

Nuevo modelo sedimentológico del miembro Lagunillas Inferior, bloques III/IV, Lago de Maracaibo

Helena Gamero de Villarroel¹, Ernest Gómez², Ian D. Bryant³ y María Carolina Coll¹

¹Maraven S.A., Aptado. 829, Caracas 1010A, Venezuela

²Geoquest Reservoir Technologies, Denver, Colorado, U.S.A.

³Schlumberger Doll Research, Ridgefield, Connecticut, U.S.A.

Resumen

Este estudio comprende la revisión del modelo sedimentológico del miembro Lagunillas Inferior en los bloques III/IV, para lo cual se examinaron aproximadamente 1000 pies de núcleo de cinco (5) pozos con el fin de contribuir a la implantación de un nuevo esquema de explotación del yacimiento. Dicha revisión condujo al establecimiento de un nuevo modelo sedimentológico del miembro Lagunillas Inferior en los bloques III/IV.

En la secuencia estudiada se identificaron doce (12) unidades sedimentarias y ocho (8) unidades de flujo. Igualmente, se identificaron intervalos de areniscas arcillosas de baja resistividad ("Low Resistivity Pay Zones") como objetivos potenciales para la perforación horizontal o altamente inclinada.

El miembro Lagunillas Inferior junto con la parte inferior del miembro suprayacente, Laguna, constituye una secuencia de tercer orden. El miembro Lagunillas Inferior fue interpretado como una secuencia transgresiva de tercer orden constituido por un apilamiento de tres secuencias de cuarto orden, denominadas de base a tope, "A", "B" y "C". El contacto entre la Formación La Rosa y el miembro Lagunillas Inferior fue interpretado como una discordancia tipo I con desarrollo de valles socavados y paleosuelos. Igualmente, el intervalo lutítico ubicado al tope del miembro Lagunillas Inferior fue interpretado como depósitos de laguna o relleno de bahía que contiene la superficie de máxima inundación de la secuencia de tercer orden.

El yacimiento Lagunillas Inferior, tradicionalmente considerado como homogéneo y constituido por tres (3) areniscas (L, M, y N), fue redefinido a doce (12) unidades sedimentarias en donde se evidencia la alta heterogeneidad del yacimiento. Esto trae como consecuencia la posibilidad de implantar algunos cambios en el esquema actual de explotación del yacimiento, lo cual permitirá incrementar la potencialidad del área y recuperar las reservas remanentes del mismo.

Palabras claves: *miembro Lagunillas Inferior, bloques III/IV, modelo sedimentológico, Mioceno medio/temprano, cuenca de Maracaibo, delta dominado por mareas.*

Abstract

This study comprises the revision of the sedimentological model for the Lower Lagunillas member in blocks III/IV, for which approximately 1000 feet of core from five (5) wells were examined with the purpose of implementing a new scheme of exploitation for the field. This revision lead to a new sedimentological model for the Lower Lagunillas member in blocks III/IV.

Twelve (12) sedimentary units and eight (8) flow units were identified in the study. Also identified were low resistivity shaley sandstones ("Low Resistivity Pay Zones") that are potential objectives for horizontal or high angle drilling.

The Lower Lagunillas and the lower part of the overlying Laguna Member are interpreted as a third-order sequence. The Lower Lagunillas is a composite transgressive system tract that includes three (3) fourth-order sequences. These sequences are designated, from base to top, "A", "B", and "C". The contact between the La Rosa Formation and the Lower Lagunillas member is interpreted as a type I unconformity with the development of incised valleys and paleosols. The top of the Lower Lagunillas is marked by a lagoonal/bayfill shale that includes the maximum flooding surface of the third-order sequence.

The Lower Lagunillas reservoir, traditionally considered as homogeneous and consisting of three (3)

sandstones (L, M, and N), was redefined as twelve (12) sedimentary units in which there is evidence of high reservoir heterogeneity. As a consequence, it is possible to implement some changes to the current exploitation scheme of the field which will permit an increase in the area's potential and its remaining reserves.

Key words: Lower Lagunillas member, blocks III/IV, sedimentological model, middle/lower Miocene, Maracaibo Basin, tidal dominated delta.

Introducción

El yacimiento Lagunillas Inferior (Formación Lagunillas) en los bloques III/IV del Lago de Maracaibo, de edad Mioceno medio/temprano (Lorente 1987; Rull 1994), tiene un POES (Petróleo Original in situ) de 1846,6 MMBLS (millones de barriles) y 276,2 MMBLS de reservas remanentes. Su explotación se inició a principios de los años 50 y a través de su etapa productiva alcanzó potenciales iniciales mayores de 120 MBD (miles de barriles diarios), siendo la producción actual de 18,5 MBD a través de 38 pozos activos. En este yacimiento se ejecuta un proyecto de inyección de

Figura 1.- Mapa de ubicación del área de los bloques III/IV, Lago de Maracaibo.

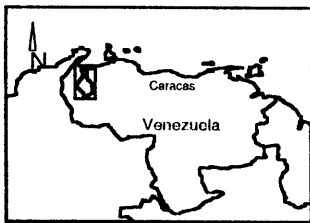
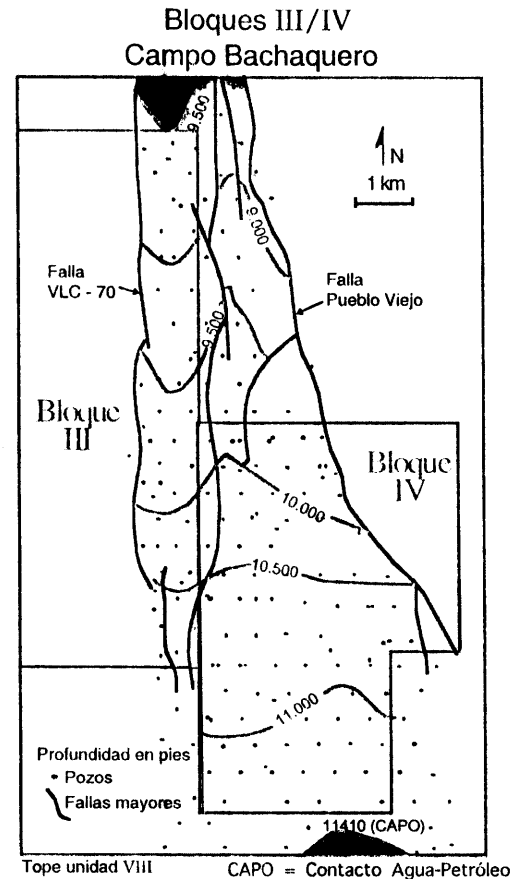


Figura 2.- Mapa estructural al tope de la unidad sedimentaria VIII, del miembro Lagunillas Inferior.



gas cuyos resultados han indicado un barrido diferencial e impredecible debido a la alta heterogeneidad del yacimiento.

A partir de la interpretación sísmica 3D (Córdoba et al. 1994), se ha establecido un nuevo marco estructural para el área de los bloques III/IV. Así mismo, el uso de nuevas técnicas y metodologías, provenientes del análisis de registros modernos y de caracterización de yacimