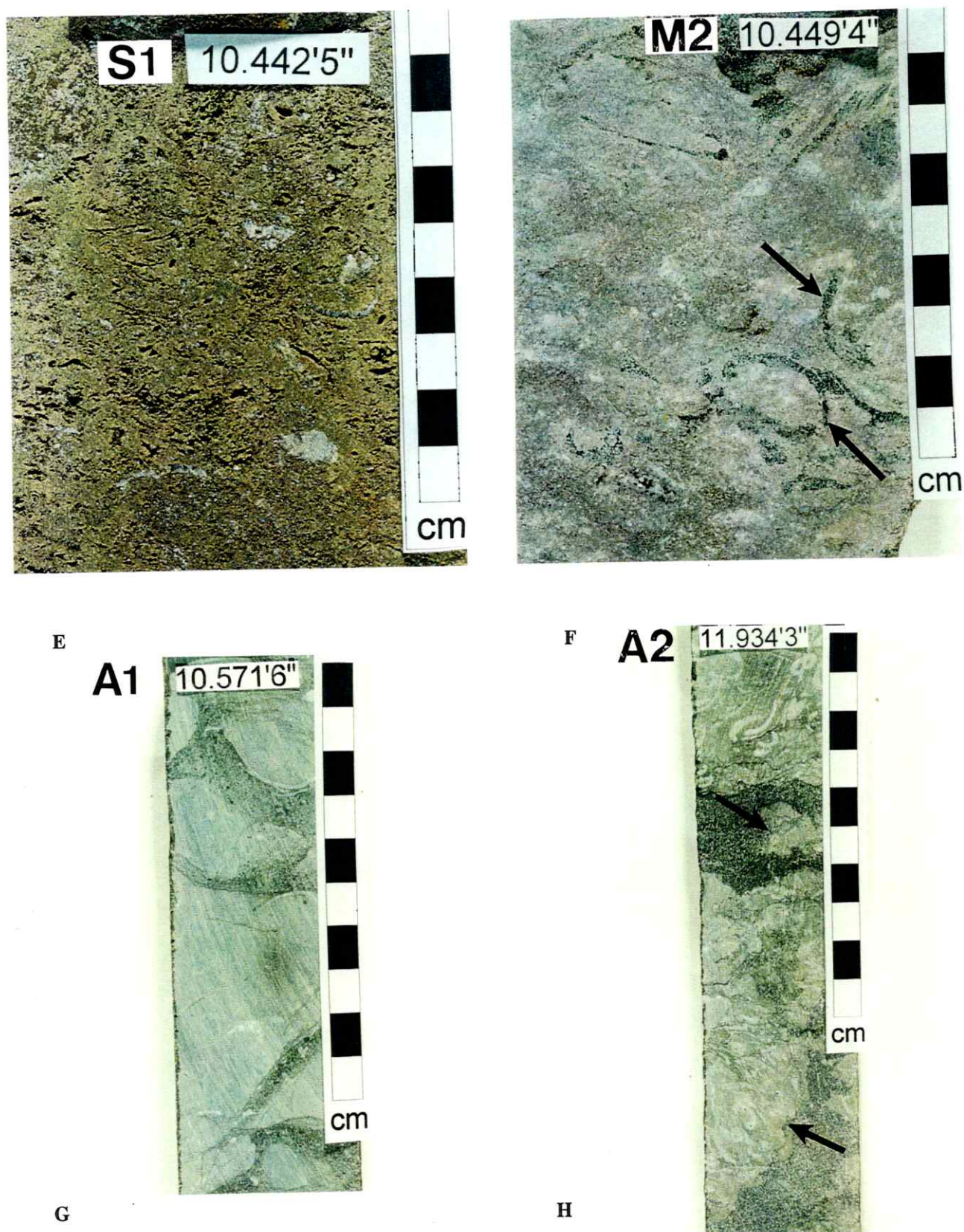


FIGURE 3



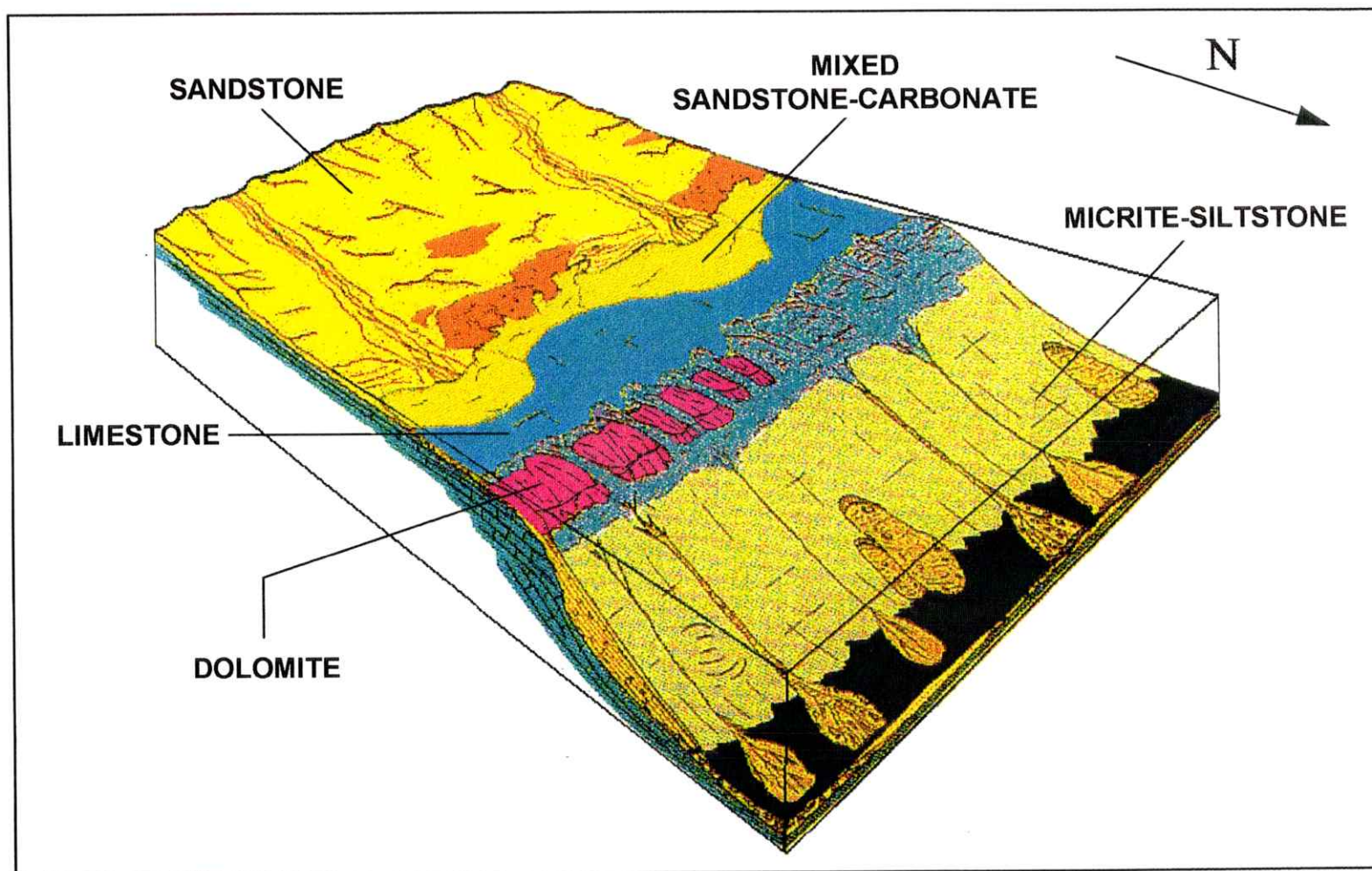


Fig. 4. Depositional model for the "O" Member, Escandalosa Formation (modified from Handford and Loucks, 1993)

Escandalosa Formacion

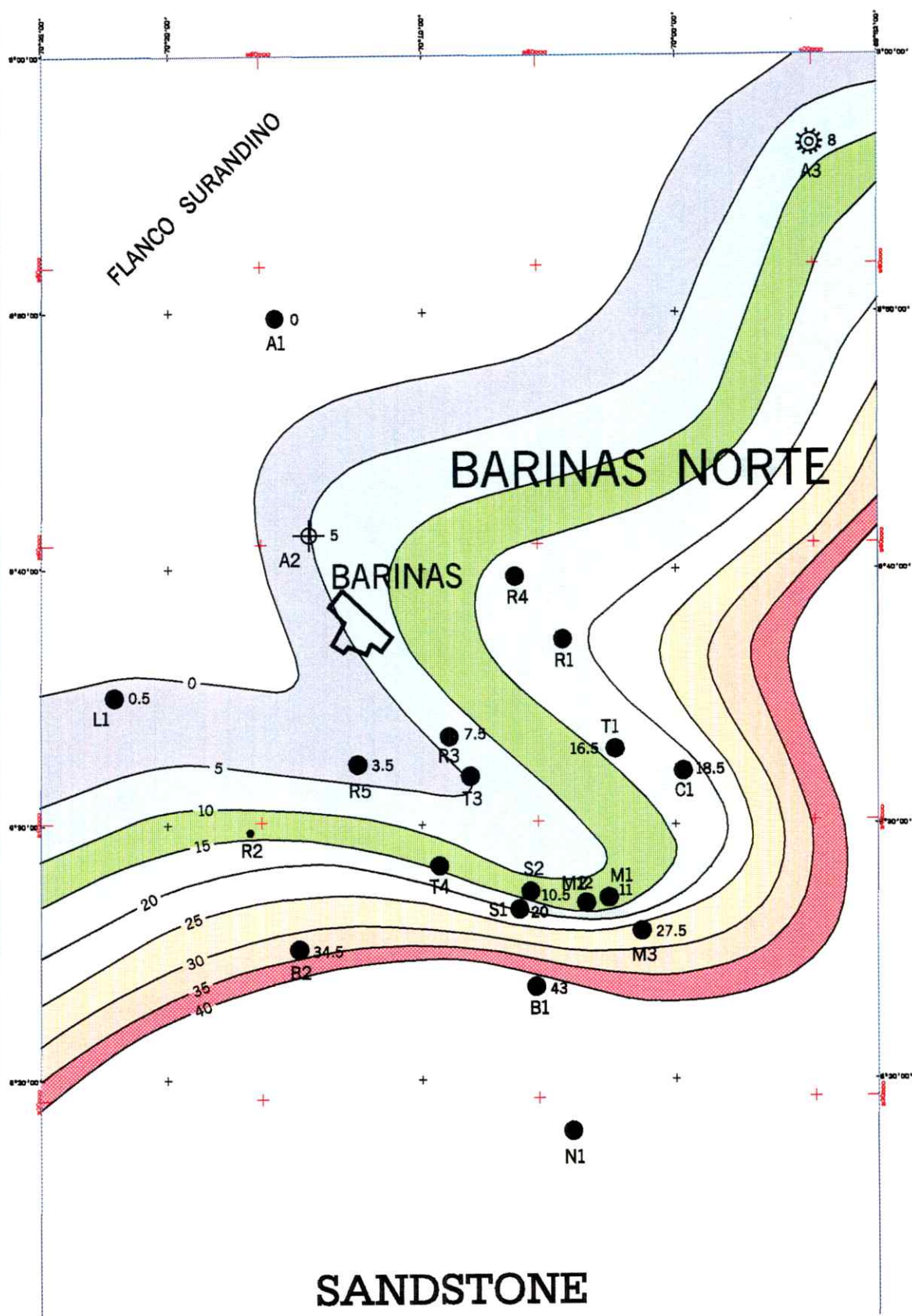


Fig. 5a

Escandalosa Formacion

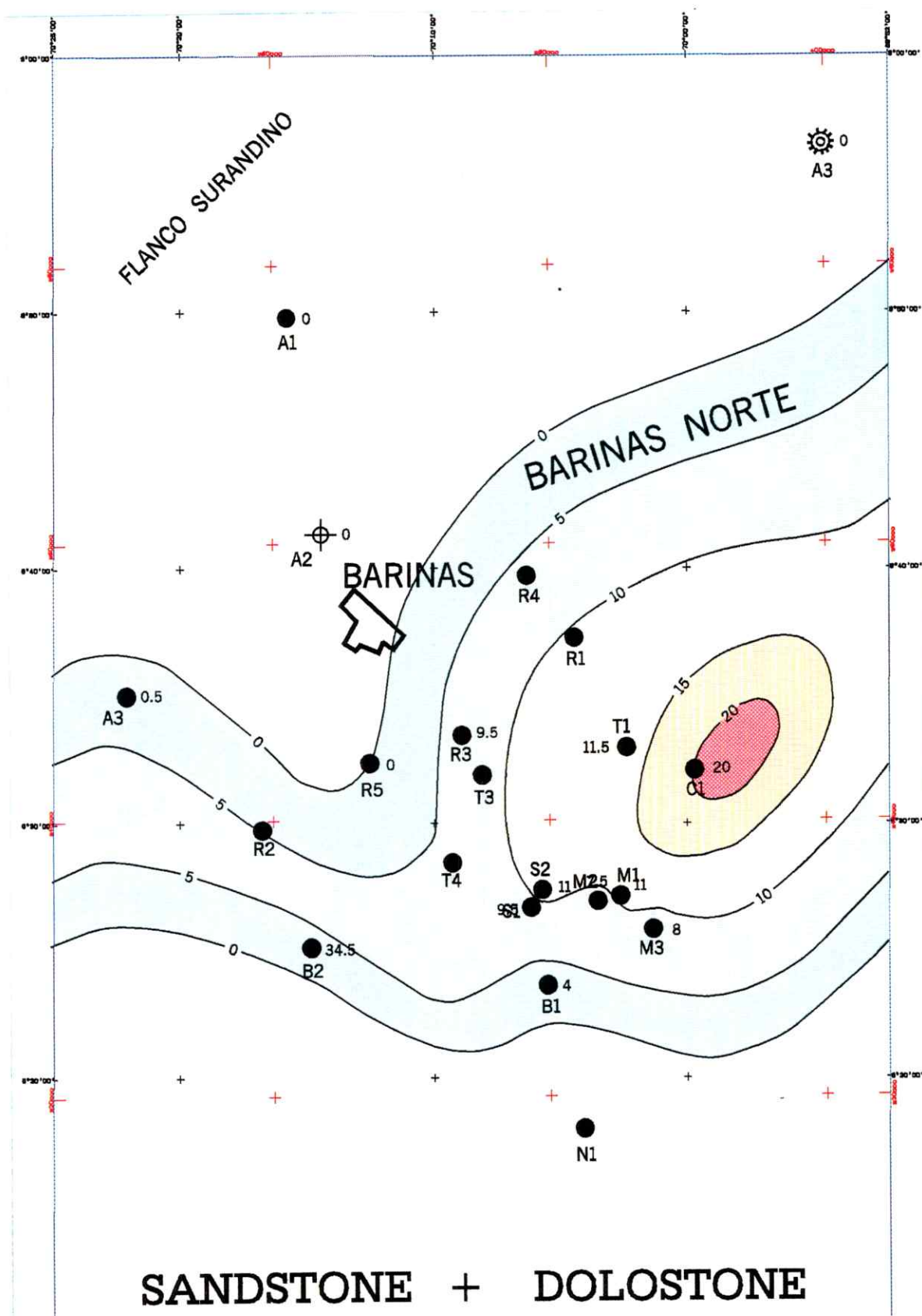


Fig. 5b

Escandalosa Formacion

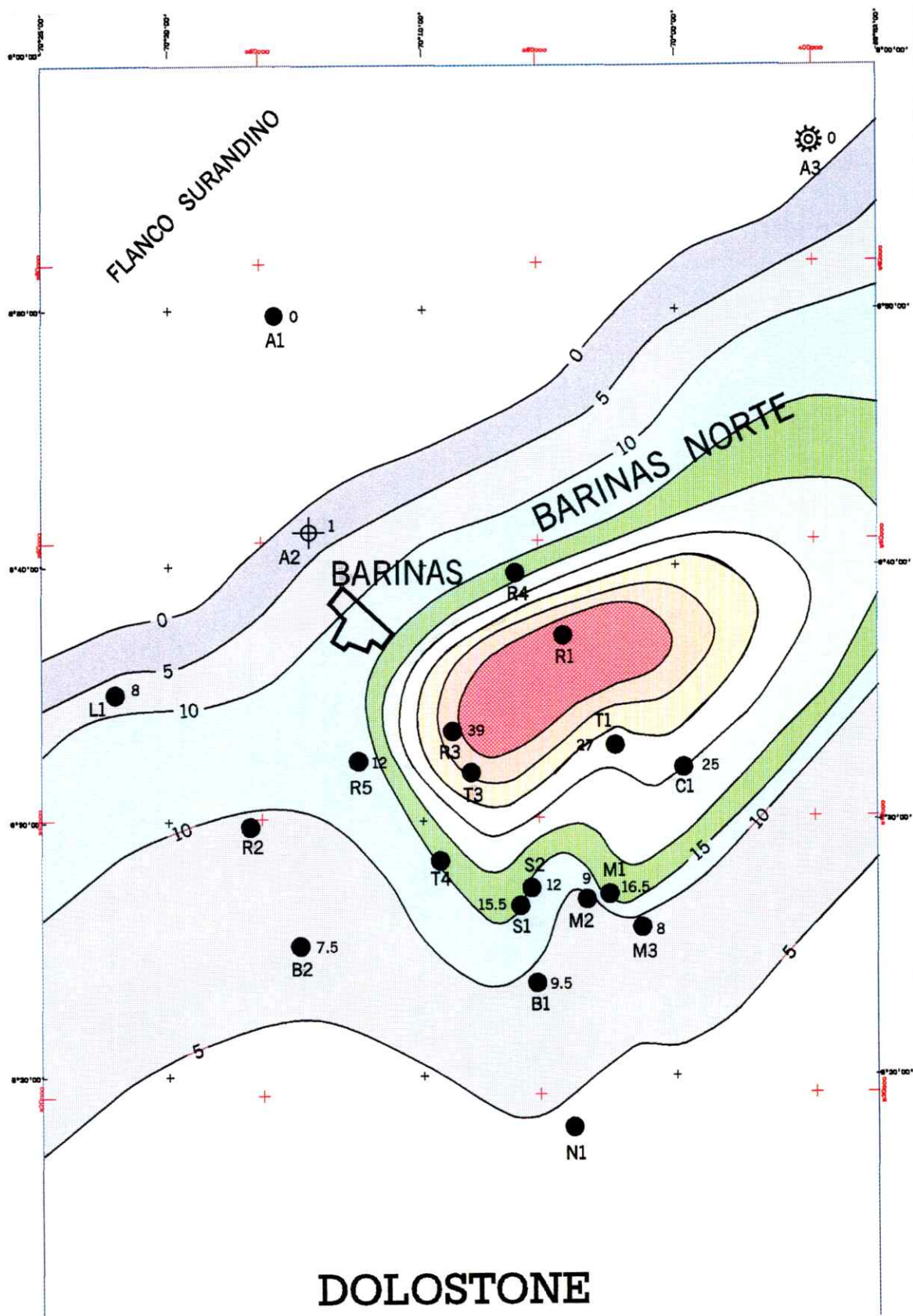


Fig. 5c

Escandalosa Formacion

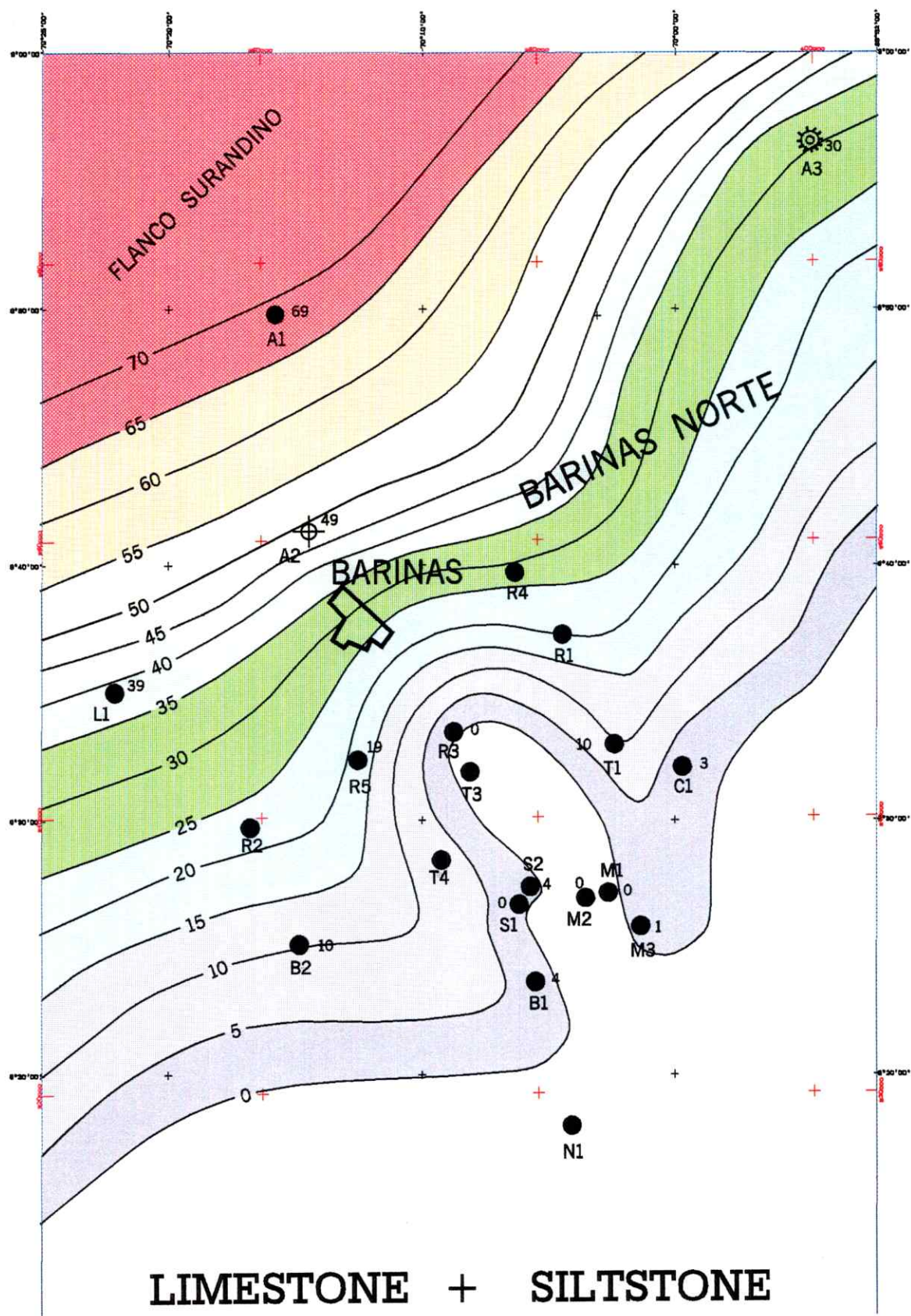


Fig. 5d

types and reservoir quality, results in reservoir heterogeneity and compartmentalization as well as existence of possible flow units.

DEPOSITIONAL AND DIAGENETIC CONTROLS ON RESERVOIR HETEROGENEITY

Reservoir quality in the "O" member has been controlled by (a) the depositional environment (nature of the facies and facies distribution) and (b) diagenesis.

Each depositional facies within the "O" member is characterized by specific pore types that define its potential as reservoir rock. As well, pore types were partially controlled by the depositional setting within the shallow-platform model of sedimentation proposed. To illustrate, dolomites (intercrystalline porosity) and sandstones (interparticle porosity) represent the facies with the highest reservoir potential, and are related to the environments with lowest terrigenous and lowest marine influence, respectively. In contrast, micrites, siltstones and highly cemented sandstones represent the facies with the lowest potential, and are related to the deep water environments and the mixed settings. Since the lateral distribution of facies in the "O" member is consistent with the lateral distribution of facies in a shallow platform, it is possible to predict the areas with the highest potential as reservoir rocks.

The variation in porosity and permeability within the parasequences is additional example of the control on reservoir quality related to the depositional environment. Reservoir quality is a function of the changes in lithology as well as the diagenetic processes associated with the episodes of transgression and progradation. Transgressive facies, usually characterized by an increase in silt and shale content, have no significant development of porosity and permeability. In contrast, moldic porosity is best developed at top of the parasequences, where rocks were exposed to meteoric diagenesis during progradation. Such a distribution of porosity and permeability within the parasequences suggests reservoir compartmentalization.

Diagenesis has also played an important role in the development, redistribution, preservation, and destruction of reservoir quality in the "O" member. Diagenetic processes include: (a) Early, possibly syndepositional dolomitization of the platform edge carbonates. Dolomite generally increases vertically and laterally towards the edge of the platform and decreases abruptly towards the shelf break and slope. The lateral distribution of carbonate probably reflects a reduction in sand content toward the outer section of the platform, with dolomite replacing the majority of platform carbonate. Therefore, it is possible to predict areas prone to dolomitization and consequently with high potential as reservoirs. (b) Dissolution of allochems at tops of parasequences. Moldic porosity was generally followed by deposition of shaly facies during subsequent transgression, which may represent flow barriers. The combination of moldic porosity with shaly facies suggests formation of "flow units" with compartmentalized flow. (c) Recrystallization and multiple generations of post-depositional dolomite. This resulted in an increase in crystal size that is reflected in an increase in pore-throat diameter (Lucia, 1995) and therefore an increase in permeability. (d) Late carbonate dissolution, that resulted in the development of intracrystalline porosity. (e) Abundant fracturing and faulting, that increases flow capacity in facies with low porosity and permeability. (f) Calcite pore-filling cement and dedolomitization. These represent the latest diagenetic processes and resulted in partial occlusion of porosity.

CONCLUSION

Work presented here describes the depositional and diagenetic controls on reservoir quality in a mixed siliciclastic-carbonate system. The facies relationships and diagenetic modifications described provide a framework for recognizing possible reservoir heterogeneities and may be useful as a predictive tool for oil exploration and development in the Barinas area.

REFERENCES

Budd, D. A. and Harris, P. M., eds., 1990, *Carbonate-Siliciclastic Mixtures*: SEPM Reprint Series 14, 272 p.

Lucia, F. J., 1995, Rock-fabric/ petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization: AAPG Bulletin, v. 79, p. 1275-1300.

Evaluacion sedimentologica y petrografica de la Formacion Gobernador, Area de Barinas Norte, Venezuela

Toro, Manuel¹; Mahmoudi, Mounir²

¹ INTEVEP S. A., Centro de Investigación y Apoyo Tecnológico, filial de Petróleos de Venezuela, Los Teques; Apartado 76343, Caracas 1070-A, E-mail: faeton@intevep.pdv.com

² GIPSE ASOCIADOS C. A., Quinta Monmar, Calle 6, Lecherias, Anzoátegui

RESUMEN

Un estudio sedimentológico de la Formación Gobernador, ha sido realizado mediante el análisis de núcleos convencionales que proceden de un pozo localizado al sur-oeste de la ciudad de Barinas. Las principales características reflejan: Presencia del contacto Terciario-Cretácico que muestra un nivel de paleosuelo que separa las unidades I y II. Por debajo del contacto, la Unidad I representa a la Formación Navay. Por encima de éste, se localiza la Unidad II que incluye a la Formación Gobernador. En esta última, se pueden apreciar cambios en el régimen de acomodación, de base a tope, como sigue: Areniscas con tamaño de grano fino a grueso, laminaciones arcillosas, restos de conchas y lentes de coquinas en la parte inferior de la subunidad IIa; areniscas de grano medio a microconglomeráticas con estratificación cruzada tabular, esporádicos restos de conchas de moluscos y materia orgánica dispersa, así como, una bioturbación moderada donde se reconocen trazas de *Ophiomorpha*, *Planolites*, *Teichichnus* y *Skolithos* en la parte superior de la subunidad IIa; areniscas de grano microconglomerático a medio, mal escogidas, con restos orgánicos dispersos, laminaciones carbonosas, trazas de *Ophiomorpha* y estratificación cruzada festoneada, con algunas fracturas rellenas de calcita e impregnación por hidrocarburos en la subunidad IIb. Seguidamente, destaca la subunidad IIc como la transición de la Formación Gobernador con la Formación Masparrito. Esta se caracteriza por tener calizas y areniscas calcáreas con moluscos, foraminíferos bénticos grandes y algas rojas. Las areniscas presentan laminaciones arcillosas e impregnación por hidrocarburos.

En general, la información sedimentológica y las estructuras biogénicas, permiten proponer que la Formación Gobernador se sedimentó en un ambiente transicional donde hubo el desarrollo de canales y barras estuarinas.

Petrográficamente, las muestras estudiadas son mayoritariamente arenitas de cuarzo con tamaño de grano medio como promedio y microconglomeráticos como máximo. Algunas vacas y subarcosas sólo están presentes hacia la base de la Formación Gobernador. En las subarcosas predominan los feldespatos potásicos sobre los sódicos. Los minerales autigénicos predominantes son el cuarzo, en forma de sobrecrecimiento y calcita. En menor proporción se consigue caolinita y pirita. La mineralogía de arcillas presenta una

Formacion Gobernador

asociación conformada, en orden de importancia, por caolinita, clorita, illita y arcillas interestratificadas i/s. Se observó una secuencia de 20 eventos diagenéticos. De ellos, cabe destacar ambientes freáticos (micritización y cementación temprana con esparita), vadosos (disolución de bioclastos y de matriz), y de mezcla (dolomitización). Eventos más tardíos incluyen sobrecrecimientos de cuarzo, alteración de glauconitas, disolución de fragmentos de roca metamórficos, migración de hidrocarburos, piritización y precipitación localizada de anhidrita.

Finalmente, por lo que respecta a la porosidad y permeabilidad de la roca yacimiento, la tendencia vertical general es la de una porosidad y una permeabilidad que tienden a aumentar hacia el tope. En este sentido, se pasa de valores que oscilan entre 5 a 15 % de porosidad y 0,1 a 90 md de permeabilidad a otros de 10 y 18 % y 70 a 3000 md, respectivamente.

Palabras claves: Núcleo, Formación Gobernador, Flanco Surandino, Barinas Norte, Eoceno medio.

ABSTRACT

A core analysis of the Gobernador Formation from Barinas-Apure Basin has been performed. Most important characteristics include: The Cretaceous-Tertiary contact showing a paleosol which separates the units I and II, Navay and Gobernador formations, respectively. Within the Gobernador it is possible to see, from base to top, changes in the accommodation regimen that correspond to three sub-units: The lower sub-unit, IIa, is composed of fine to coarse grained sandstone with laminated clays and shell fragments overlain by medium to microconglomeratic grain sandstone with tabular bedding, sporadic shell fragments and scattered organic material. In the upper part, moderate bioturbation occurs, with the ichnofossils *Ophiomorpha*, *Planolites*, *Teichichnus* and *Skolithos*. The subunit IIb is composed of medium grained to microconglomeratic oil stained sandstones, moderately sorted, with through cross bedding scattered organic material, laminated coal, *Ophiomorpha* ichnofossils and contains some fractures filled with carbonate. The third subunit corresponds to the transition from the Gobernador Formation to the Masparrito Formation characterized by limestones and oil stained calcareous sandstones with mollusc, large benthic foraminifers and red algae.

The sedimentological information and the biogenic structures allow us to propose that the Gobernador Formation was deposited in a transitional environmental essentially composed of estuarine channels and marine bars.

Petrographic examination of thin sections medium grained quartz arenites with some microconglomeratic grains as a maximum. Some greywackes and subarkoses are present only near the base of the Gobernador Formation. Potassium rich feldspars predominate in the subarkoses. Authigenic quartz overgrowth and calcite are common. The clay minerals are as an association of kaolinite, chlorite, illite and i/s clay, in order of decreasing abundance. A sequence of twenty diagenetic events was observed. From these, the most important are the formation of micrite and sparite early cementation, bioclast dissolution and dolomitization. Late events include quartz overgrowth, alteration of glauconite, dissolution of rock fragments, oil migration, and local precipitation of pyrite and anhydrite.

The porosity and permeability show progressive increases upwards, from 5 to 15 % of porosity and 0,1 to 90 md of permeability near the base, to 10 to 18 % and 3000 md near the top.

Key words: Core, Gobernador Formation, South Merida Andes, north Barinas, middle Eocene.

INTRODUCCION

En la Cuenca de Barinas-Apure, se encuentra, tanto en afloramientos como en el subsuelo la Formación Gobernador, de edad Terciaria. Esta ha sido descrita ampliamente en la literatura como el clástico basal del ciclo sedimentario Eoceno, que descansa discordantemente sobre el Cretácico en casi toda la cuenca (Pierce, 1960; Von der Osten, 1966; Feo Codecido, 1972). Dada la importancia de esta formación como roca reservorio de hidrocarburos, se han seleccionado para este taller, intervalos de núcleos recuperados de un pozo del norte del Estado Barinas (Fig. 1), donde está presente esta formación. A continuación, se muestran resultados sedimentológicos, petrográficos y de roca yacimiento del estudio realizado a estos núcleos.

RESULTADOS

Sedimentología

Las características litológicas presentes en los núcleos, ubicados entre las profundidades de 11108' y 11409', permitieron definir dos unidades de sedimentación (Fig. 2). La equivalencia de ellas con unidades formacionales conocidas en el área es como sigue:

Unidad I:	Formación Navay
Unidad II:	Formación Gobernador

El estudio, a su vez, permitió dividir a la unidad II en tres subunidades: subunidad IIa (11264'-11370'), subunidad IIb (11138'-11264') y subunidad IIc (11108'-11138'). Esta última puede considerarse como la transición con la Formación Masparrito.

Unidad I (11370'-11410')

Esta unidad está compuesta exclusivamente de lutitas de color gris oscuro, localmente piritizada y calcárea hacia la base. Hacia el tope tiende a ser de composición más limolítica. Igualmente, presenta huellas de paleoraíces muy sutiles en el contacto con la unidad II (Fig. 3).

Unidad II (11108'-11370')

Básicamente, ésta es una unidad de areniscas con algunos niveles carbonáticos.

La subunidad IIa presenta una mitad inferior de areniscas con tamaño de grano fino a grueso, laminaciones arcillosas, restos de conchas y lentes de coquinas y una mitad superior caracterizada por presentar areniscas de grano medio a micro-conglomeráticos, calcáreas y moderadamente bioturbadas y en donde se observa estratificación cruzada tabular, esporádicos restos de conchas, materia orgánica dispersa y contactos erosivos. En general, la tendencia observada es la de una disminución de la acomodación hacia el

tope. Las trazas icnofósiles son de gran tamaño. Se logró identificar en la mitad inferior de la subunidad, trazas de Planolites, Ophiomorpha, Teichicnus, Arenicolites, Asterosoma, Anconichnus y Palaeophycus. Los Skolithos predominan en la mitad superior. El extremo inferior del intervalo, que está en contacto con la unidad I, se caracteriza por ser carbonoso y oxidado, con areniscas de grano fino y huellas de paleoraíces (Fig. 4).

La subunidad IIb tiene una tendencia general de afinamiento de granos hacia arriba. La acomodación aumenta en la misma dirección. La mitad superior del intervalo está formada de areniscas masivas de grano microconglomerático a medio, mal escogidas y levemente bioturbadas, con restos orgánicos dispersos. Hacia el tope se observan fracturas rellenas de calcita e impregnación moderada a intensa. La mitad inferior se presenta con facies arenosas de grano conglomerático a fino, con abundante matriz arcillosa, restos orgánicos dispersos y laminaciones carbonosas hacia el tope. Se observa estratificación cruzada festoneada y bioturbación. La única traza icnofósil presente es Ophiomorpha (Fig. 5).

La subunidad IIc corresponde a un intervalo de calizas arenosas y areniscas calcáreas, con restos de foraminíferos (nummulites), restos conchíferos de ostras (bioclastos) y trazas icnofósiles de Diplocraterium. Las tendencias de afinamiento son frecuentes. El intervalo se observa fracturado en las facies calcáreas, con fracturas rellenas de calcita. Las areniscas presentan buen escogimiento, laminaciones arcillosas e impregnación por hidrocarburo (Fig. 6).

Ambiente de Sedimentación

Unidad I

La unidad I, constituida exclusivamente por lutitas, pertenece a un ambiente nerítico interno.

Unidad II

La unidad II se interpreta como depositada en un ambiente transicional, donde se desarrolló un complejo de canales y barras.

Las subunidades IIa y IIb, representan una secuencia de canales y barras formadas en un ambiente estuarino. Hacia el tope de la secuencia se tienen condiciones transgresivas que se ven reflejadas en la subunidad IIc.

En este sentido, se tiene que la mitad inferior de la subunidad IIa presenta laminaciones arcillosas que en principio reflejan pares de mareas, las cuales son diagnósticas de ambientes mareales. Estratificaciones tabulares y festoneadas (ambas dos indicativas de transporte de sedimentos por tracción), son las que caracterizan la mitad superior de la subunidad IIa y la parte inferior de la subunidad IIb, respectivamente. Verticalmente hacia arriba el carácter masivo es el predominante.

Por lo que respecta a las estructuras biogénicas, la subunidad IIa presenta una asociación de trazas icnofósiles conformada por los icnogéneros *Teichichnus*, *Paleophycus*, *Planolites*, *Ophiomorpha*, *Skolithos*, *Arenicolites*, *Asterosoma* y *Anconichnus* y en donde los dos primeros son los mas representativos (Fig. 7). Esta asociación permite proponer un ambiente transicional con alta influencia marina. Esto es corroborado también por la presencia de bioclastos que caracterizan a esta subunidad. Hacia el tope se reflejan unas condiciones menos marinas por presentarse únicamente trazas de *Skolithos*.

Por su parte, la subunidad IIb refleja condiciones menos marinas, ya que se presenta únicamente el icnofósil *Ophiomorpha*. Esto refleja ambientes transicionales y marinos muy someros. En esta subunidad los bioclastos sólo presentan un pico de abundancia hacia la base.

Por último, la subunidad IIc refleja condiciones nuevamente marinas al presentarse calizas con abundantes bioclastos. Se presentan sólo icnofósiles *Diplocraterium*. La petrografía confirmó la existencia de foraminíferos grandes (*Nummulites*), foraminíferos texturados, algas rojas y moluscos. Asociaciones semejantes han sido reportadas en ambientes de plataformas carbonáticas y en bancos de arenas arrecifales.

Caracterización de la Roca Yacimiento

Se presenta a continuación, los resultados que caracterizan a la roca yacimiento (unidad II), con base en los estudios petrográficos y petrofísicos.

Textura

Petrográficamente, se observa una clara tendencia de engrosamiento de granos hacia el tope, que persiste hasta los límites entre las subunidades IIa y IIb. Posteriormente, se observa una gradual disminución en el tamaño de grano hacia el tope de la subunidad IIb (Fig. 8). Esto es válido tanto para los tamaños de grano promedio como para los tamaños de grano máximo. Es interesante darse cuenta, que si bien, las tendencias generales son las señaladas, se observan tendencias menores de afinamiento en la subunidad IIa y de engrosamiento en la subunidad IIb. La subunidad IIc parece mostrar una tendencia de afinamiento que posteriormente cambia a un engrosamiento. La redondez es subangulosa a subredondeada, con un escogimiento, que a todo lo largo de la secuencia alterna entre bueno a malo. Los peores escogimientos se localizan en la base de la unidad, donde se observaron muy malos.

Mineralogía Detrital

De las muestras estudiadas, se reconocieron arenitas de cuarzo, wacas líticas y cuarzosas, subarcosas y bioesparitas. Las wacas y las subarcosas sólo se localizan en la subunidad IIa (parte basal). Algunas de las arenitas de cuarzo se les puede calificar también como bioesparitas por la presencia de bioclastos y cemento esparítico (Figs. 9y 10).

Entre los componentes principales, el más importante es el cuarzo monocristalino seguido por la variedad policristalina, con proporciones que oscilan entre el 72 % y el 45 % para el primero y de 26 % a 0 % para el segundo.

Los bioclastos son los constituyentes que siguen en importancia con porcentajes de hasta 17 %. Los moluscos corresponden al mayor porcentajes de ellos, predominando éstos en la subunidad IIa. En la subunidad IIb están presentes pero sólo en la parte basal. En la subunidad IIc están presentes también, pero en asociación con foraminíferos grandes (Nummulites), foraminíferos textuláridos y algas rojas.

Feldespatos potásicos se presentan exclusivamente en la parte basal de la subunidad IIa con porcentajes que alcanzan hasta un 6 %. Las plagioclasas están en menor proporción (< 1 %).

Los fragmentos de roca, por su parte, no se reportan con más de 1 %. Únicamente en las vacas líficas de la subunidad IIa se localizan porcentajes más elevados (hasta 7 %).

El resto de constituyentes lo forman porcentajes trazas de micas de muscovita, minerales pesados, pellets glauconíticos y fosfáticos.

En cuanto a la matriz, se reconocen proporciones de hasta 33 % en las vacas. El resto de las muestras no presentan por lo regular mas de 5 %.

Los minerales autigénicos dominantes son el cuarzo y la calcita. Con menores porcentajes están la caolinita y la piritita. Se observa que las subunidades IIa y IIc presentan porcentajes de calcita mayores o en relativa igualdad con la sílice. Por el contrario, en la subunidad IIb la calcita está ausente, siendo la sílice el principal mineral autigénico (Fig. 11).

Mineralogía de Arcillas

La mineralogía de arcillas presenta una asociación conformada por caolinita, clorita, illita y arcillas interestratificadas I/S.

La caolinita es el mineral de arcilla más común con porcentajes en peso que oscilan entre 87 % y 24 %. Le sigue en importancia la clorita con porcentajes de 59 % a 0 %. Se observan cuatro máximos principales de las arcillas interestratificadas I/S (Fig. 12).

Diagénesis

Petrográficamente, las muestras analizadas en esta unidad, muestran una secuencia de 20 eventos diagenéticos. Se logró reconocer ambientes freáticos (micritización, cementación temprana con esparita, etc),

vadados (disolución de bioclastos y de matriz), y de mezcla (dolomitización). Ambientes diagenéticos de subsuelo somero y profundo están dados por la presencia de alteración de glauconitas, disolución de fragmentos de cuarzo metamórficos, migración de hidrocarburos, piritización y precipitación localizada de anhidrita (Fig. 13).

Los principales eventos reductores de porosidad resultan ser los relacionados con carbonatos y cemento silíceo, así como por precipitación de caolinitas autigénicas. La cementación silícea juega un papel importante y exclusivo en casi toda la subunidad IIb.

Porosidad y Permeabilidad de la Roca Yacimiento

La tendencia vertical general de la porosidad, desde la subunidad IIa hasta la subunidad IIb, es de aumento hacia el tope. Se observa claramente que este comportamiento se subdivide a la vez en tres tendencias menores con similares características. En general, se pasa de valores hacia la base que varían de 5 a 15 % de porosidad, a otros hacia el tope con rangos de porosidad de 10 a 18 %. Desde la parte superior de la subunidad IIb hasta la subunidad IIc parecen mostrarse tendencias de disminución de la porosidad pero muy sutiles. Aun así, el tope de esta última subunidad presenta los valores más altos del estudio que llegan hasta algo más de 20 % (Fig. 14).

Por su parte, la permeabilidad se manifiesta con similares características. Un aumento general hacia el tope que comienza con valores de 0.1 md a 90 md en la base de la subunidad IIa, hasta volores de 70 md a 3000 md en la subunidad IIb. Por su parte, el tope de la subunidad IIb y toda la subunidad IIc presenta dos poblaciones con valores altos y bajos de permeabilidad (Fig. 15).

CONCLUSIONES

El estudio sedimentológico y la caracterización mineralógica y petrofísica de la Formación Gobernador, demuestran que las mejores condiciones de la roca yacimiento se localizan hacia el tope de la Unidad IIb y en la Unidad IIc, donde se observa un aumento importante de la acomodación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Corpoven S. A. y a Intevep S. A., filiales de PDVSA, por permitir la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

FEO CODECIDO, G. (1972) Contribución a la estratigrafía de la Cuenca de Barinas-Apure. Memoria, IV Congreso Geológico Venezolano, Dirección Geología, Publicación Especial 5, Tomo II: 773-782.

PIERCE, G. R. (1960) Geología de la Cuenca de Barinas. Memoria, III Congreso Geológico Venezolano, Tomo 1: 214-276.

VON DER OSTEN, E. (1966) The stratigraphy of Sinco Field. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo., Boletín Informativo 9 (9): 253-272.

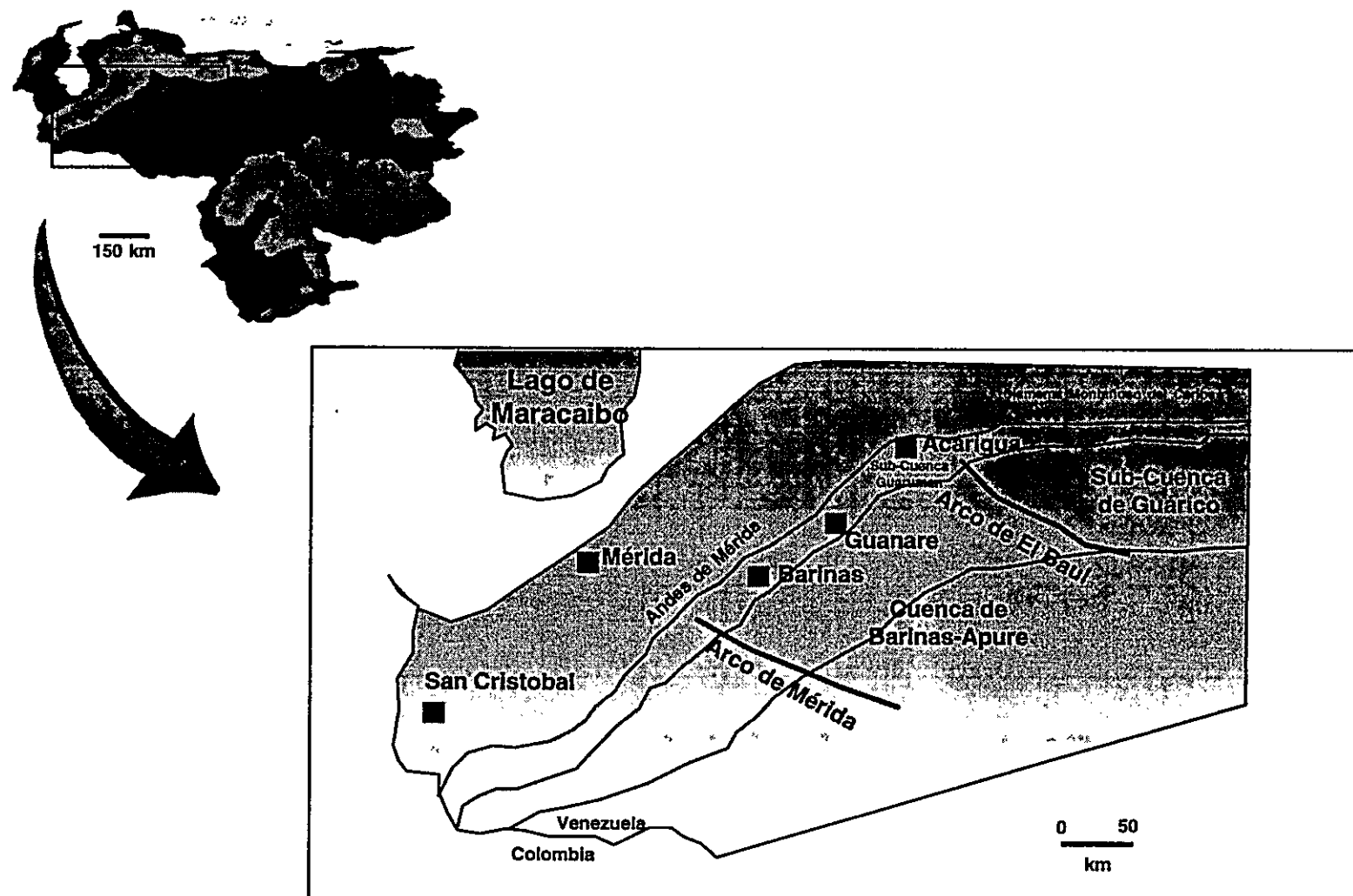


Fig. 1. Mapa de ubicación de la Cuenca de Barinas-Apure.

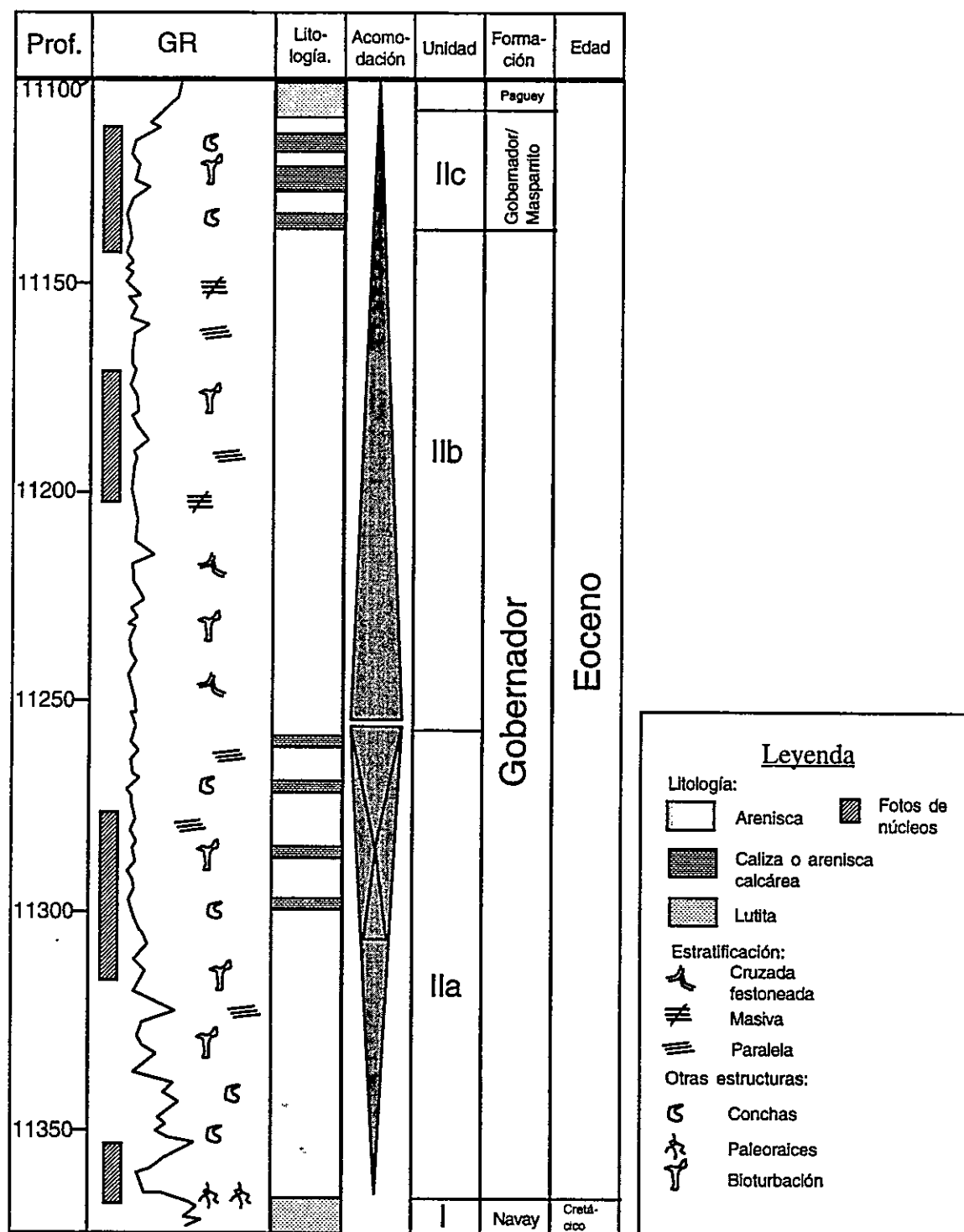
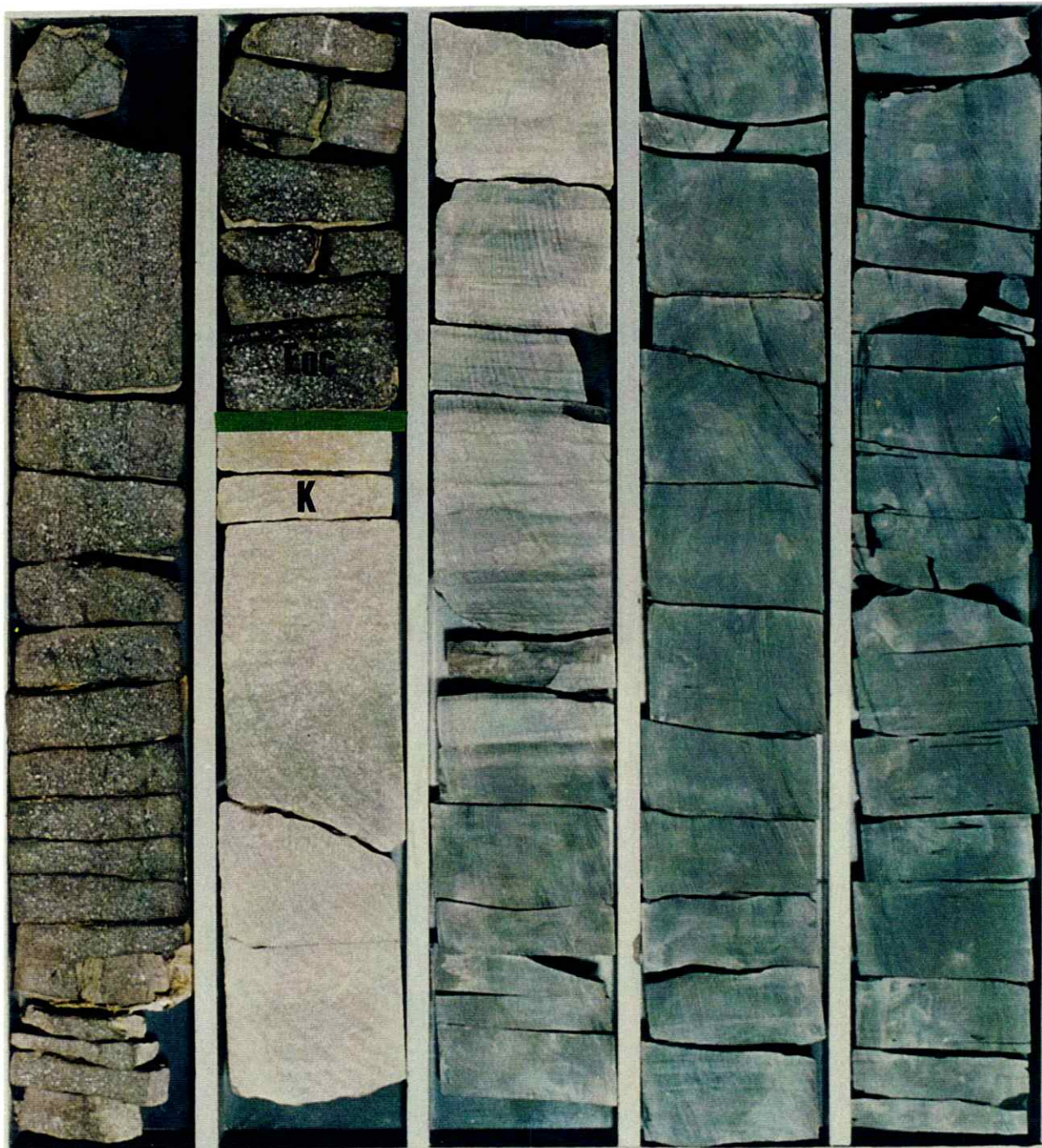


Fig. 2. Perfil litológico de la Formación Gobernador.

11354'



11364'

Fig. 3. Intervalo de núcleos con el contacto Cretácico-Terciario que separa las unidades I y II

11274'



11284'

Fig. 4. Intervalo de núcleos pertenecientes a la subunidad IIa. Puede observarse una moderada bioturbación con vestigios de estratificación tabular, trazas de *Ophiomorpha*, *Diplocraterion*, *Teichichnus*, *Paleophycus* y *Thalassinoides*. La parte superior se presenta calcárea.

11284'



11294'

Fig. 4. (Cont.).

11294'



11304'

Fig. 4. (Cont.).

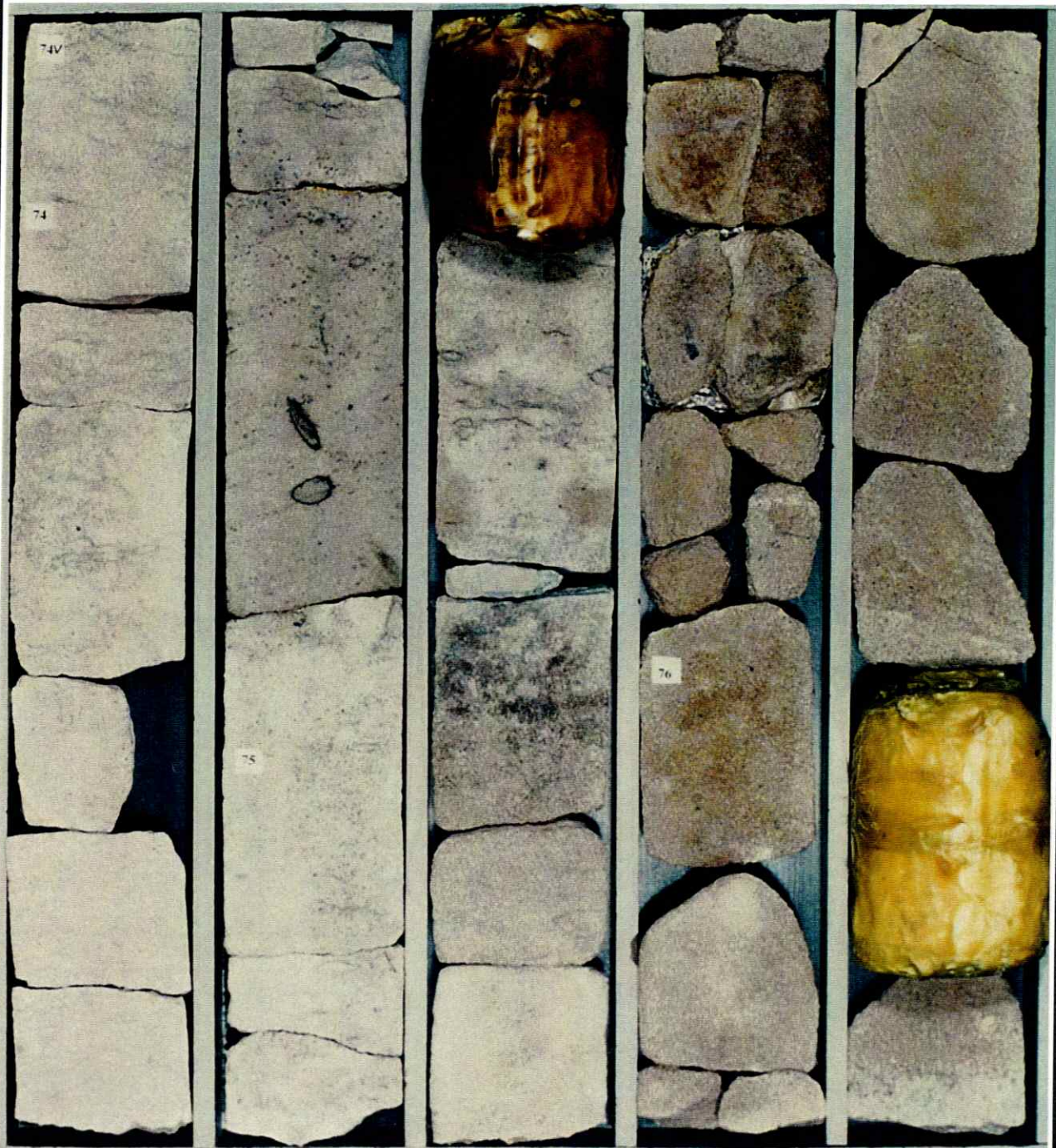
11304'



11314'

Fig. 4. (Cont.).

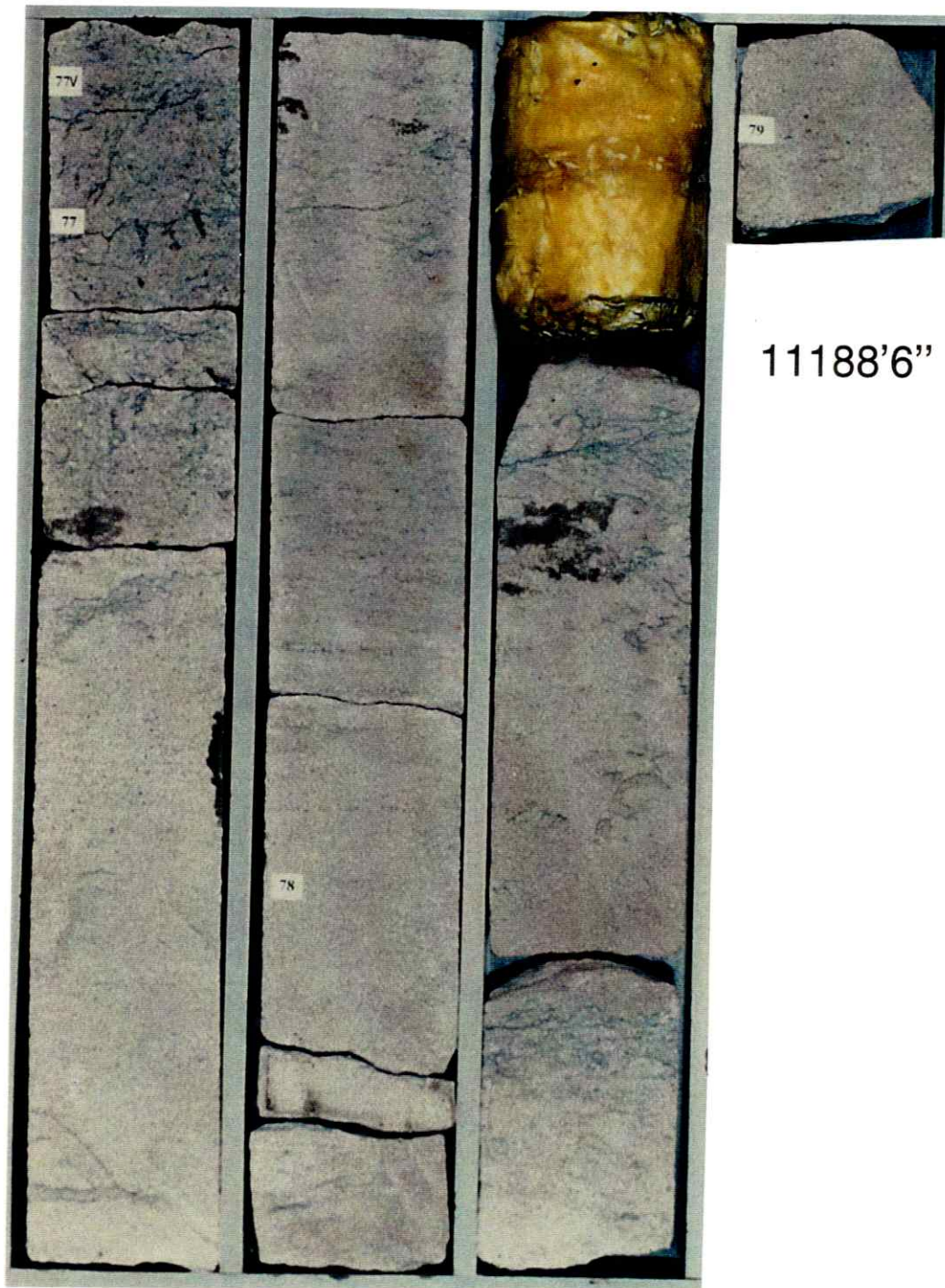
11172'



11182'

Fig. 5. Intervalo de núcleos pertenecientes a la subunidad IIb. Las areniscas presentan una bioturbación débil a moderada, con sólo algunas trazas de Ophiomorpha y una visible impregnación por hidrocarburo.

11182'



11188'6''

Fig. 5. (Cont.).



Fig. 5. (Cont.).



Fig. 5. (Cont.).

11110'



11120'

Fig. 6. Intervalo de núcleos que incluye parte de las subunidades IIb y IIc. Se observa una mayor impregnación de las areniscas, así como zonas con fracturas rellenas por calcita.

11120'



11124'6"

Fig. 6. (Cont.).

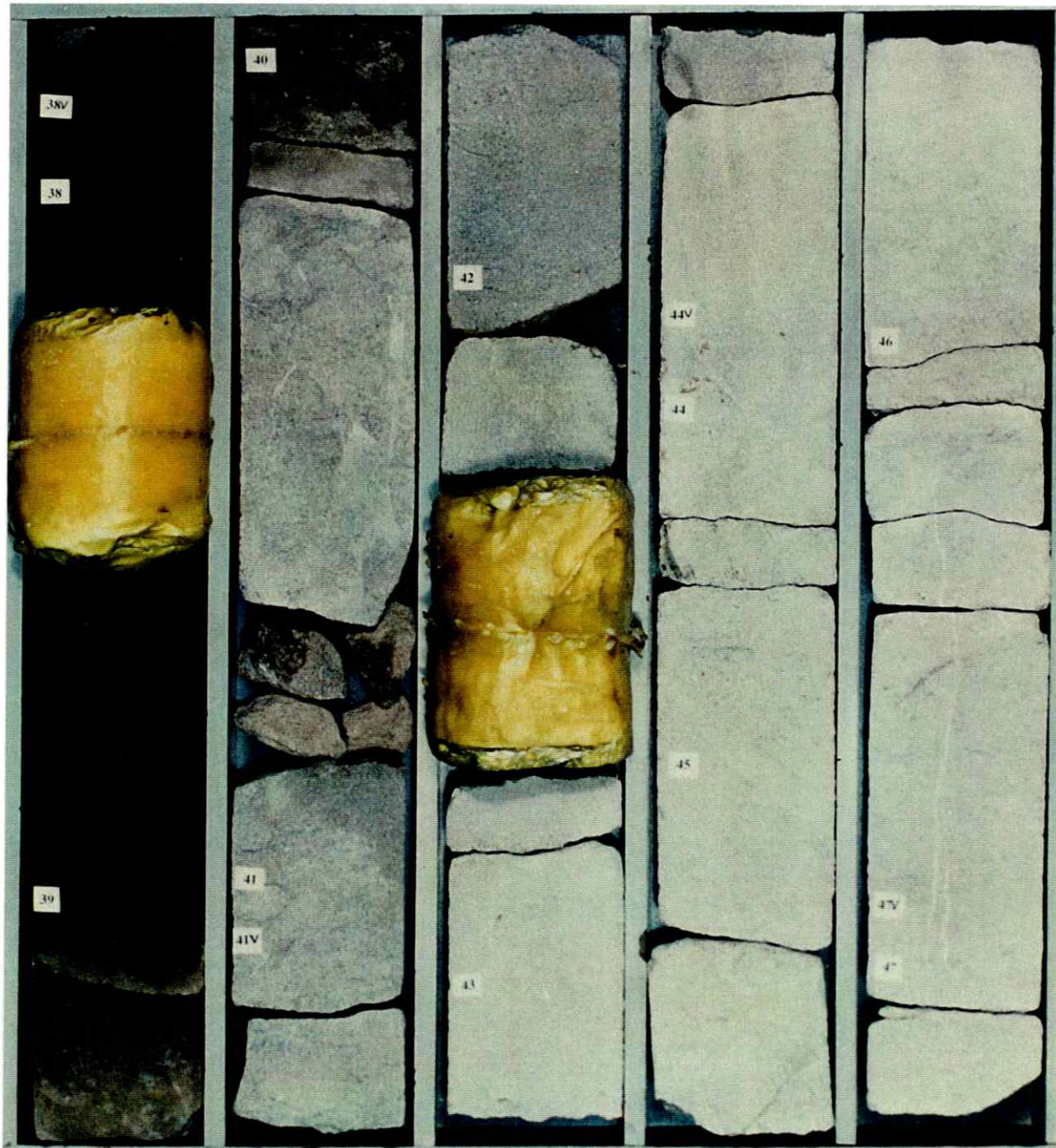
11124'6''



11134'6''

Fig. 6. (Cont.).

11136'



11146'

Fig. 6. (Cont.).

ICNOFOSIL	SUBUNIDAD IIa	SUBUNIDAD IIb	SUBUNIDAD IIc
THALASSINOIDES			
RHIZOCORALIUM			
TEICHICHNUS			
DIPLOCRATERION			
PLANOLITES			
ARENICOLITES			
OPHIOMORPHA			
SKOLITHOS			
PALEOPHYCUS			

 ICNOGENEROS MAS REPRESENTATIVOS

Figura 7. Distribución de icnofósiles reconocidos en las diferentes subunidades de la unidad II.

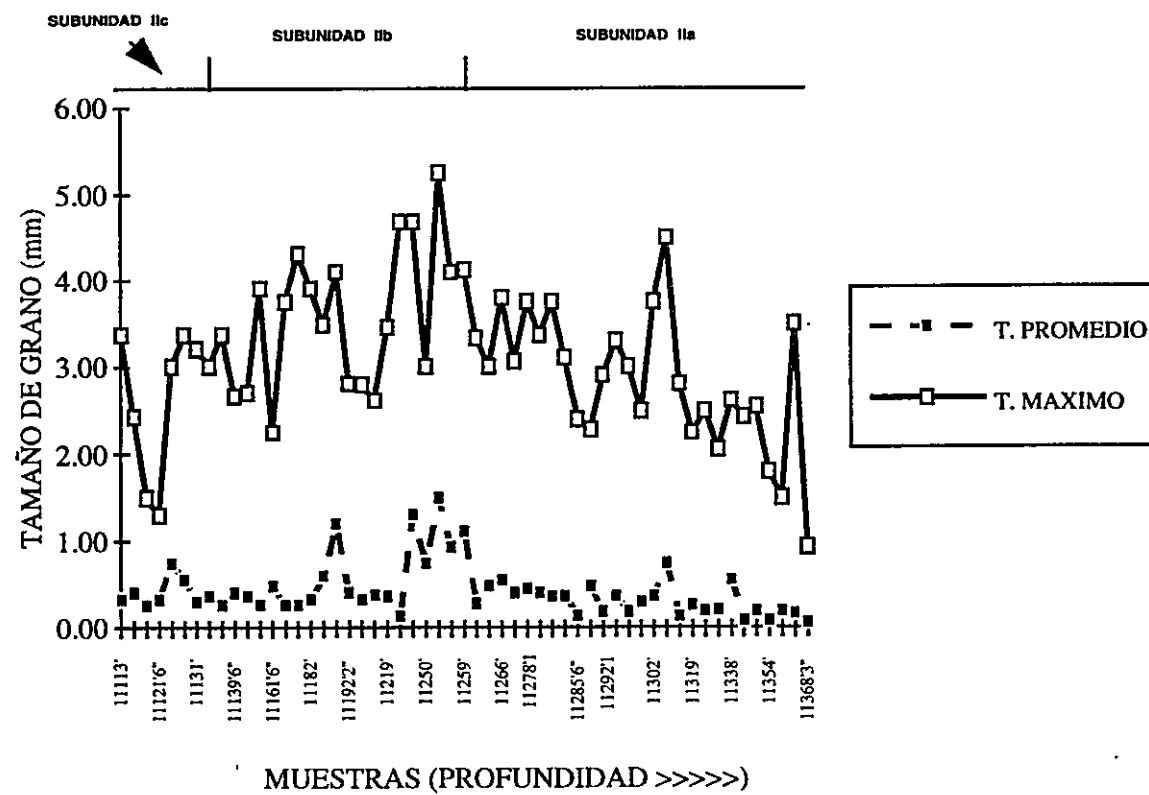


Figura 8. Distribución del tamaño de grano en la unidad II, obtenido a partir del análisis petrográfico.

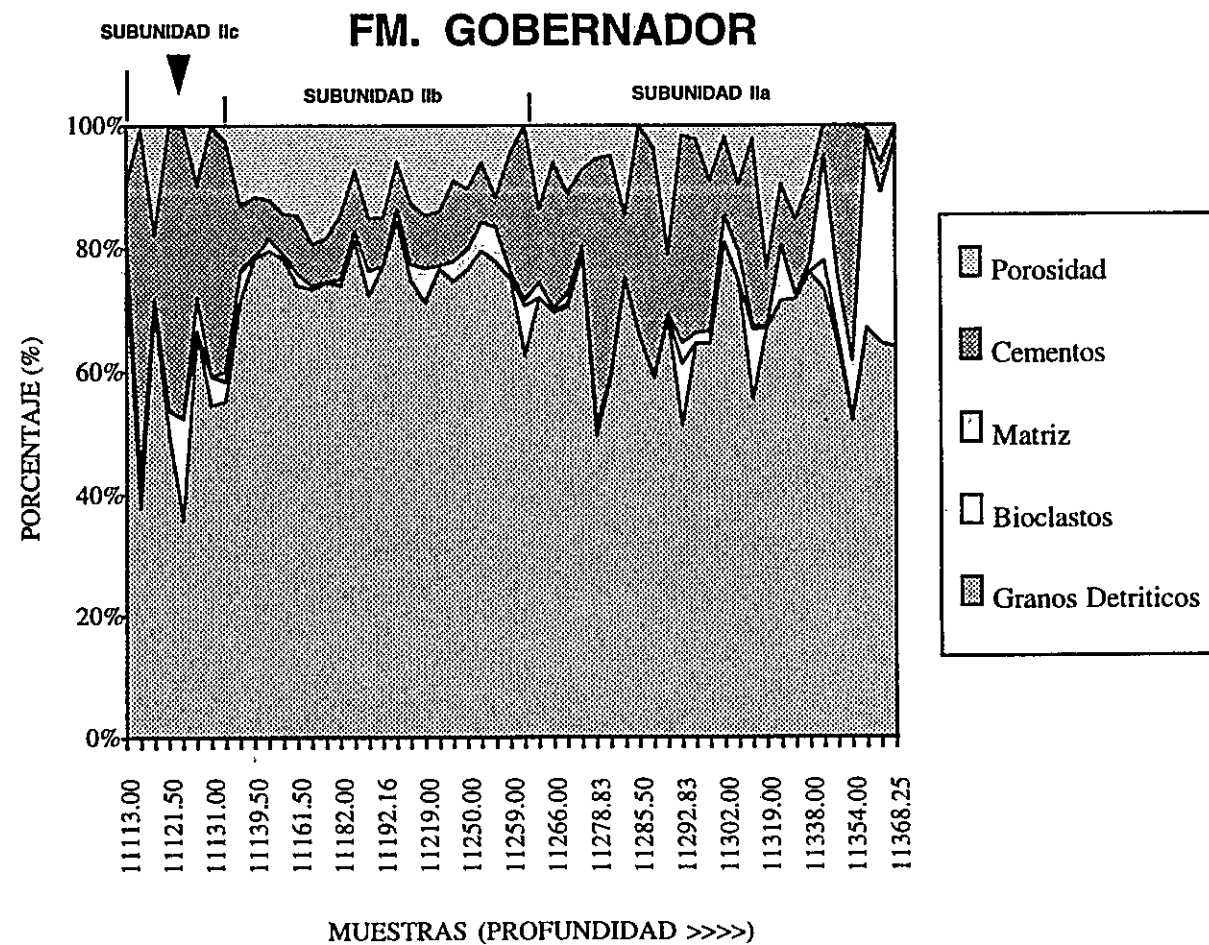


Figura 9. Distribución de las fracciones detríticas y autigénicas obtenidas a partir del estudio petrográfico.

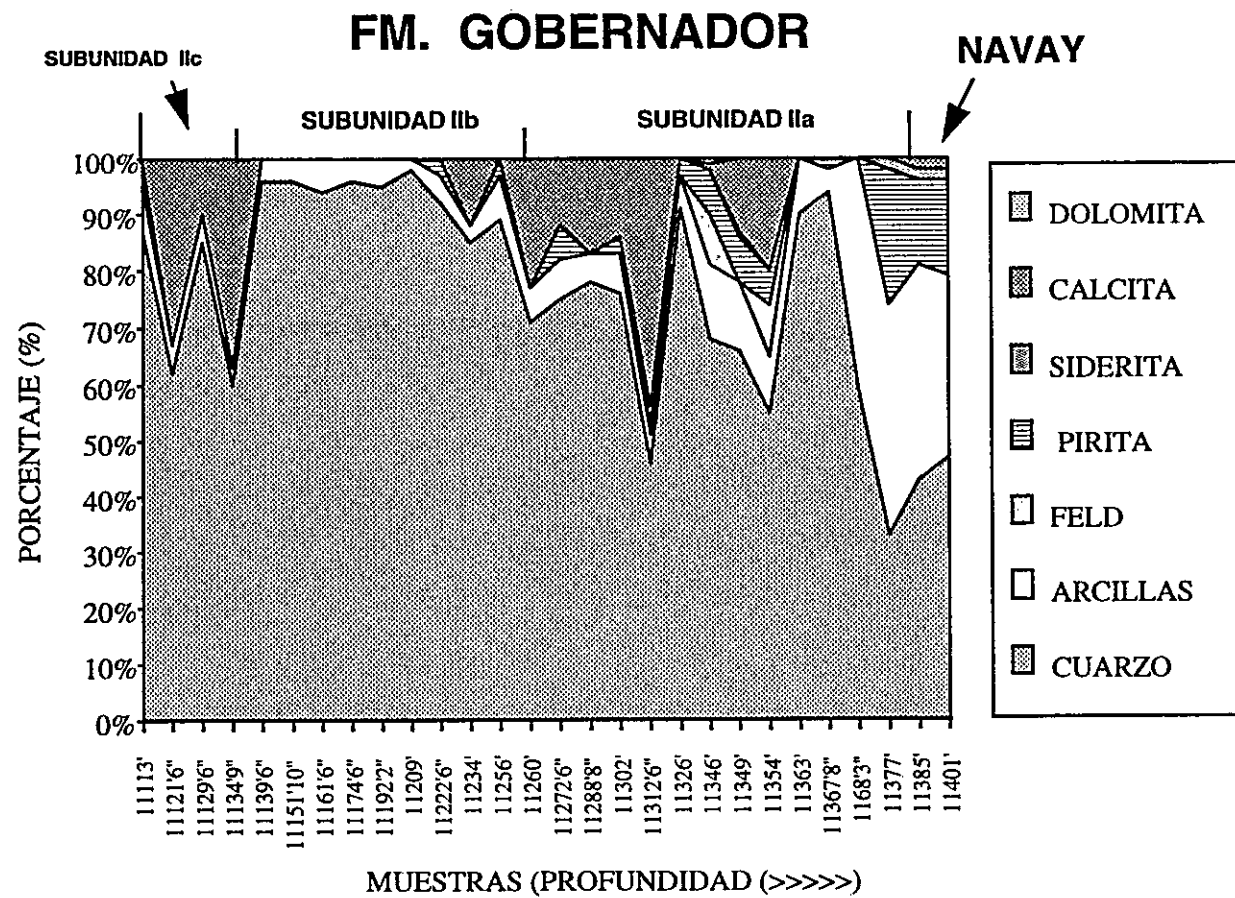


Figura 10. Mineralogía de roca total del intervalo de núcleos analizado.

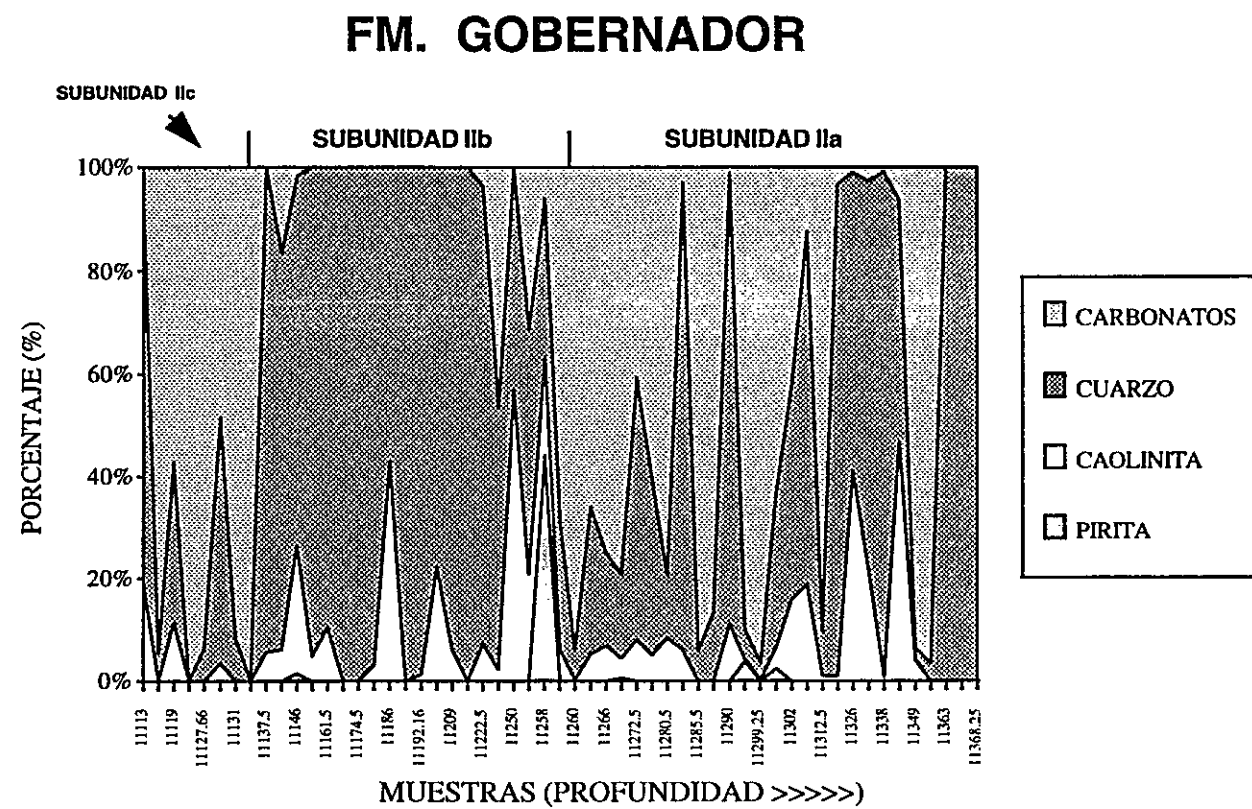


Figura 11. Distribución del porcentaje de cementos obtenidos a partir del estudio petrográfico.

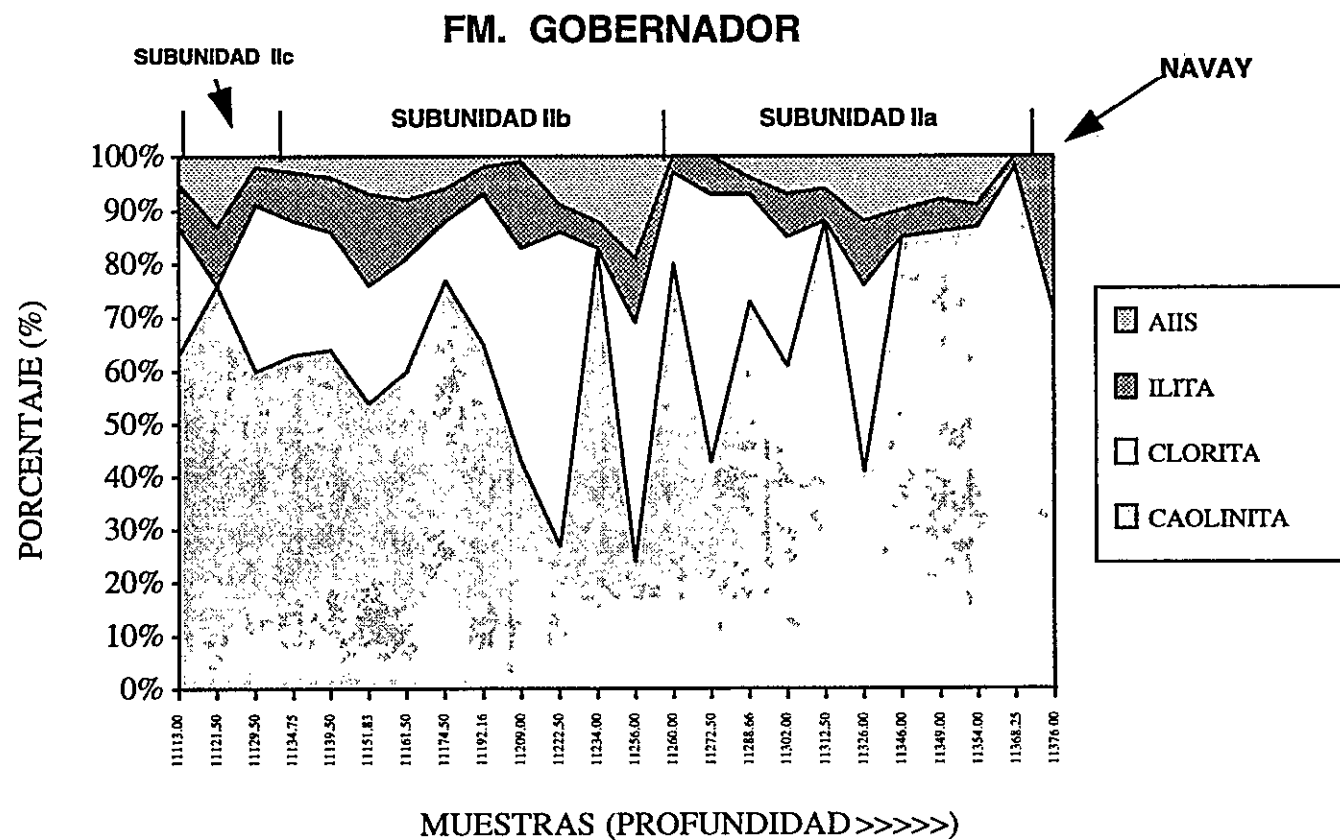


Figura 12. Mineralogía de arcillas del intervalo de núcleos analizado.

FM. GOBERNADOR (UNIDAD II)		AMBIENTES DIAGENETICOS								
CARACTERISTICAS DIAGENETICAS										
	FREATICO	VADOSO	FREATICO II	VADOSO	FREATICO III	MEZCLA	VADOSO	SUBSUELO SOMERO	SUBSUELO PROFUNDO	
MICRITIZACION	>>>>>									
CEMENTACION TEMPRANA CON ESPARITA	>>>>>									
PERFORACION		>>>>>								
"HARDGROUNDS"		>>>>>								
CEMENTACION CON MATRIZ LIMO-ARCILLOSA			>>>>>							
COMIENZO DE ILITIZACION DE LA MATRIZ				>>>>>						
COMPACTACION I				>>>>>						
SOBRECRECIMIENTO DE CUARZO EN CONTINUIDAD OPTICA				>>>>>						
DISOLUCION DE BIOCLASTOS					>>>>>					
CEMENTACION PARCIAL CON ESPARITA DE LOS BIOCLASTOS						>>>>>				
COMPACTACION II (ESTILOLITAS Y FRACTURAS)						>>>>>				
PRECIPITACION DE ESPARITA						>>>>>				
FORMACION DE CAOLINITA AUTIGENICA						>>>>>				
DOLOMITIZACION							>>>>>			
DISOLUCION DE MATRIZ								>>>>>		
ALTERACION DE GLAUCONITAS									>>>>>	
DISOLUCION DE FRAGMENTOS DE CUARZOS METAMORFICOS									>>>>>	
MIGRACION DE HIDROCARBURO								>	>> >>>>>	
PIRITIZACION DE HIDROCARBURO									>>>>>	
PRECIPITACION LOCALIZADA DE ANHIDRITA									>>>>>	
		>>>>>	TIEMPO				>>>>>			

Fig. 13. Secuencia de eventos diagénéticos observados en las muestras de la unidad II.

Fig. 13. Secuencia de eventos diagenéticos observados en las muestras de la unidad II.

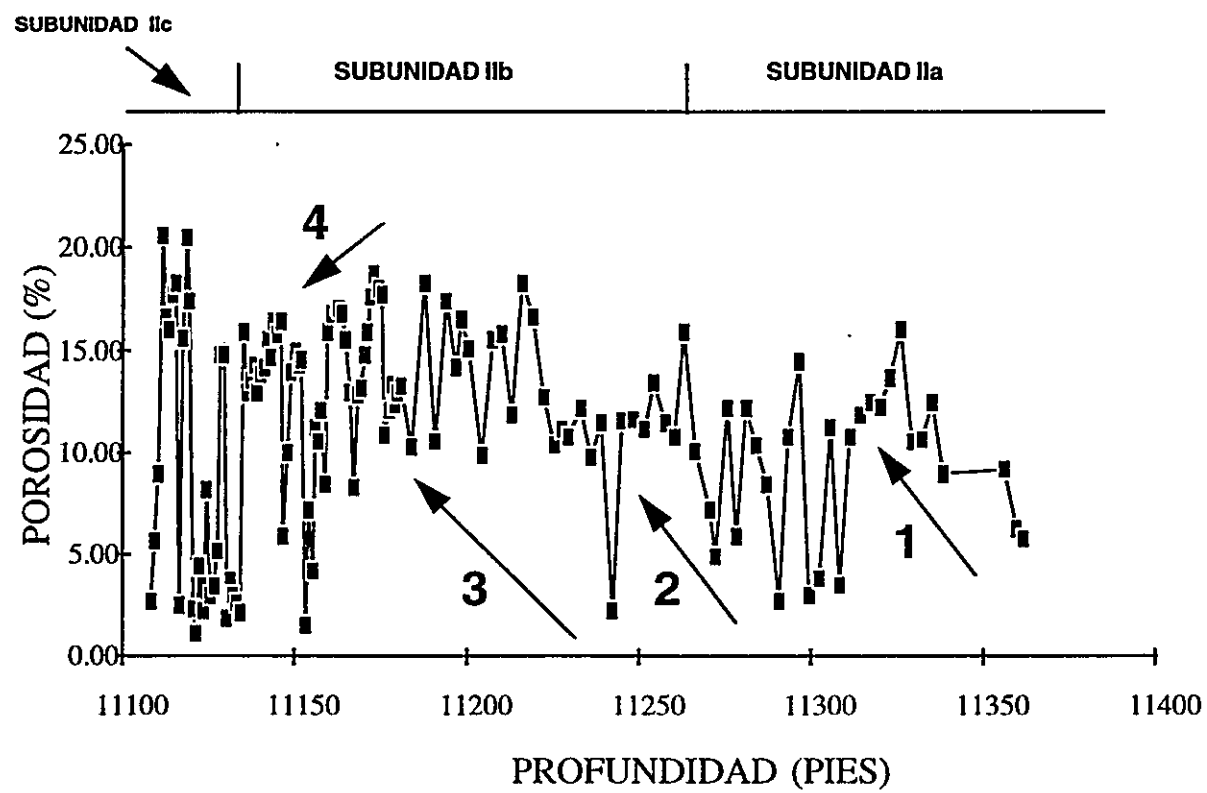


Figura 14. Gráfico de porosidad contra profundidad de la Formación Gobernador (unidad II).

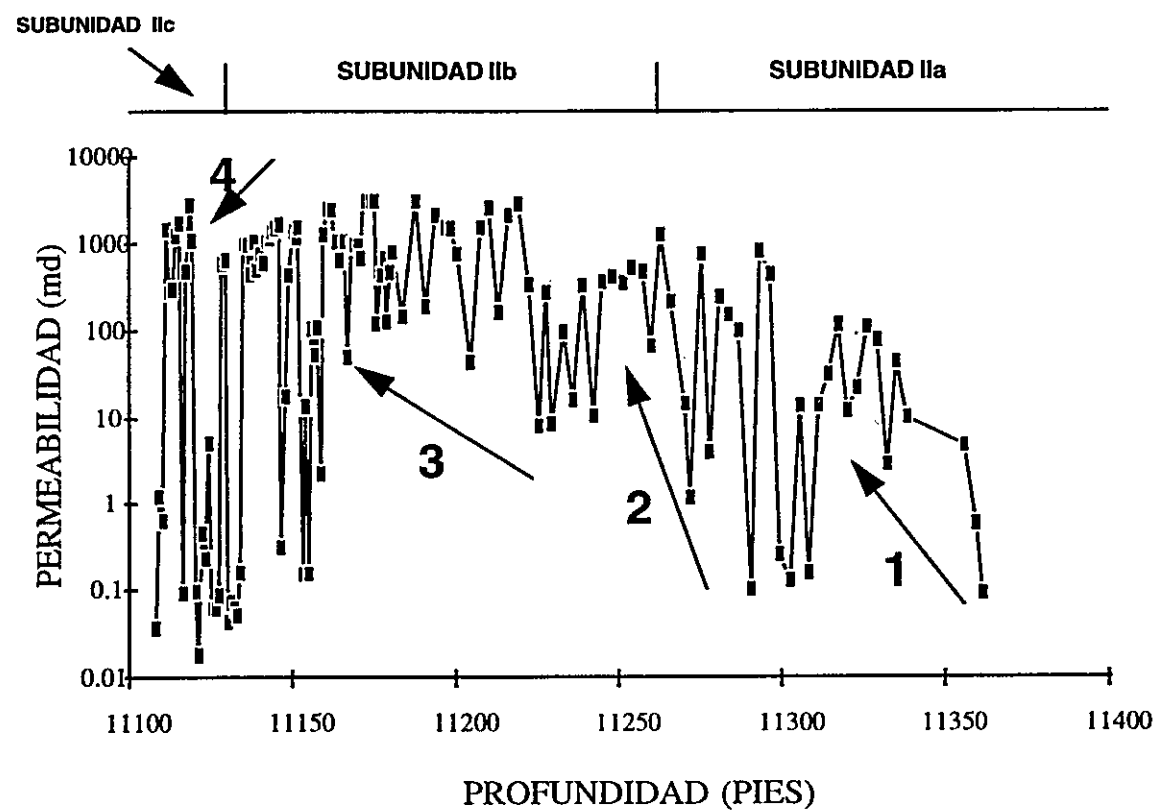


Figura 15. Gráfico de permeabilidad contra profundidad de la Formación Gobernador (unidad II).

The Maraca - basal La Luna Fm. interval: a carbonate play in the Maracaibo Basin

B. Murat¹, P. Muñoz²

¹ *Consultant Geologist, Exploration Maraven s.a., Apartado 829, Caracas 1010A, Venezuela*

² *Senior Geologist, Exploration & Production Maraven s.a., Apartado 829, Caracas 1010A, Venezuela*

Abstract

The focus of this paper is set on the combination of two typical characteristics encountered within carbonate plays in the Maracaibo Basin, which are matrix porosity and fracture porosity, each of them requiring specific analytical approach. Matrix porosities developed within the Maraca Fm. (Albian) on top of the Cogollo Group can be predicted through the application of sequence stratigraphy concepts. Fracture porosity occurring in the overlying basal La Luna limestones has been detected and characterised mainly through orientation techniques, using paleomagnetism.

Introduction

This publication constitutes the support for a core workshop in which core intervals from two Cretaceous wells - ALP-6 and SVS-229- situated in the Maracaibo Basin have been displayed (see location map in Figure 1). One of the wells (ALP-6) is located in the Flanco Perijanero to the West, and the other (SVS-229) in Block IX, central Maracaibo Lake, on the eastern flank of one of the major structural trends, the Icotea fault. The selected stratigraphic intervals belong to the Maraca Formation and the base of the La Luna Formation. They are being presented for the first time as a single prospect.

The Maraca Fm. from which most of the matrix porosity derives is the uppermost formation of the Cogollo Group (Lower to Middle Cretaceous, see Figure 2), and consists of a carbonate-dominated, shallow-water platform unit, with occasional thin sand and shale intervals, that constitutes a major hydrocarbon-bearing play in Western Venezuela. It is Albian in age, and is one of the few carbonate-dominated intervals to possess a certain consistency in its areal and faciological distribution at the scale of the Maracaibo Basin. However, when studied in greater detail within a consistent stratigraphic framework, a more accurate dynamic model can be established, allowing a better understanding of the variations in reservoir quality and hydrocarbon production.

The La Luna Formation, generally characterised by a good fracture density, is the most prolific source rock at the Maracaibo Basin scale, spanning Cenomanian to Campanian in age. In the western part of the Basin, it has been divided into three sub-units¹. The basal sub-unit (30 feet thick), that constitutes the subject of this publication, is predominantly calcareous, commonly fractured, whereas the two remaining sub-units are more shaly. Within the basal sub-unit, meter-scale fining-upward sequences with storm base, microslump levels and reactivation surfaces within an overall varved planktonic sedimentation, suggest deposition over a relatively shallow platform, close to storm wave base. The intermediate and upper sub-units represent deeper platform environments with overall better source rock quality.

The application of sequence stratigraphy principles together with detailed technologies such as paleomagnetism has helped in porosity prediction and fracture orientation reconstruction, as and aid to optimise well path orientation and field development.

Scope of work

The following publication aims to:

- recognise the most important drowning event at the Maracaibo Basin scale, located at the top of the Maraca Fm. towards the Albian-Cenomanian boundary.
- describe the reservoir characteristics of the Maraca Fm. (dominated by matrix porosity) and the basal La Luna Fm. (dominated by fractures), through the observation of two selected cored intervals displaying such features.
- present the application of a detailed fractured study applied to a carbonate prospect, that involves paleomagnetism and fracture orientation, characterisation and timing.
- draw conclusions and recommendations for future field development in mixed prospects such as the one presented in this workshop.

The two selected wells shown in this workshop are:

Well ALP-6, previously described in detail in a multidisciplinary manner (sedimentology, petrophysics, geochemistry, biostratigraphy), through various internal reports from Maraven and international meetings ^{2,3,4}.

Well SVS-229 has also been studied in great detail in a multidisciplinary manner as well as for fracture generation in order to optimise field development ^{5,6,7}. We will mainly refer to this last reference (SPE publication by Franssen *et al.*, 1992) in the chapter dedicated to fractures.

Facies distribution

The Maraca Fm. is limited by the underlying Lisure Fm., a regional carbonate and shale seal, and capped by La Luna Fm., the major source rock in the Maracaibo Basin. It represents a very consistent regional limestone unit at the scale of this basin, with a thickness varying little from 70 to 90'. Predominant lithologies are wackestones and packstones with bivalve, echinoid and bryozoan fragments, together with planktonic foraminifera recognised towards the top of this unit. Sorting is in general very poor, with a typical mixture of very coarse and fine molluscan debris, together with varying amounts of detrital quartz whose importance increases towards the south. Oolitic intervals are best developed towards Lake Maracaibo. Towards the south-east (Andes), this formation is represented by molluscan limestones, rich in *Exogyra sp.* and *Ostrea sp.* In this region, it has previously been named⁸ the La Puya Formation, as the lithological interval found above the Aguardiente sandstones. Towards the south-west (Casigua-Catatumbo), the Maraca Formation is considered as a lateral equivalent of the top of the Aguardiente sandstones, and is therefore not present in its carbonate lithofacies. A generalised facies distribution of this formation appears in Figure 3. Depositional environments are relatively shallow-water stable platform, probably open subtidal with tidal and wave influences increasing towards the south.

Stratigraphic framework

The first systematic sequence analysis within the Lower Cretaceous section in Western Venezuela was established in 1991⁹, and the sequential framework in 1993¹⁰. It has been refined over the last two years, through the detailed study and correlation of more than 15 fields and about 100 wells. A consistent stratigraphic breakdown, using outcrop, core material and log signature has been established, in parallel to the classical lithostratigraphic scheme. The general Cretaceous breakdown is shown in Figure 4, together with lithostratigraphic units.

The Maraca and basal La Luna formations fit within an overall transgressive megasequence culminating in the second La Luna sub-unit (overall basal Turonian flooding), and encompassing several third-order sequences. The Maraca Fm. belongs to a single, highstand deposit with a number of internal parasequence sets whose evolution controls the porosity development.

The basal contact with the underlying Lisure Fm. is relatively abrupt, evidenced by the change in mineralogical content between the glauconitic and sandy underlying carbonates, and the cleaner Maraca limestones. It is marked by a thin shale, representing one of the floodings belonging to the third-order sequence framework proposed for the Maracaibo Basin.

The upper limit is easily marked by a drastic lithological and mineralogical change, from the massive Maraca limestones to the overlying finely laminated La Luna organic shales and carbonates. The actual contact between both formations is irregular, and rich in phosphate minerals. Based on biostratigraphic evidences, I. Truskowski *et al.*¹¹ reports the presence of a 4 My hiatus between these two formations, encompassing most of the Lower Cenomanian.

In this publication, we consider that the La Luna/Maraca contact represents a major drowning event created by rapid termination of the Cogollo platform growth during an overall rise of sea level.

Drowning events (global terms) and La Luna/Maraca drowning unconformity

Drowning unconformities on carbonate platforms have been described mainly by Schlager^{12,13} as being generated by rapid submergence below the euphotic zone, and also by suffocation under prograding siliciclastics. The geological expression of such surfaces typically includes a change in lithology from shallow-water carbonates to deeper water siliciclastics or pelagics of variable composition. The boundary between the drowned platform and the overlying deeper water is commonly a condensed horizon or submarine hardground.

Within the Cogollo platform, three major drowning surfaces have been identified. They can be traced at the scale of the whole Maracaibo Basin, and constitute the base of the Lower Cretaceous chronostratigraphic framework. They are as follows (from top to bottom):

- the top Cogollo represented by the Maraca Fm., drowned under the La Luna organic shales and carbonates.
- the top Apón platform drowned by the progradation of Lisure shales
- the top Tibú carbonate ramp drowned under the anoxic Machiques shales

The La Luna/Maraca contact is a submarine drowning surface, commonly incrustated by phosphate minerals and glauconite-filled burrows that are indicative of marine exposure. No evidence of subaerial exposure or karstification has been found, either

- a) in outcrops. The best example is found in the Cantera La Luna outcrop in Perijá, displaying an overall regular contact between both formations, and only locally irregular because of burrowing and tectonic deformation.
- b) in subsurface material analysis. The best information is provided by isotope analysis from Amoco/Maraven joint study on two wells in 1994¹⁴, where oxygen and carbon isotopes do not show the light-fraction shift characteristic of subaerial exposure.
- c) in seismic sections, where no irregular contact is picked at La Luna/Maraca boundary.

Porosity development

Matrix porosity dominated by moldic and vuggy pores in the Maraca Fm.

Porosity distribution at a regional scale is shown in Figure 5, illustrating better reservoir quality in an area centred around Boscan-Totumos-La Concepción fields. The most common matrix porosity types within the Maraca Formation are moldic and vuggy, the latter being generally derived from the former. Values range from 3 to 12%, with an average of 6%. Pores are generally between 50 and 250 μ , and are associated with local bivalve shell dissolution ("pin-point" porosity). The exposed cores show leached porosity, more obvious in SVS-229 than in ALP-6 (see Plate 1 for the illustration of moldic/vuggy porosity in the Maraca limestones). In the first well, porosity is found in leached carbonate cements and *Ostrea* fragments, and is

commonly associated with stylolitization and bivalve shell breakage. Figure 6 displays the location of the porous interval in this well, together with the log signature. In ALP-6, additionally to moldic porosity, microporosity can also be present.

Figure 7 illustrates the stratigraphic occurrence of two porous intervals at top Maraca (see discussion next subchapter). In both wells, molds can subsequently be filled with one or two generations of calcite, that can lead to complete occlusion of these early-generated pores. Pore connectivity is rather poor (permeabilities are lower than 1 mD), but is generally improved by microfractures, as evidenced by thin section studies. Both ALP-6 and SVS-229 cores presented on display show the presence of such intervals.

Porosity generation is mainly due to two major processes:

- an early selective dissolution of metastable material (aragonite and low-Mg calcite) by undersaturated waters, in association with shifting paleo-water tables that follow sea-level variations, and that are responsible for the generation of moldic porosity.
- a further dissolution in later stages, associated with acid flushing from overlying source-rock diagenesis, and causing the reopening or enlargement of previously opened pores.

Matrix porosity distribution associated with diachronism

Within the most productive areas of the Maracaibo Basin, and as observed in core from ALP-6 and SVS-229, porous intervals are developed within one to two main intervals separated by a thin (5 to 10') tightly cemented limestone interval. Each porous interval averages 15' in thickness (total net pay varies from 10 to 30'). The top of the Maraca Fm. (the last 10 to 15') is also generally tightly cemented, separating the source rock from a direct contact with the reservoir. (see figures 6 and 7).

The stratigraphic position of the poro-units within the Maraca Fm. varies from west to east, as represented in Figure 9. It is related to the progressive back-stepping process of the parasequence sets constitutive of the Maraca Fm, and the progressive shifting of the paleo-water tables associated with this retrogradational process. The paleo-water tables induce moldic porosity (reservoir enhancement) at two specific intervals. The cemented intervals, found at topmost Maraca Fm. and as a thin interval separating the two poro-units, owe their tight condition to the large amount of dissolved carbonate available for cementation after previous meteoric dissolution, and a low permeability that stops this dissolved material from being swept away.

Maximum net porosity is found when two parasequences are overlapping, i.e. towards an area centred around the western Lake Maracaibo and its onshore prolongation, covering Garcia, Urdaneta, Alpuf, Totumos and Boscan fields. Towards the eastern and northern part of Maracaibo Lake, the reservoir quality deteriorates, due to a strong calcite cementation. Towards the south-west, the local siliciclastic intervals corresponding to the sandstone stringers of the southerly Aguardiente Fm. constitute a good target. Towards the south (Tachira, Casigua, Catatumbo), the lateral equivalent in age to the Maraca Fm. is the topmost Aguardiente, almost exclusively glauconitic sandstones with excellent reservoir quality.

Fracture study

Fracture porosity in the La Luna Fm.

The aim of this paper is also to present some results associated with the development of a complex fracture system within the SVS-229 Well, as evidenced by a detailed study performed in 1991 by Vahrenkamp *et al.*⁵. For their study, they carried out the sedimentological and fracture study of wells SVS-225 and SVS-229, identifying the orientation and average dip of the fracture system for both wells, respectively located to the western and eastern flank of the Icotea fault in block IX, centre Maracaibo Lake. We will summarise the major data concerning the SVS-229 Well, because of the presence of a core cut within the basal La Luna and most of the Maraca formations.

Within both wells presented, fracture density is relatively low within the Maraca Fm., whereas the La Luna Fm. presents a higher fracture density, especially within the light coloured, carbonate-rich layers. Some of these layers represent early diagenetic calcite nodules, that can range from 5 cm to more than 2 metres in diameter. Other light layers interbedded with dark-organic rich beds reflect changes in the oxygen content of the bottom waters, probably caused by climatic changes. Fractures could be generated by tectonic stress, and also, by local overpressures due to organic matter diagenesis (see Plate 2 for the illustration of fracture porosity in Well SVS-229).

A systematic fracture study was carried out on the cored interval from Well SVS-229, covering basal La Luna-Maraca formations. Some of these fractures from the La Luna Fm. are exposed in this workshop. Paleomagnetic core orientation was used (Applied Paleomagnetism Inc.) before slabbing and fracture orientation measurements were carried out. Several types of fractures have been observed, that are cemented with mainly black heavy hydrocarbons in the La Luna Fm., and with calcite in the Maraca Fm.

All data related to fractures and presented in this paper has been extracted from Vahrenkamp *et al.*, and Franssen *et al.*^{5,6,7}.

Fractures and stylolite geometry and relative timing

Fractures

Two types of bed-normal fractures have been observed (see comments about fracture and stylolite relationships in Figure 9A):

- bed-normal extension fractures, generally filled up with black heavy hydrocarbons in the La Luna Formation, with occasional evidence of previous calcite-lining cement. Some of these fractures still contain significant porosity, and show evidence of leaching. They display a great variability in shape, from highly irregular or pygmatitic to wedge-shape with irregular walls. They can range from 1 to 30 cm, and their width from 0.5 to 2.5cm.
- bed-normal hybrid/shear fracture, with dip-slip or strike-slip movement, commonly with cement along the fracture planes, with a sense of movement either reverse or normal.
- bed-parallel fractures (dips less than 45°) are less common, and can be either shear, hybrid or extension (the rarest) types. Shear fractures with slickensides are very common in the La Luna Fm. in which they are developed in the bedding plane. Within the Maraca Fm., calcite cements are often developed in the shear or hybrid fractures.

Stylolites

- bed-parallel stylolites are very common in the Maraca Formation, with enveloping surface dips between 0 and 20°. The stylolite surface contains a concentration of insoluble constituents and black heavy hydrocarbon. Bed-normal, wedge-shaped extension fractures are commonly associated with stylolite development.

A full range of stylolites, often forming anastomosing networks, has been observed, from irregular small amplitude (less than 0.05cm) to large amplitude (larger than 1cm).

Bed-normal stylolites are very rare, and characterised by a lesser concentration of insoluble material. Two major phases of fracture/stylolite development have been differentiated:

- a Phase I contains bed-normal extension fractures associated with the bed-parallel stylolites, hybrid/shear fractures and bed-normal planar extension fractures. Also, bed-normal extension fractures occur in the La Luna Formation.
- a Phase II comprising of shear fractures at small angle to the bedding and bed-parallel extension fractures associated with bed-normal stylolites.

Fracture orientation and stress direction in SVS-229

The subvertical extension fractures strike around NW-SE in the Maraca and La Luna formations (Figure 9B). Another set of subvertical extension fractures are striking WNW-ESE, and are only present in the La Luna Fm., with significant remaining porosity (formed during phase I). Subhorizontal extension fractures only observed in the La Luna Fm. are dipping dominantly to the NNE.

The strike distribution reveals a maximum around ESE-WNW, with a sub-maximum around NNE-SSW. A maximum dip has been observed around 90°, with submaxima around 20° and 60°.

The combination of subvertical extension fractures together with reverse shear fractures indicates that, during Phase I, the principal horizontal stress direction is WNW-ESE, whereas during Phase II, it presented a different orientation, roughly W-E.

Relationship between fracture and lithofacies

Most open fractures in the La Luna Formation are located within the most calcareous, less organic-rich intervals (planktonic wackestones to packstones). In the Maraca Formation, lithologies shown in this workshop are mainly packstones, presenting overall a low fracturing potential. At the Cogollo Group scale, there is a broad relationship between open fractures and most low-energy limestones such as mudstones-wackestones. A statistical study of fractures in the ALP-6 Cretaceous section¹⁵, demonstrated the strong correlation between the occurrence of open fractures and lithofacies such as chert (thin silica-rich bands interbedded within the La Luna organic shales), nodules (mainly light-coloured calcareous nodules from the La Luna Fm. as those observed in SVS-229), wackestones and dolomites.

Optimum well path prediction

In order to intersect a maximum density of open fractures, it is necessary to determine their orientation and distribution. A 3-D fracture network was modelled, taking into consideration orientation, density, length and height of fractures (see SPE publication⁶ for further details). The maximum interception rate is reached for a well azimuth of approximately 30° and deviation 60° to the eastern flank of Icotea fault. Figure 10 presents the results of well track simulation through a probabilistic fracture network corresponding to the fracture system observed in SVS-229.

Conclusions

- Within the Maracaibo Basin, matrix and fracture porosity have been found within two distinct, but vertically adjacent intervals. The combination of these two carbonate plays should lead to new strategies and concepts to define and explore the area.
- The application of dynamic models with sequence stratigraphy concepts for the study of carbonate platforms is required in order to predict facies variation and migration, together with porosity trends and types. Examples of the application of sequence analysis are given within the Maraca Formation of Western Venezuela, through the study of two key wells: ALP-6 and SVS-229. The Maraca Formation represents a retrograding platform, prior to its drowning under the La Luna source-rock shales.
- The Maraca Fm. has often been described as a "layer-cake" reservoir. However, through refined studies based on core and log signatures, internal variations of its constitutive parasequences can be recognised. These variations induced changes in reservoir quality that can be predicted at a regional scale.
- Porosity types are mainly matricial in the Maraca Fm., and from fractures within the La Luna Fm. Matrix porosity is dominated by early pores generated by freshwater phreatic processes, and by enhanced dissolution caused by burial acidic flush (organic diagenesis).

- Fractures have been mainly studied and characterised in detail in the SVS-229 Well. The purpose of this publication is to emphasise again the importance of such detailed studies, based on a detailed core description, the use of paleomagnetism for core orientation and the study of fracture and stylolite systems, with their distribution, relative amount, orientation and size together with their relationship with lithologies, in order to:

- * establish a complete reservoir geological model consistent with the regional ones,
- * determine the present-day maximum horizontal stress,
- * assess well tracks for optimum open-fracture interception rates

- The selected stratigraphic intervals (the Maraca Formation and the base of the La Luna Formation) have been for the first time grouped as a single prospect that requires further characterisation and refining.

This type of approach should be part of a systematic characterisation for carbonate field development and exploration such as most Venezuelan carbonate plays dominated by a combination of matrix and fracture porosity. Technologies such as well bore imagery, magnetic resonance and bore hole breakout measurements should be applied in order to further extend our appreciation of pore type and efficiency, fracture orientation and regional and local stress determination.

Acknowledgements

The authors wish to thank Maraven for permission to publish this report. We are also very grateful to Jean-Yves Chatellier for constructive discussions and help in the elaboration of this publication. Finally, we would like to thank all the people involved in the preparation of this document.

References

- 1- Murat, B., 1994. Sedimentología y Análisis Secuencial en los Carbonatos del Cretácico de la Cuenca de Maracaibo. Informe técnico Maraven.
- 2- Murat, B., 1992. Descripción Sedimentológica (1:50) del Núcleo Cretácico del Pozo ALP-6, Flanco Perijanero. Informe técnico Maraven.
- 3- Peralta, J., 1993. Estudio Integrado del Cretácico Inferior y Medio en la Costa Occidental y Sierra de Perijá. Compilación Final. Nota Técnica Maraven.
- 4- Pratt, L., Mompart, L. and Murat, B., 1993. Hydrocarbon Generation Potential of the Cretaceous Section from Well ALP-6, Perijá Region, Venezuela. A.A.P.G./S.V.G. International Congress Abstract, Caracas.
- 5- Vahrenkamp, V.C., Franssen, R. and Muñoz, P., 1991. Deep Cretaceous Fractured Reservoirs, Lake Maracaibo, Venezuela.: Reservoir Characterization and Guidelines for Development. Part II: Integrated Geological Study of the Upper Cretaceous Reservoirs of the Cogollo Group and La Luna Formation of Block IX. JRA Status Report 60.
- 6- Franssen, R., Vahrenkamp, V.C., Van der Graaff, W.J.E. and Muñoz, P., 1992. Optimizing Field Development of Deep Cretaceous Fractured Reservoirs, Lake Maracaibo, Venezuela. SPE 23620.
- 7- Vahrenkamp, V.C., Franssen, R. Van der Graaff, W.J.E. and Muñoz, P., 1991. The correlation of a multi-level porosity system with depositional cyclicity and log signatures- Deep Cretaceous reservoirs, Lake Maracaibo, Venezuela: A.A.P.G. , v.75, p.686-687.
- 8- Renz, O., 1954. Estratigrafía del Cretáceo de Venezuela Occidental: Boletín de Geología, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, v.5, p.3-48.

- 9- **Azpirixaga, I., 1991.** Carbonate depositional styles controlled by siliciclastic influx and relative sea level changes, Lower Cretaceous, central Lake Maracaibo, Venezuela. Unpublished MSc Thesis, University of Texas, 151p.
- 10- **Murat, B. and Azpirixaga, I., 1993.** Application of Sequence Stratigraphy to Reservoir and Hydrocarbon Source Rock Prediction in the Cretaceous Carbonate Platforms of Maracaibo Basin. A.A.P.G./S.V.G. International Congress Abstract.
- 11- **Truskowski, I., Galea, F. and Sliter, W., 1995.** Cenomanian hiatus in Venezuela. Abstract annual meeting GSA, New Orleans.
- 12- **Schlager, W., 1989.** Drowning Unconformities on Carbonate Platforms. In: Controls on Carbonate Platform and Basin Development, SEPM Special Publication N°. 44, p.15-25.
- 13- **Schlager, W., 1981.** The paradox of Drowned Reefs and Carbonate Platforms: Geological Society of America Bulletin, v.92, p. 197-211.
- 14- **Scott, R. and Azpirixaga, I., 1994.** Sequence Stratigraphy. Geoscience Research Bulletin, Amoco.
- 15- **Murat, B., 1992.** Fracturamiento en las Calizas de Perijá. Análisis en los Pozos ALP-6, TOT-3 y Z-26 D-2. Nota técnica Maraven.

List of illustration

- | | |
|------------------|--|
| Plate 1 | Core photographs of Maraca Formation, Well SVS-229 |
| Plate 2 | Core photographs of La Luna Formation, Well SVS-229 |
| Figure 1 | Location map of study area |
| Figure 2 | Lithostratigraphic breakdown of a typical Perijá well |
| Figure 3 | Generalised facies distribution of the Maraca Formation |
| Figure 4 | Chronostratigraphic and lithostratigraphic breakdowns of a typical Perijá well |
| Figure 5 | Porosity trends in the Maraca Formation |
| Figure 6 | Log signature and porosity characteristics in Well SVS-229 (Maraca Formation) |
| Figure 7 | Log signature and porosity characteristics in Well ALP-6 (Maraca Formation) |
| Figure 8 | Retrogradational parasequences at top Maraca Fm. and relationship with porosity development |
| Figure 9 | A) Fracture and stylolite relationship from Well SVS-229 (La Luna Fm.) B) Fracture strike (La Luna Fm.) |
| Figure 10 | Results of well track simulation through a probabilistic fracture network corresponding to the fracture system observed in SVS-229 |

FIGURE 1: LOCATION MAP OF STUDY AREA

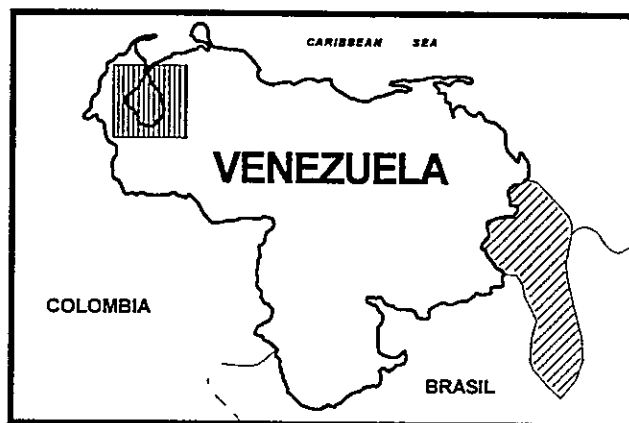
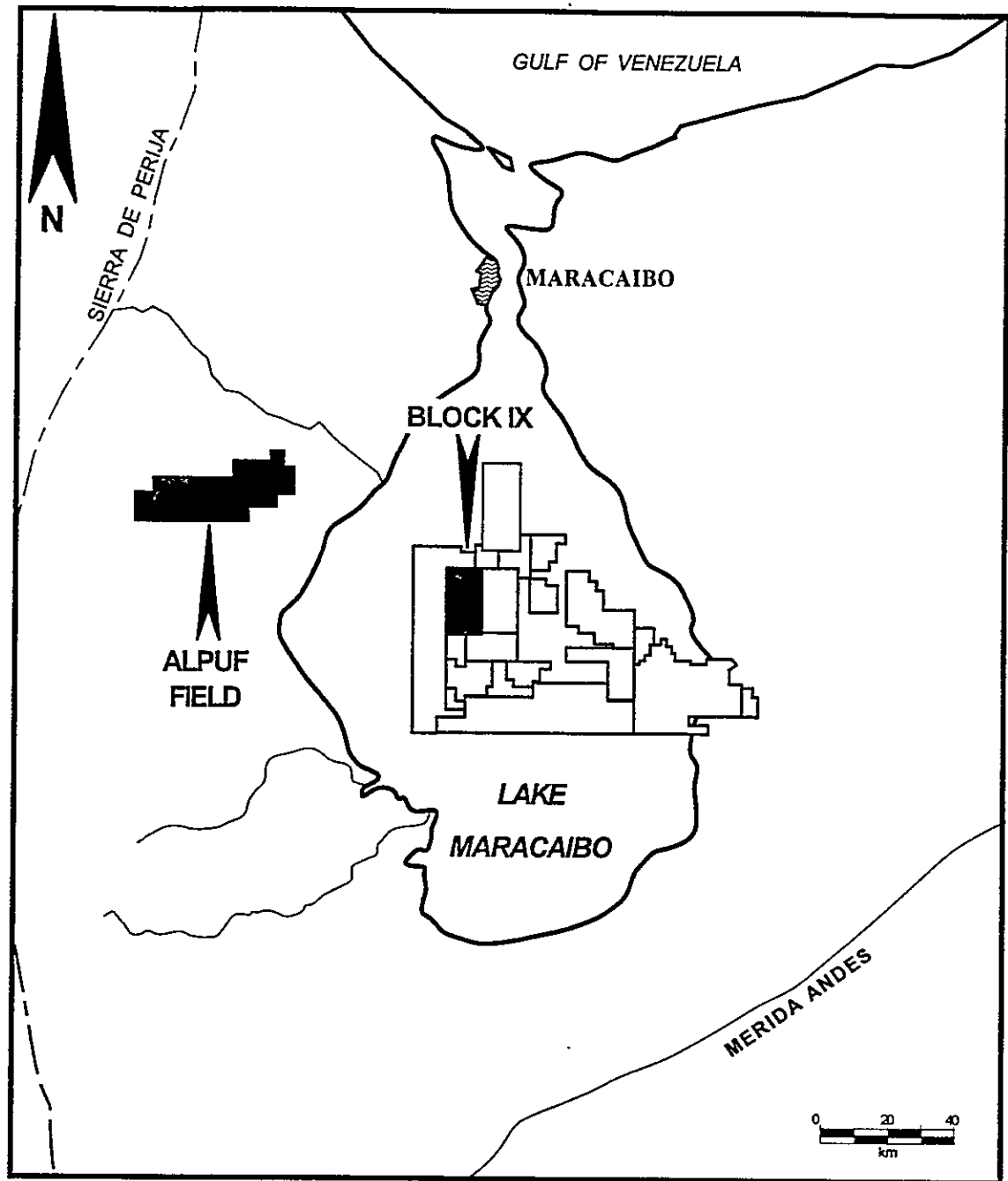
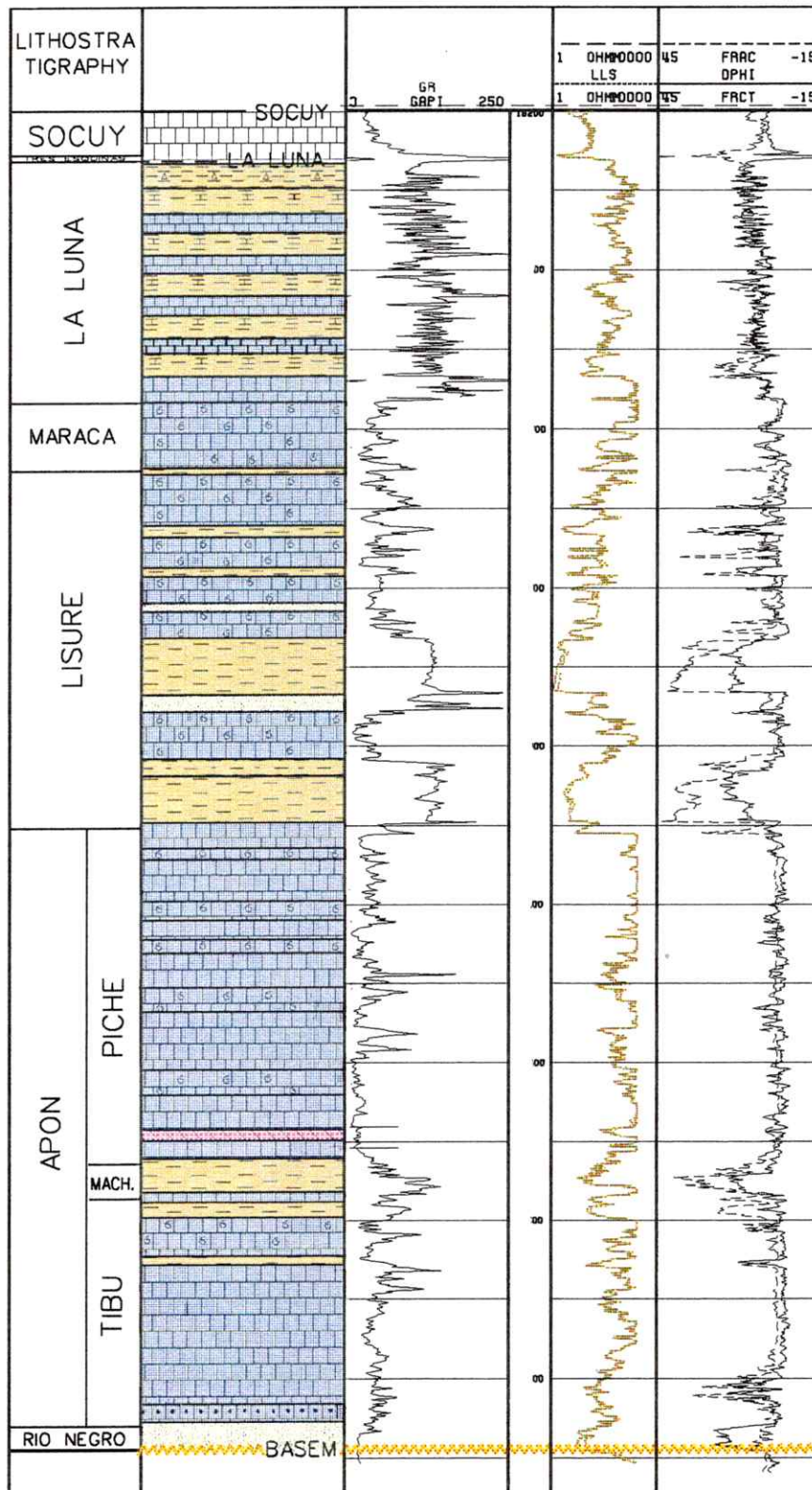


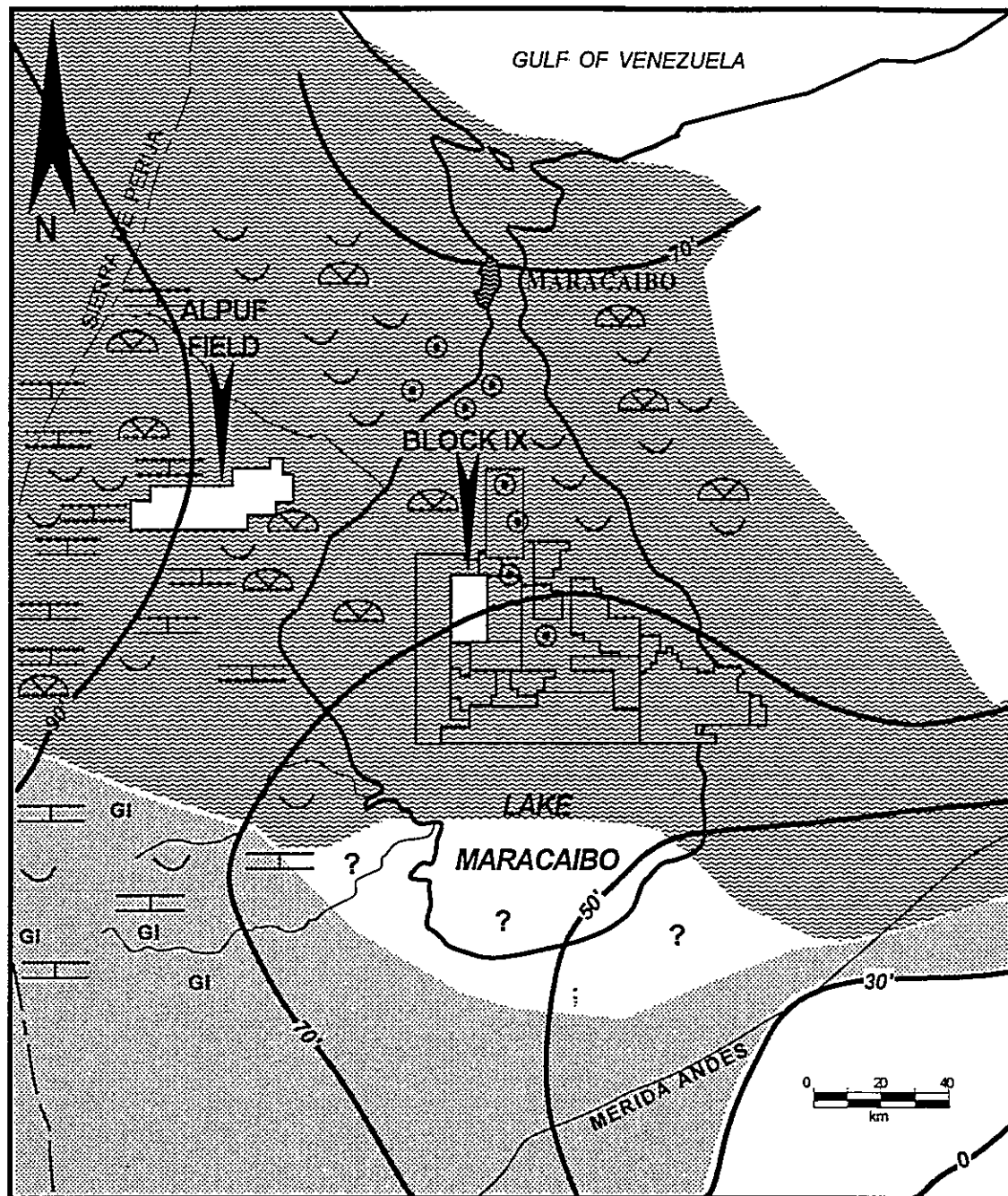
FIGURA 2
LITHOSTRATIGRAPHIC BREAKDOWN
OF A TYPICAL PERIJA WELL



LEGEND

- SANDSTONE
- SHALE
- CALCAREOUS SHALE
- LIMESTONE
- SANDY LIMESTONE
- SILT
- GLAUCONITIC SHALE
- BIOCLASTIC LIMESTONE
- DOLOMITE

**FIGURE 3. GENERALISED FACIES DISTRIBUTION
OF THE MARACA FORMATION**



LEGEND

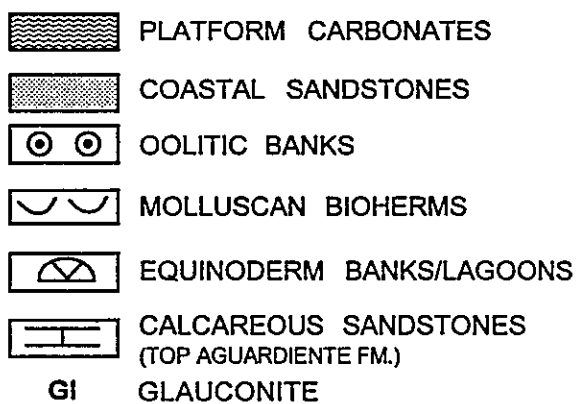


FIGURE 4 CHRONOSTRATIGRAPHIC AND LITHOSTRATIGRAPHIC BREAKDOWNS OF A TYPICAL PERIJA WELL

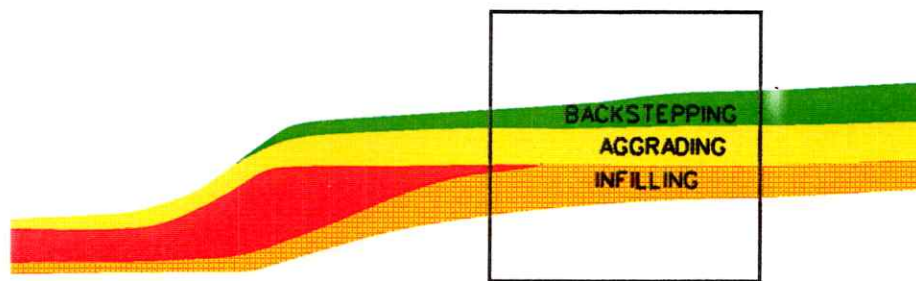
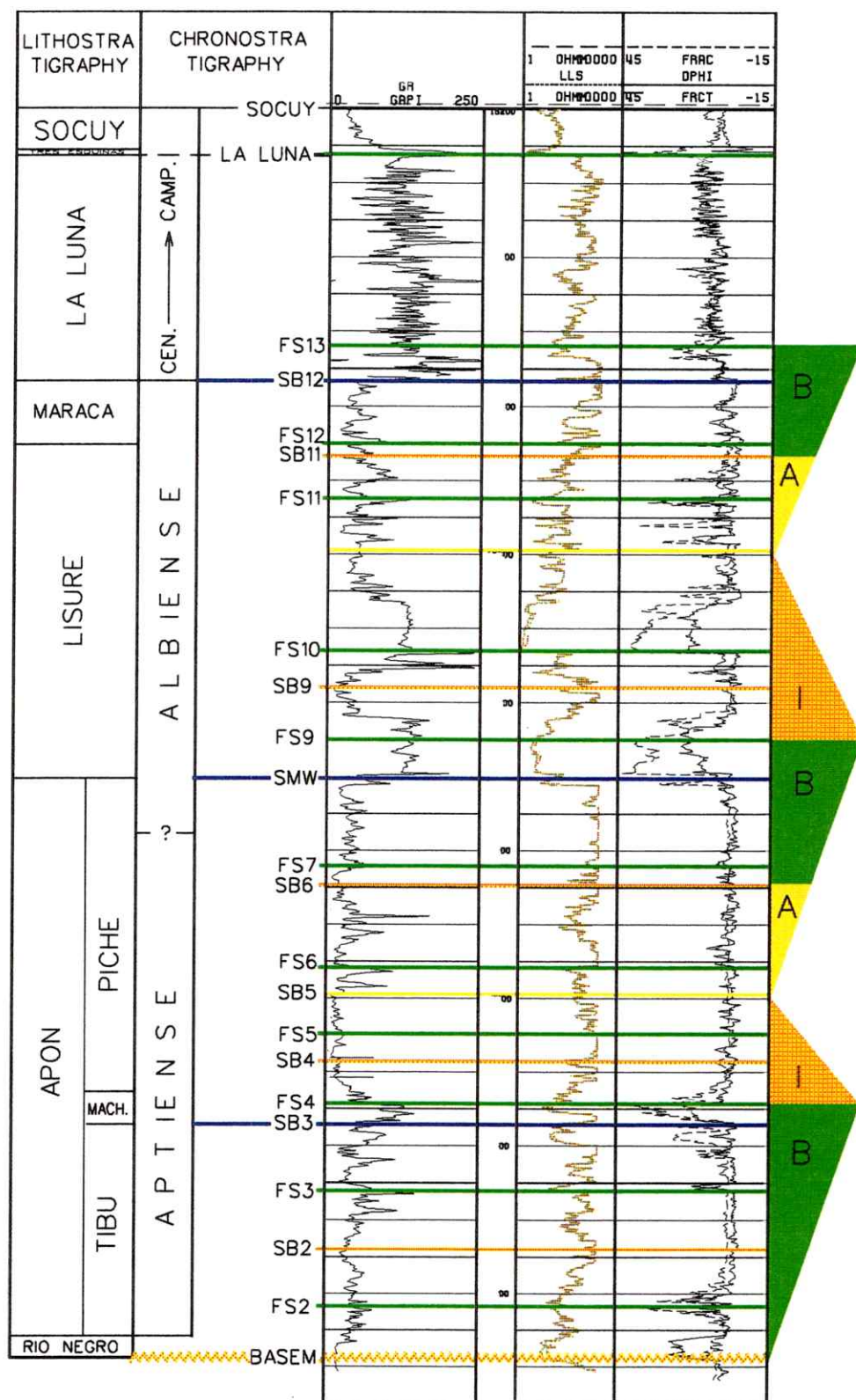
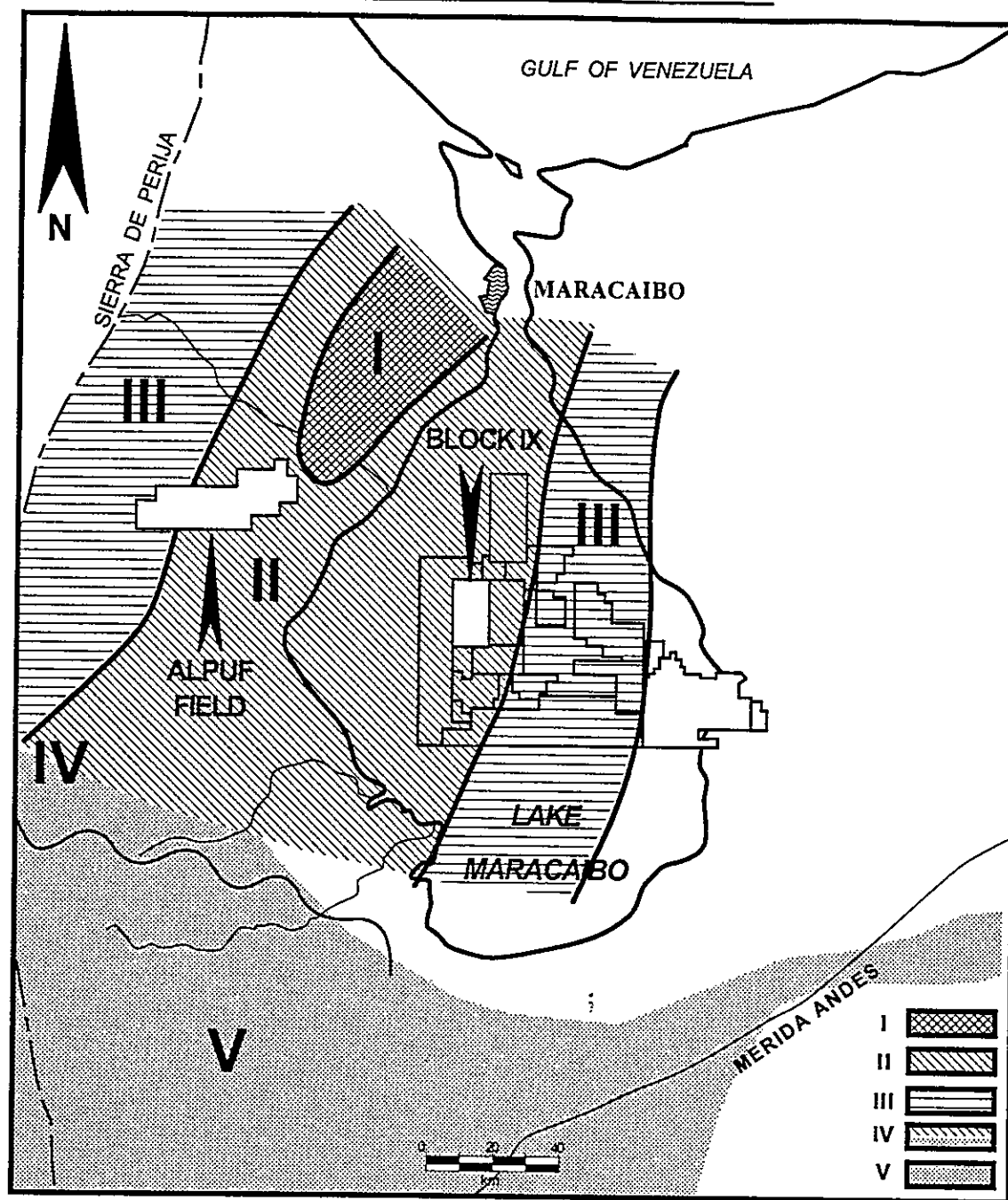


FIGURE 5. POROSITY TRENDS IN THE MARACA FORMATION



- AREA I** GOOD RESERVOIR QUALITY
 $\phi = 5-7\%$, NET 40 TO 50'
- AREA II** MODERATE RESERVOIR QUALITY
 $\phi = 5-7\%$, NET 20 TO 40'
- AREA III** POOR RESERVOIR QUALITY
 $\phi = <4\%$, NET <20'
- AREA IV** MIXED RESERVOIRS
PREDOMINANTLY SILICICLASTICS
 $\phi = 3-9\%$, NET 20'
- AREA V** "AGUARDIENTE" FACIES, SECONDARY
POROSITY IN GLAUCONITIC SANDSTONES
 $\phi = 5-12\%$, NET 20' TO 40'



WELL SVS-229

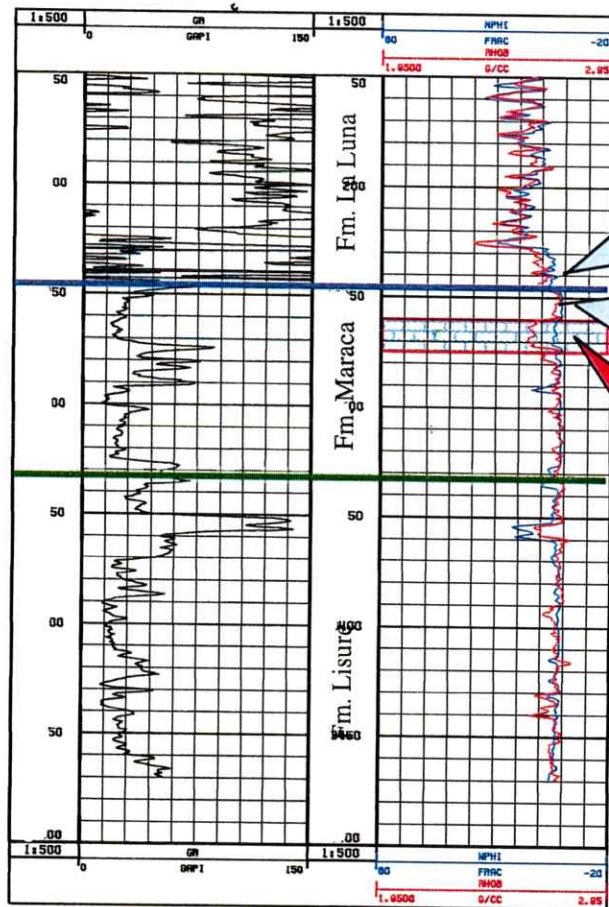
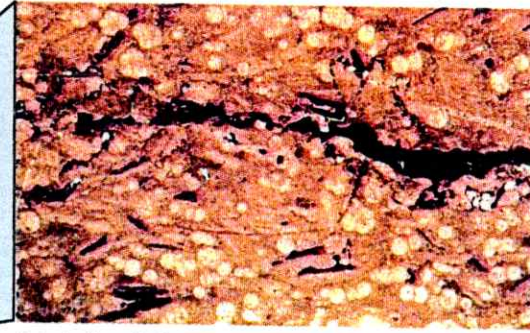


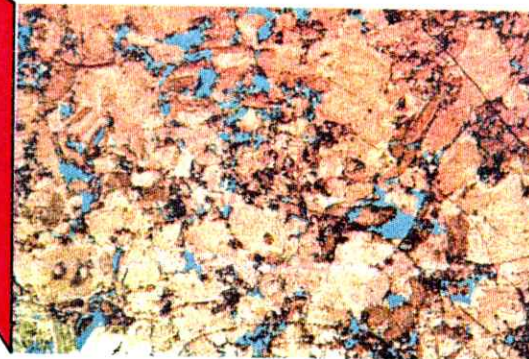
FIGURE 6 LOG SIGNATURE AND POROSITY CHARACTERISTICS IN THE BASAL LA LUNA-MARACA FM.



Pelagic foraminifera limestone with oil-filled fracture

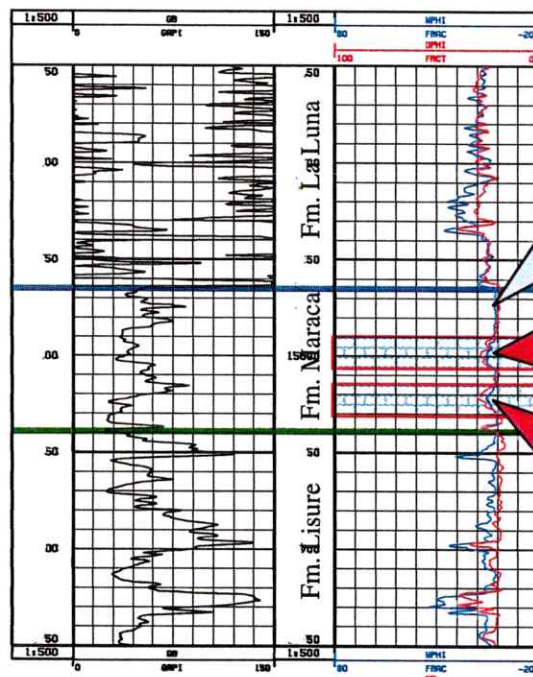


Molluscan packstone, strongly cemented by calcite and stylolitized

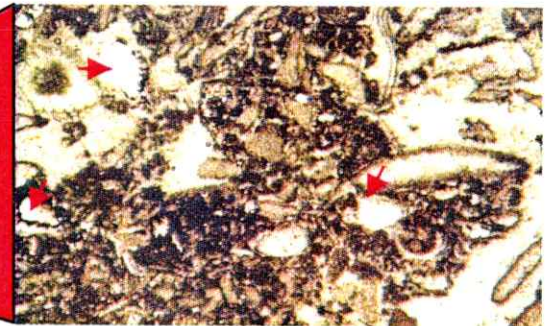


Equinoid-molluscan grainstone with moldic and vuggy porosity (in blue)

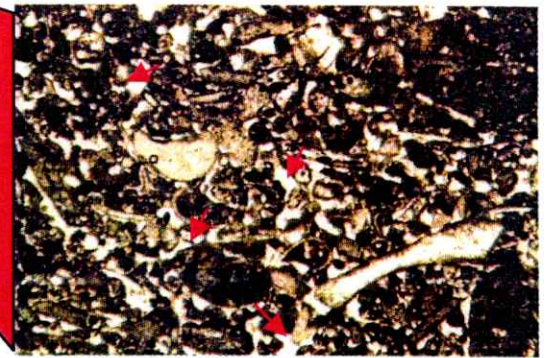
WELL ALP-6



Equinoid-molluscan packstone, tightly cemented by calcite and dolomite



Peloidal-molluscan packstone with moldic porosity (see red arrows)



Peloidal-molluscan packstone with intergranular porosity (see red arrows)

FIGURE 7 LOG SIGNATURE AND POROSITY CHARACTERISTICS IN THE BASAL LA LUNA-MARACA FM.

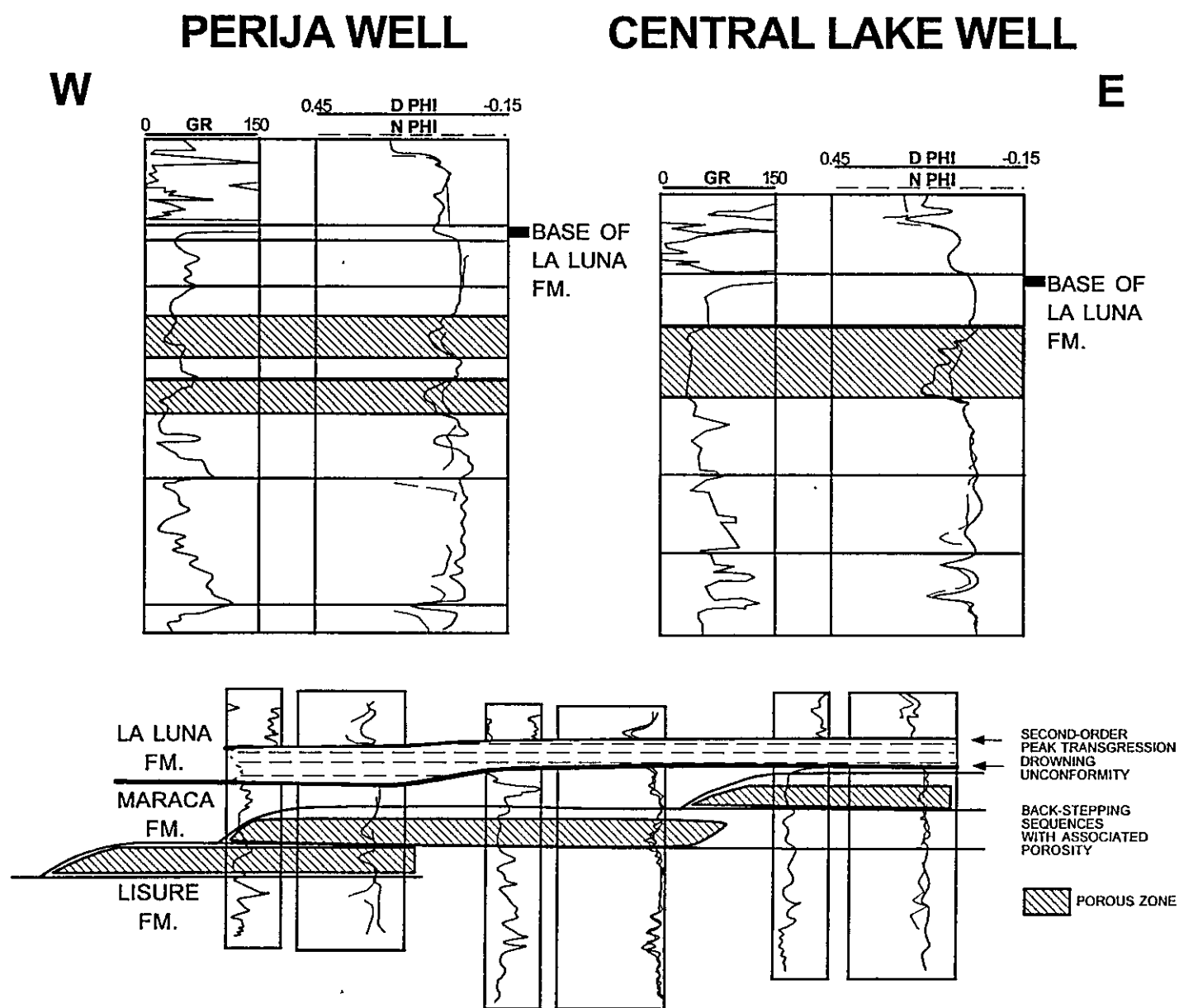


FIGURE 8: RETROGRADATIONAL PARASEQUENCES AT TOP MARACA FM. AND RELATIONSHIP WITH POROSITY DEVELOPMENT

Phase Ia- bed-parallel stylolites and associated bed-normal wedge-shape fractures

Phase Ib- bed-normal hybrid/shear and extension fractures (calcite cemented)

Phase Ic- bed-normal extension fractures filled with black heavy hydrocarbons and local porosity in the fracture plane

Phase IIa- bed-parallel shear and extension fractures and bed-normal stylolites.

Phase I-II- bed-normal strike-slip shear fractures

FIGURE 9A) FRACTURE AND STYLOLITE OVERPRINTING RELATIONSHIPS IN CORES FROM WELL SVS-229 (LA LUNA FM.)

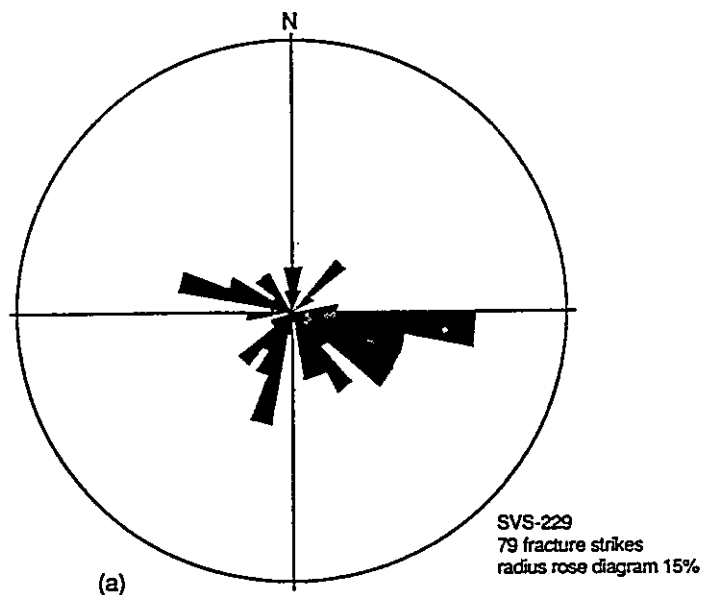
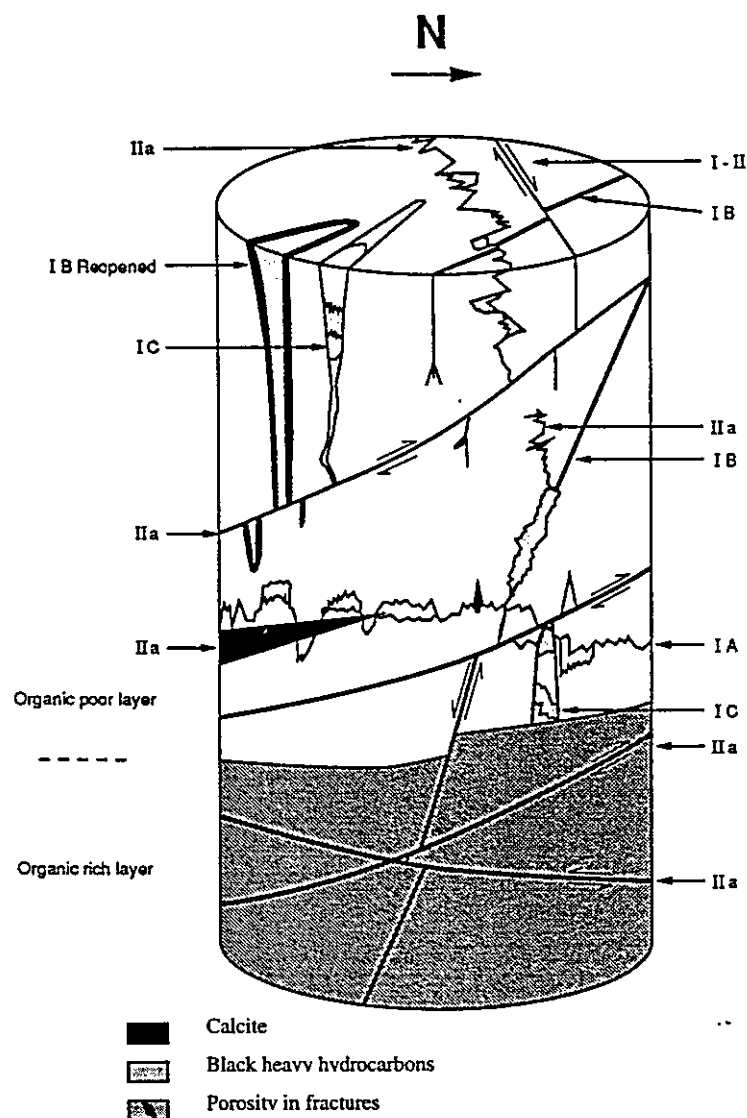


FIGURE 9 B) ROSE DIAGRAM WITH FRACTURE STRIKES

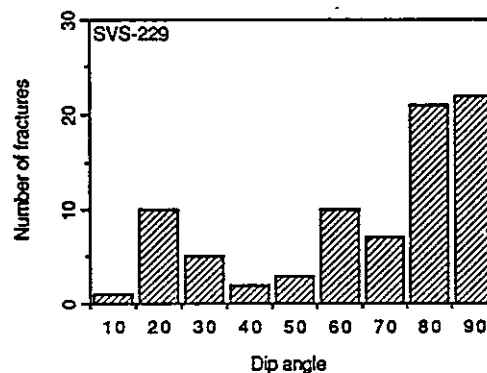


FIGURE 9C) HISTOGRAM SHOWING DIP DISTRIBUTION OF FRACTURES

NOTA: All figures are from Vahrenkamp *et al.*, 1991 & Franssen *et al.*, 1992

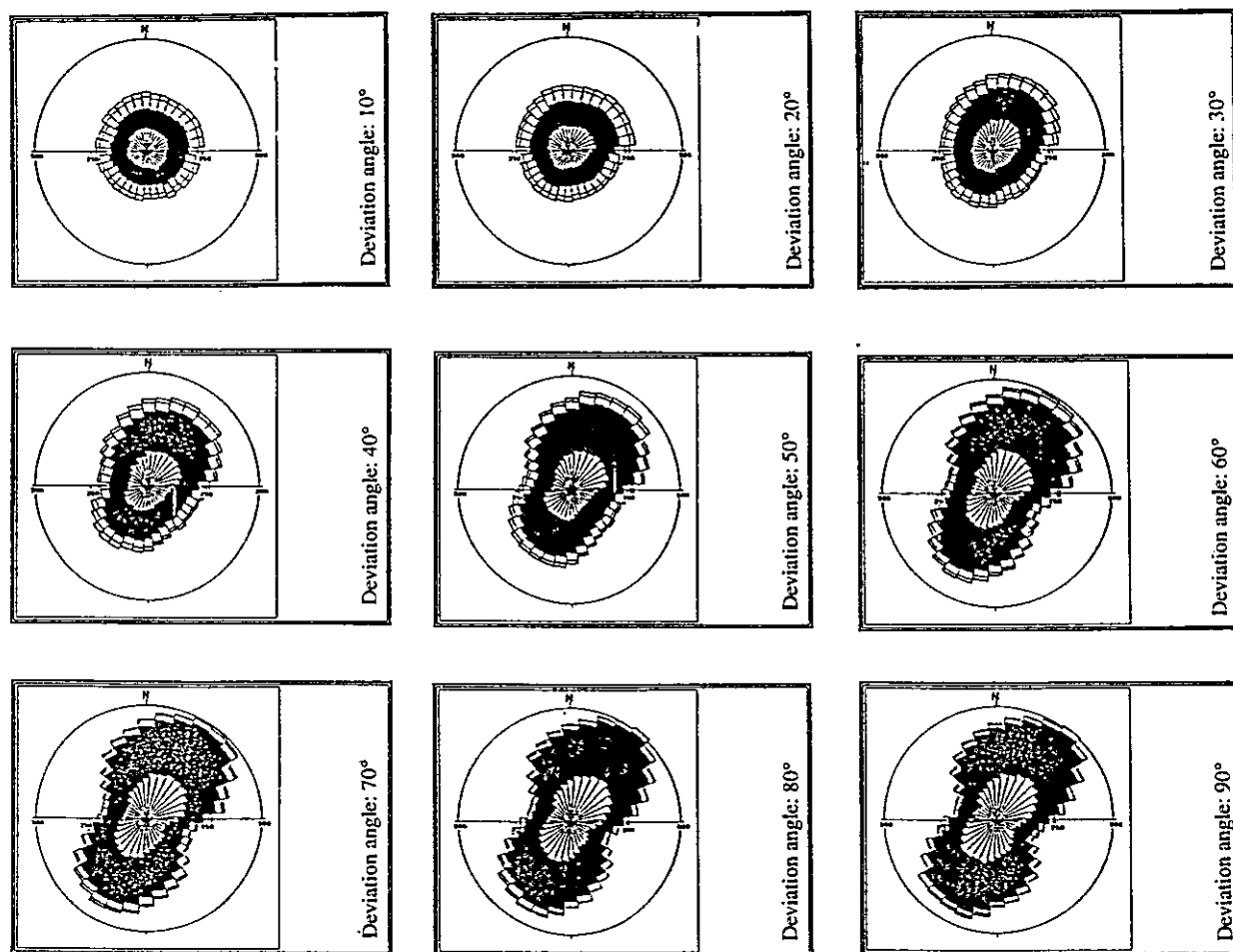


FIGURE 10 A) RESULTS OF WELL TRACK SIMULATION THROUGH A PROBABILISTIC FRACTURE NETWORK CORRESPONDING TO THE FRACTURE SYSTEM OBSERVED IN SVS-229

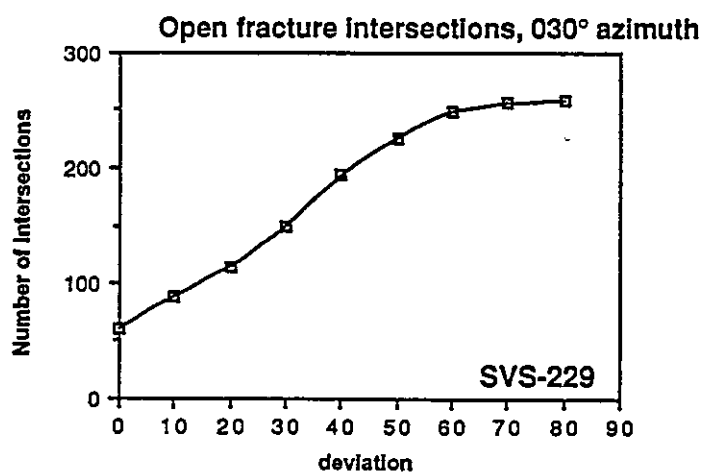


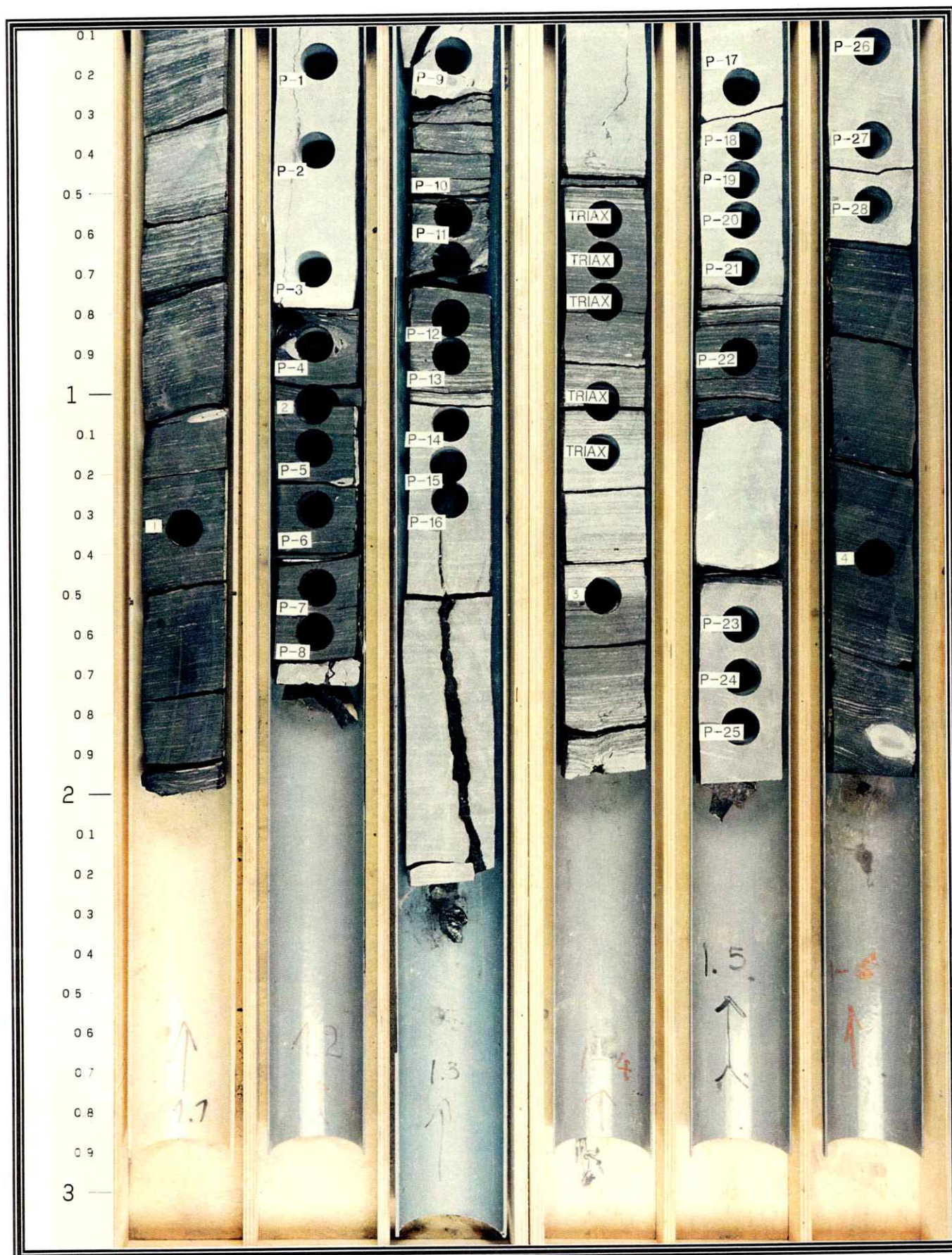
FIGURE 10 B) OPEN FRACTURES INTERCEPTED BY A DEVIATED WELL WITH AN AZIMUTH OF 30° AS A FUNCTION OF DEVIATION ANGLE THROUGH A FRACTURE NETWORK AS IN SVS-229

NOTA: Both figures are from Vahrenkamp *et al.*, 1991 & Franssen *et al.*, 1992

PLATE 1 SELECTED CORE PHOTOGRAPHS OF MARACA FM., WELL SVS-229



PLATE 2 SELECTED CORE PHOTOGRAPHS OF LA LUNA FM., WELL SVS-229



Los icnofósiles como una herramienta para la interpretación ambiental y su control sobre la calidad de las rocas yacimiento en las formaciones Pauji y Misoa, Campo Barúa y Motatán, Estados Zulia y Trujillo, Venezuela

Delgado, M.; Kabbabe, T.; Sampson, E. y Chacartegui, F.

MARAVEN S.A., Apdo 829, Caracas 1010^a, Venezuela

RESUMEN.

Las huellas fósiles reconocidas en núcleos correspondientes a las "arenas basales" de la Formación Paují y arenas "B" de la Formación Misoa, ambas de edad Eoceno Medio (Lutetiense), en los Campos Barúa y Motatán (Zulia Suroriental), son diversas y están bien preservadas, con representantes de diecisiete (17) *Icnogéneros*: *Arenicolites*, *Asterosoma*, *Bergaueria*, *Chondrites*, *Conichnus*, *Diplocraterion*, *Helminthopsis*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Rhizocorallium*, *Rosselia*, *Skolithos*, *Subphylochora*, *Teichichnus*, *Terebellina* y *Thalassinoides*.

Las asociaciones de estas huellas fósiles o *Icnofósiles* pueden interpretarse como correspondientes a las *Icnofacies Skolithos* y *Cruziana*. Estas *Icnofacies* han sido interpretadas como características de los depósitos de plano costero a costafuera (zona nerítica), correspondiendo la *Icnofacies Skolithos* a los subambientes sedimentarios más proximales (playa baja, anteplaya superior y media y parte superior de la anteplaya inferior), mientras que la *Icnofacies Cruziana* corresponde a los subambientes sedimentarios más distales (parte inferior de la anteplaya inferior y costafuera). La columna sedimentaria representada en estos núcleos corresponde a depósitos proximocosteros de isla de barrera y/o barras litorales subacuáticas, en una costa dominada por la energía de las olas y tormentas.

La *Icnofacies Cruziana* está asociada a los depósitos de grano fino de las áreas entre barras litorales, margen de barras litorales y marino costafuera; mientras que la *Icnofacies Skolithos* se asocia más comúnmente a los depósitos de grano más grueso ubicadas en las porciones centrales de las barras litorales, canales de marea, anteplaya y playa.

1. INTRODUCCION

1.1. - Generalidades.

La *Ichnología* es una rama de la geología que estudia e interpreta las huellas fósiles -denominadas *Icnofósiles*- creadas por la actividad biológica de los organismos (PEMBERTON, G., 1992). En los campos de la sedimentología, paleontología y estratigrafía, la icnología es una herramienta de ayuda en la interpretación de ambientes sedimentarios, su evolución y la paleoecología de los mismos (op. cit., 1992).

Según PEMBERTON (1992) la importancia de la icnología para la estratigrafía, paleontología y sedimentología se deriva de las siguientes características de las trazas fósiles: (1) rango temporal largo, aunque una desventaja en bioestratigrafía de alta resolución, esto facilita las comparaciones paleoecológicas de rocas de diferentes edades; (2) rango de facies estrecho, refleja respuestas similares por organismos constructores de trazas a condiciones determinadas de parámetros paleoecológicos; (3) no existe desplazamiento secundario, las estructuras sedimentarias biogénicas, donde se preservan intactas, están estrechamente relacionadas al ambiente en el que ellas fueron formadas; (4) ocurrencia en rocas no fosilíferas, las trazas fósiles no son afectadas significativamente por los diversos procesos diagenéticos que normalmente destruyen las conchas y caparazones, especialmente en los sedimentos siliciclásticos; y (5) creación por biota de cuerpos blandos no preservables, los cuales en muchos ambientes representan la mayoría de la biomasa.

Tales características son muy útiles en los análisis de facies, incluyendo reconstrucción de factores paleoecológicos individuales, dinámica sedimentaria y la documentación de cambios de facies temporales locales y regionales.

Las agrupaciones de icnofósiles considerando variedad, abundancia y asociación de los mismos se denominan *Icnofacies*. El concepto, desarrollado por Adolph Seilacher entre 1959 y 1969, estaba basado originalmente en el hecho de que muchos de los parámetros que controlan la distribución de los constructores de trazas fósiles cambian progresivamente con el incremento de la profundidad del agua. Las icnofacies reflejan las variaciones en la biota causadas por cambios en los factores ambientales tales como: profundidad del agua, consistencia del sustrato, aporte de alimentos, energía hidrodinámica, salinidad del agua, turbidez del agua, tasa de sedimentación, temperatura y nivel de oxígeno, entre otros (op. Cit., 1992).

Se han reconocido nueve icnofacies, cada una de ellas denominada por un icnogénero representativo: *Scoyenia* (única icnofacies no-marina), *Trypanites*, *Teredolites*, *Glossifungites*, *Psylonichnus*, *Skolythos*, *Cruziana*, *Zoophycos* y *Nereites* (Figura 1) (op. Cit., 1992).

Como ejemplos de la aplicación de la Ichnología en interpretaciones paleoambientales y en el reconocimiento de límites estratales claves, tenemos los estudios realizados por diferentes autores en las formaciones cretácicas siliciclásticas de la cuenca Occidental del Canadá, los cuales han sido recopilados por PEMBERTON, G. (1992). En estos estudios, los análisis de Icnofacies resultaron de gran utilidad en las interpretaciones paleoambientales y en el reconocimiento de superficies de transgresión ("ravinement surfaces") que posteriormente fueron utilizadas en el análisis estratigráfico. Así mismo, DELGADO *et al.* (1995), BENITEZ *et al.* (1996) y ESCANDON Y MORENO (1997, en progreso) también utilizaron con éxito el análisis de icnofacies para la identificación de los

subambientes sedimentarios marinos (playa baja a costafuera) y superficies de transgresión ("ravinement surfaces") en las formaciones Misoa y Paují en los Campos Barúa y Motatán.

1.2. - Objetivos.

Con la finalidad de evaluar la utilidad de los icnofósiles en la interpretación de los ambientes sedimentarios, se identificaron e interpretaron los icnofósiles e icnofacies presentes en los núcleos de los pozos MOT-2/MOT-4/MOT-5/MOT-7/MOT-6/MOT-37/MOT-47 (Campo Motatán) y MGB-5/MGB-26 (Campo Barúa), los cuales corresponden estratigráficamente a las formaciones Paují ("arenas basales") y Misoa (arenas "B" superior) del Eoceno (Figuras 2 y 3).

1.3. - Estratigrafía.

La secuencia estratigráfica estudiada es de edad Eoceno Medio, caracterizada por areniscas de grano muy fino a medio, de color gris o marrón, intercaladas en proporciones variables con lutitas gris oscuro a negro (Figura 3). Las areniscas son de aspecto masivo o con laminación paralela o cruzada (planar o "hummocky"). La bioturbación es común en toda la sección y en grado variable. Las facies sedimentarias se disponen en patrones granocrecientes, formando parasecuencias de engrosamiento hacia arriba ("upward-coarsening parasequence"), las cuales comienzan con lutitas que pasan gradualmente a heterolitas, areniscas finas y medias hacia el tope. En contacto abrupto sobre estas areniscas aparecen lutitas que inician una nueva parasecuencia y representan un episodio de inundación ("flooding surface"). Este contacto constituye una superficie de erosión subacuática ("ravinement surface"), a la cual se asocian depósitos caóticos de pocas pulgadas de espesor, donde son comunes nódulos y clastos de siderita con restos de conchas (moluscos), microfósiles (foraminíferos), glauconita y granos de cuarzo tamaño gránulo.

2. - DESCRIPCION DE ICNOGENEROS.

Las asociaciones de huellas fósiles en los núcleos analizados son diversas y están bien preservadas, con representantes de diecisiete (17) icnogéneros: *Arenicolites*, *Asterosoma*, *Bergaueria*, *Chondrites*, *Conichnus*, *Diplocraterion*, *Helminthopsis*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Rhizocorallium*, *Rosselia*, *Skolithos*, *Subphylochora*, *Teichichnus*, *Terebellina* y *Thalassinoides*.

Cada icnogénero puede ser clasificado de acuerdo al tipo de actividad que lo produce, forma de alimentación del organismo, y al posible organismo originador.

A continuación se describe de manera general los diferentes icnogéneros presentes en los núcleos estudiados, tomando como base los estudios de PEMBERTON, G. et al. (1995) realizados en el Cretácico del occidente de E.U.A.

ARENICOLITES.

Tubo vertical simple en forma de U, sin espritas ("*Spreiten*") entre los limbos. Generalmente, las paredes exteriores son suaves y sin ornamentación. En núcleos, se reconoce basándose en rasgos que sugieren la forma de U, de J o la parte basal de la U

invertida. En planta, se presenta como aberturas en pareja que pueden ser idénticas o una ser mucho más grande que la otra (Figura 4).

Se cree que es la horadación de domicilio de un anélido o del poliqueto Arenícola. También se ha postulado como origen para esta estructura la alimentación a partir del material en suspensión o la alimentación a partir de depósitos de superficie. Está generalmente asociada con sustratos arenosos en anteplayas de baja energía o ambientes de llanura de marea. Es un elemento común de la icnofacies *Skolithos*.

ASTEROSOMA.

Sistema de horadaciones en forma de estrella que consiste en brazos radiales bulbosos (15-50 brazos) que se reúnen hacia un centro elevado. Los brazos tienden a ser, en sección transversal, circulares a irregulares y consisten de láminas concéntricas muy delgadas de limo y arcilla empacadas alrededor de un núcleo central arenoso. La parte externa es generalmente suave, pero puede mostrar estrías longitudinales o pliegues (Figura 5).

Ha sido interpretado como la horadación por alimentación de un organismo tipo gusano. Está generalmente asociada con condiciones totalmente marinas. Es un elemento común en la icnofacies *Cruziana* y puede encontrarse junto con *Rosselia* en el tope de la anteplaya inferior.

CHONDRITES.

Es un sistema de horadaciones complejo que consiste de una ramificación regular de túneles de diámetro uniforme. Los túneles jamás se cruzan entre sí. Típicamente, las ramificaciones son en forma de ramas laterales en ángulo de 30-40 grados con el túnel principal, más que en forma de Y. Los Chondrites se presentan generalmente como un arreglo de pequeños puntos elípticos, donde el corte del núcleo trunca las numerosas ramificaciones. En algunos casos, las secciones longitudinales a través de túneles individuales pueden mostrar las ramificaciones (Figura 6).

Se sugiere que este icnofósil representa túneles producidos por alimentación a partir de depósitos de sipuncúlidos. No obstante, algunas formas de Chondrites penetran tan profundamente en el sustrato, que solo podrían haber sido hechas por un animal vermiforme, como algunos poliquetos del reciente. Los Chondrites son un elemento común de las icnofacies *Cruziana* y *Zoophycos*, típico de depósitos de costafuera y se considera que el organismo está bien adaptado a condiciones de baja oxigenación.

CONICHNUS.

Estructuras subcilíndricas cónicas orientadas perpendicularmente a la estratificación; la base puede ser redondeada o mostrar una protuberancia distintiva tipo campana. Los rellenos pueden mostrar una estructura interna tipo campana o tipo lámina "chevrón", pero no muestra simetría radial. El forro, cuando está presente, es muy delgado y constituye una discontinuidad entre el relleno y la roca matriz adyacente. Pueden ser muy grandes, hasta de 29 cm de diámetro (Figura 7).

Ha sido interpretada como la estructura de domicilio de una anémona u organismo similar. Está comúnmente asociada a sustratos arenosos de alta energía y en un perfil típico de playa-costafuera se encuentra en la parte superior de la anteplaya inferior a la anteplaya media.

DIPLOCRATERION.

Horadación vertical en forma de U con espritas ("*Spreiten*"), que pueden ser retrusivas, protrusivas o combinación de ambas. La abertura de los tubos puede ser cilíndrica o en forma de embudo; los limbos de la U pueden ser paralelos o divergentes. En secciones longitudinales, pareciera estar verticalmente apilado. El diplocraterion puede aparecer en núcleos como una perforación en forma de campana en el tope de las capas; las parejas de aberturas están unidas por una banda horizontal de sedimento retrabajado, correspondiendo la misma a las espritas (Figura 8).

Basándose en análisis de aspectos morfológicos, se interpreta esta estructura como la horadación de un organismo que se alimenta del lodo en suspensión; probablemente originada por poliquetos, algún organismo tipo gusano o un crustáceo. Es un elemento común en la porción distal de la icnofacies *Skolithos*, en la anteplaya media, así como en depósitos estuarinos de canal y depósitos arenosos de llanura de marea.

HELMINTHOPSIS.

Horadaciones de paredes suaves, irregularmente meandriformes; las mismas nunca se ramifican, interpenetran o cortan unas a otras. En sección transversal, las horadaciones son elípticas o subcirculares y generalmente horizontales. Por lo general, el relleno de la horadación es diferente al del material circundante; las horadaciones individuales son muy pequeñas (1-3 mm). En núcleos, Helminthopsis comúnmente aparece como delgados puntos negros (sección transversal) o como líneas oscuras (sección longitudinal).

Helminthopsis ha sido interpretado como una estructura producida por el pastoreo sistemático de un poliqueto (u otro organismo tipo gusano). Es un elemento común en la icnofacies *Cruziana* distal e icnofacies *Zoophycos* proximal en una plataforma marina somera normal.

OPHIOMORPHA.

Es un sistema de horadaciones simple a complejo, típicamente recubiertas con sedimento peletoidal aglutinado. El recubrimiento de la horadación es bastante suave sobre el interior y densa a fuertemente nodoso en el exterior del recubrimiento. Las características del relleno pueden variar, pero en algunos casos Ophiomorpha puede ser rellenada activamente con láminas en menisco o con depósitos de fondo bien desarrollados. La ramificación es irregular y, donde está presente, es en forma de Y ó T (Figuras 9 y 10).

Ha sido interpretada como la horadación de domicilio de un crustáceo decápodo. Está comúnmente asociada con la icnofacies *Skolithos* y se encuentra en abundancia en ambientes de anteplaya desde el Jurásico al Holoceno; también está asociado con depósitos de aguas salobres incluyendo estuarios y charcas de marea.

PALAEOPHYCUS.

Horadaciones horizontales a inclinadas, cilíndricas, típicamente recubiertas y rara vez ramificadas, en las cuales el sedimento de relleno tiene la misma litología y textura que la roca circundante. La cubierta de las paredes varía de muy delgadas a relativamente gruesas, y son suaves, estriadas longitudinalmente o con anillos transversales. El diámetro es variable, pero comúnmente varía de 3 a 8 mm (Figura 11).

Palaeophycus se distingue de Planolites, icnogénero morfológicamente similar, principalmente por la presencia de recubierta en las paredes y el carácter del relleno de la horadación. El relleno del Palaeophycus representa un relleno pasivo, sedimentación introducida por gravedad dentro de horadaciones recubiertas abiertas; en consecuencia el relleno es igual en composición a la roca circundante. Se interpreta esta estructura como de domicilio. Aunque generalmente está asociada a la icnofacies *Skolithos*, el Palaeophycus morfológicamente simple ha sido encontrado en una amplia variedad de ambientes marinos a salobres.

PLANOLITES.

Horadaciones de paredes suaves a irregulares, rectas a tortuosas, sin recubierta, rara vez ramificada, en las cuales el relleno es diferente a la roca circundante. Planolites es de forma circular a elíptica en sección transversal y sus dimensiones son muy variables (3-8 mm de diámetro). Se distingue de Palaeophycus principalmente por tener paredes no recubiertas y el relleno de las horadaciones difiere de la roca circundante (Figura 6). El relleno de Planolites representa sedimento procesado por el organismo (poliquetos móviles) en actividades de alimentación de depósito. Debido a su morfología simple, Planolites ha sido encontrado en casi todos los ambientes, desde marino profundo hasta diques fluviales.

RHIZOCORALLIUM.

Horadaciones en forma de U, rectas a sinuosas y con espritas ("*Spreiten*"). Los tubos son más o menos paralelos; la relación de diámetro del tubo: diámetro de la esprita es 1:5. Las espritas son típicamente protrusivas. El relleno de la horadación es comúnmente idéntico a la roca circundante, pero en algunos casos es de grano más fino. En núcleos, se identifica por dos horadaciones circulares unidas por una banda horizontal (esprita). Las paredes de los tubos son comúnmente ornamentadas con marcas tipo estrías (Figuras 12, 13 y 14).

Ha sido interpretada como la estructura de alimentación producida por un organismo que se alimenta del depósito. La presencia de las estrías características sobre las paredes del tubo indica que son originados por un crustáceo. Está generalmente asociada con la icnofacies Cruziana distal que caracteriza los ambientes marinos costafuera. También es un elemento común de la icnofacies *Glossifungites*, que caracteriza a los sustratos endurecidos.

ROSSELIA.

Entrada cilíndrica simple, vertical o inclinada, recta a suavemente curva, con una abertura bulbosa. El bulbo está relleno de sedimentos más finos que la roca matriz, con un arreglo en capas concéntricas pobremente desarrolladas. En sección transversal, los bulbos son circulares a subcirculares (Figuras 14, 15 y 23).

Rosselia se interpreta como la horadación por alimentación de anélidos (u otros organismos semejantes a los gusanos) que filtra lodo de una columna de agua y lo empaca dentro de una bola. Rosselia está generalmente asociado a la icnofacies *Cruziana* proximal, en ambientes totalmente marinos.

SKOLITHOS.

Horadación recta a curvada, vertical a inclinada y simple, que nunca se ramifica o se cruza. En sección transversal son cilíndricos a subcilíndricos y son recubiertos o no. Los recubrimientos, cuando están presentes, rara vez exceden 1 mm, y consiste de lodo orgánico oscuro o arena limpia aglutinada. Las paredes son generalmente suaves, pero pueden no ser notorias y el relleno es típicamente masivo (Figura 16).

Representa la horadación de domicilio de un carnívoro pasivo o de alimento en suspensión. Puede ser originado por una gran variedad de organismos, desde poliquetos, forónidos o larvas de insectos. Como puede ser construida por una gran variedad de organismos, se encuentra virtualmente en todos los ambientes.

TEICHICHNUS.

Estructuras tabulares verticales construidas como una serie de láminas apiladas cóncavas hacia arriba o cóncavas hacia abajo (rara vez) fuertemente empacadas. Las secciones longitudinales muestran láminas onduladas alargadas que usualmente se abren hacia los extremos. Una horadación horizontal circular a subcircular está siempre presente en el extremo inferior o superior de las láminas (Figuras 17 y 18).

Generalmente se interpreta como la horadación de domicilio o alimentación de un organismo que se alimenta del depósito. Los posibles originadores incluyen anélidos u otros organismos similares a los gusanos. El animal originador parece migrar hacia arriba o hacia abajo en su horadación. La esprita probablemente representa una respuesta del intento del organismo en mantener el fondo de la horadación a una profundidad óptima de la interfase agua-sedimento. Aunque comúnmente está asociada con la icnofacies *Cruziana*, el Teichichnus también prevalece en lagunas y bahías de aguas salobres.

TEREBELLINA.

Horadaciones fuerte a suavemente curvadas subcilíndricas y verticales, con una sección transversal circular a elíptica. El diámetro de la horadación es muy variable y los tubos se separan gradualmente. El recubrimiento es muy característico y varía en espesor de 15-5 mm y está compuesto de granos de limo o de carbonato de calcio, y es más resistente a

la meteorización que la roca circundante o el relleno. El material de relleno de la horadación es similar en composición a la roca huésped. En núcleos, los especímenes generalmente aparecen horizontales debido a la curvatura del tubo (Figuras 5 y 19).

Fue originalmente interpretada como el cuerpo fósil de un poliqueto, sin embargo, debido a que este es un tubo construido por el organismo, este debe ser considerado como un icnofósil. Basado en sus características morfológicas, *Terebellina* puede ser interpretada como la horadación de domicilio de un organismo que se alimenta de sedimento en suspensión similar al poliqueto Sabelliarido. La *Terebellina* se encuentra comúnmente en la icnofacies *Cruziana* distal que caracteriza ambientes marinos costafuera y representa una adaptación especial para construir un tubo abierto en un sustrato argiláceo.

THALASSINOIDES.

Sistema de horadaciones relativamente grande que consiste de componentes esencialmente cilíndricos de paredes suaves. Las ramificaciones son en forma de Y o T y son más grandes en los puntos de bifurcación. Las dimensiones de la horadación pueden variar dentro de un sistema dado y las secciones transversales son en forma de media luna a elípticas. Aunque la mayoría de los sistemas son esencialmente horizontales, otros están irregularmente inclinados. El relleno de la horadación sin estructura o con laminación paralela, representa un relleno pasivo, mientras que el relleno en menisco o tipo "Chevron", representa un relleno activo posterior por el organismo (Figuras 20 y 21).

Son sistemas de horadación con paredes muy finas o sin paredes, son característicos de sustratos coherentes de grano fino que no requieren reforzamiento de las paredes. Se considera como una horadación de domicilio y/o alimentación de un crustáceo decápodo (Thalassinid - camarón). Está asociada a la icnofacies *Cruziana* en ambientes de anteplaya inferior a costafuera y con baja diversidad en asociaciones de aguas salobres.

BERGAUERIA.

Es una horadación tubular simple, cilíndrica a hemisférica, con base redondeada, orientada verticalmente, sin estructura interna, de paredes suaves y con ancho aproximadamente igual al largo. El sedimento de relleno es igual al sedimento que lo rodea (Figura 22).

Se cree que este icnofósil representa la horadación de domicilio de un organismo carnívoro (posiblemente una anémona) que se alimenta del material en suspensión. Es una horadación típica de planos de marea bajos, deltas de marea, depósitos de aguas salobres y, en general, de aguas poco profundas donde el sustrato es arenoso.

SUBPHYLOCHORDA.

Horadación tubular con sección transversal en forma de corazón y de 2-3 cm de diámetro. Es producida por erizos y se encuentra en ambientes totalmente marinos (Figura 23).

3. - ICNOFACIES E INTERPRETACION DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS.

El estudio sedimentológico de los campos Barúa y Motatán (DELGADO (1995) ; BENITEZ, KABBABE y ORRIBO (1996) y ESCANDON y MORENO (1997, en

progreso)), y de microfauna realizados por PITTELLI, R. (1995) y EDELMAN, PERCIVAL AND ASSOCIATES BIOSTRATIGRAPHERS (1994), indican que la secuencia sedimentaria (arenas basales de la Formación Paují y arenas "B" de la Formación Misoa, ambas de edad Eoceno) corresponde a depósitos proximocosteros de anteplaya, barras litorales, canales de marea y depósitos de costafuera, en una costa dominada por la energía de las olas y con una influencia de tormentas como lo indica la presencia de estratificación tipo "Hummocky" (Figura 24).

Por otra parte, las asociaciones de icnofósiles encontradas en estos núcleos pueden interpretarse como correspondientes a las icnofacies *Skolithos* y *Cruziana*. La primera de ellas está caracterizada por los siguientes icnogéneros: *Arenicolites*, *Skolithos*, *Conichnus*, *Diplocraterion*, *Ophiomorpha* y *Palaeophycus*; mientras que en la segunda son característicos los icnogéneros: *Thalassinoides*, *Asterosoma*, *Teichichnus*, *Rhizocorallium*, *Terebellina*, *Chondrites* y *Rosselia*.

Las icnofacies *Skolithos* y *Cruziana* han sido interpretadas como características de los depósitos de plano costero a costafuera (zona nerítica), correspondiendo la icnofacies *Skolithos* a los subambientes sedimentarios más proximales (playa baja, anteplaya superior y media y parte superior de la anteplaya inferior), mientras que la icnofacies *Cruziana* corresponde a los subambientes sedimentarios más distales (parte inferior de la anteplaya inferior y costafuera propiamente dicho), tal como se muestra en la Figura 25.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de estas icnofacies, tomada de PEMBERTON, G. (1995):

Icnofacies *Skolithos*: La icnofacies *Skolithos* es indicativa de niveles relativamente altos de energía de corrientes o de olas, y típicamente se desarrolla en sustratos ligeramente lodosos a limpios, bien escogidos y no consolidados. El incremento de los niveles de energía aumenta el retrabajo físico, por lo que se oscurecen las estructuras biogénicas y las estructuras sedimentarias físicas preservadas. Tales condiciones ocurren comúnmente en la playa baja y la anteplaya, barras y espolones, pero condiciones similares algunas veces ocurren en deltas de marea y abanicos submarinos. Debido a las relaciones fundamentales entre agitación del agua, transporte de sedimento y distribución animal, la mayoría de los constructores de trazas encontrados en estos ambientes son organismos que se alimentan de material en suspensión.

La icnofacies *Skolithos* está caracterizada por: (1) Bioturbaciones cilíndricas o en forma de U, predominantemente verticales; (2) Espritas ("*Spreiten*") protusivas o retrusivas en algunas bioturbaciones en forma de U, que se desarrollan en respuesta a la agradación o degradación del sustrato; (3) Pocas estructuras horizontales; (4) Pocas estructuras producidas por organismos móviles; (5) Baja diversidad, aunque las formas individuales pueden ser abundantes; (6) principalmente bioturbaciones de domicilio construidas por organismos que se alimentan de material en suspensión o carnívoros pasivos; y (7) Trazas de vertebrados, particularmente en marcos intermareales de baja energía.

Icnofacies *Cruziana*: La icnofacies *Cruziana* es más característica de sustratos submareales, pobremente escogidos e inconsolidados. Las condiciones varían típicamente de niveles de energía moderados en aguas someras ligeramente por debajo del nivel base de las olas pero por encima del nivel base de las olas de tormentas, a niveles de energía bajo en aguas tranquilas y más profundas. Las tasas de depositación de sedimento varían de poco apreciable a apreciable, pero normalmente no son rápidas.

En niveles de baja energía, los aportes de comida consisten tanto de componentes en suspensión como del depósito. Una fracción puede predominar localmente, o pueden estar mezcladas. Los organismos característicos incluyen tanto organismos que se alimentan del depósito como del material en suspensión, así como también carnívoros móviles y carroñeros. Las huellas de organismos buscadores de comida epibénticos y endobénticos también pueden ser comunes y reflejan la abundancia, diversidad y accesibilidad de la comida.

La icnofacies *Cruziana* está caracterizada por: (1) Asociación mixta de estructuras horizontales, verticales e inclinadas; (2) la presencia de estructuras construidas por organismos móviles; (3) generalmente alta diversidad y abundancia; y (4) principalmente estructuras de alimentación y pastoreo por organismos que se alimentan de los depósitos.

En los núcleos estudiados, la icnofacies *Cruziana* está asociada a los depósitos de grano fino (facies L, HB, H, S2B y S2) de las áreas entre barras litorales, margen de barras litorales y plataforma marina somera (marino costafuera); mientras que la icnofacies *Skolithos* se asocia más comúnmente a los depósitos de grano más grueso (facies S, S3, S11, S1 y S2) de las porciones centrales de las barras litorales, canales de marea/desprendimiento, anteplaya y playa.

4. - CONTROL DE LA BIOTURBACIÓN SOBRE LA CALIDAD FÍSICA DE LAS ROCAS YACIMIENTO.

En los núcleos estudiados se pudo observar como la presencia de bioturbación deteriora notablemente la calidad de las rocas yacimiento (facies S y S3, correspondientes a areniscas de grano medio a grueso/conglomerático). Cuando estas areniscas presentan intensa bioturbación, no muestran impregnación de hidrocarburo, ya que la permeabilidad es reducida drásticamente a menos de 0,5 mD, cuando normalmente la permeabilidad en estas facies está entre los 10 y 400 mD (Figura 26). En lo que se refiere a la porosidad, esta no se ve prácticamente afectada. Esta disminución drástica en la permeabilidad está relacionada con las arcillas que introducen los organismos en el sedimento arenoso, lo cual deteriora el escogimiento e incrementa la tortuosidad del flujo.

5. - CONCLUSIONES.

- El estudio de los icnofósiles es una herramienta muy valiosa para la determinación del ambiente depositacional y su evolución, tanto vertical como lateralmente; así como para consideraciones de tipo paleoecológico.
- Las asociaciones de icnofósiles identificadas en los núcleos de los campos Barúa y Motatán se interpretan como correspondientes a las icnofacies *Cruziana* y *Skolithos*, lo que permite definir el ambiente sedimentario de la secuencia representada en estos núcleos como proximocostero a nerítico interno (marino costafuera), siempre bajo el nivel del mar.
- La presencia de bioturbación deteriora notablemente la calidad de las rocas yacimiento. La disminución drástica en la permeabilidad se relaciona con las arcillas que introducen los organismos en el sedimento arenoso, lo cual deteriora el escogimiento e incrementa la tortuosidad del flujo. La porosidad no se ve prácticamente afectada.

6. - BIBLIOGRAFIA.

- BENITEZ, R.; KABBABE, T. y ORRIBO, J. (1996). "Estudio Integrado de los yacimientos presentes en las formaciones Paují y Misoa, Campo Motatán Domo Norte, Estado Zulia". Trabajo Especial de Grado. Inédita. U.C.V. Caracas. Venezuela.
- CHACARTEGUI, F.; COLL, M. C.; URDANETA, J.; PINTO, J. y LUGO, D. (1993). "Laminated sandstones reservoir characterization, Middle Eocene, Lower Misoa Formation, Ceuta field, Maracaibo Lake". Bulletin AAPG. Vol 77/2. February 1993. p. 310-311.
- DELGADO, M. (1995). "Estudio de las Iconofacies en los núcleos de los pozos MOT-47/MOT-7 (Campo Motatán, Domo Sur) y VLG-3738 (Campo Ceuta, Area 2)". MARAVEN S.A. Informe EPC-13686.
- DELGADO, M. (1997). "Estudio Sedimentológico del yacimiento Arenas Basales de la Formación Paují, Campo Motatán, Domo Sur, Estados Zulia y Trujillo". MARAVEN S.A. Informe MAR-EP-0066, 97IT.
- EDELMAN, PERCIVAL and ASSOCIATES BIOSTRATIGRAPHERS (1994). "Biostratigraphic Analysis MARAVEN S.A. MOT-4 and MARAVEN S.A. MOT-7, Venezuela".
- ESCANDON, G. y MORENO, M. (1997). "Estudio Sedimentológico de los yacimientos presentes en las formaciones Paují y Misoa, Campo Barúa, Estado Zulia". Trabajo Especial de Grado (EN PROGRESO). Inédita. U.C.V. Caracas. Venezuela.
- PEMBERTON, S. G. (1992). "Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop". SEPM Core Workshop # 17. Calgary. Canadá. 429 p.
- PEMBERTON, S. G. (1995). "Curso de ICNOFOSILES". CEPET (Centro de Formación de Petróleos de Venezuela y sus Empresas Filiales).
- PITTELLI, R. (1995). "Informe Bioestratigráfico y Nuevos Aportes sobre la Estratigrafía de la Sección Eocena del Area de Barúa-Motatán, Estados Zulia y Trujillo". MARAVEN S.A. Informe # EPC-13584.

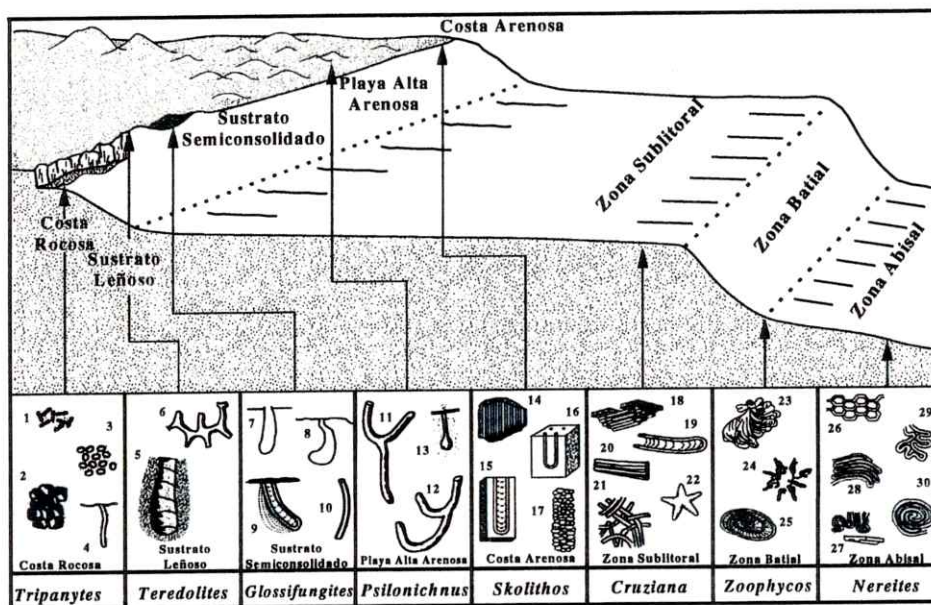


Figura 1: Diagrama esquemático ilustrando un grupo de *lcnofacies* marinas recurrentes dentro de un marco ambiental representativo, pero no único. Los factores físicos, químicos y biológicos determinan finalmente que trazas ocurrirán en un determinado lugar. Las huellas fósiles típicas incluyen: 1) *Caulostrepsis*; 2) *Entobia*; 3) perforaciones de equinoides; 4) *Trypanites*; 5) *Teredolites*; 6) *Thalassinoides*; 7, 8) *Gastrochaenolites*; 9) *Diplocraterion*; 10) *Skolithos*; 11, 12) *Pylonichnus*; 13) *Macanopsis*; 14) *Skolithos*; 15) *Diplocraterion*; 16) *Arenicolites*, 17) *Ophiomorpha*; 18) *Phycodes*; 19) *Rhizocorallium*; 20) *Teichichnus*; 21) *Planolites*; 22) *Asteriacites*; 23) *Zoophycos*; 24) *Helminthoida*; 25) *Zoophycos*; 26) *Paleodictyon*; 27) *Taphrohelminthopsis*; 28) *Helminthoida*; 29) *Cosmorhapse* y 30) *Spirorhapse* (Modificada de FREY y PEMBERTON, 1985) (Tomada, modificada y traducida de PEMBERTON, G., 1995).

Figura 2: Ubicación geográfica del área estudiada.

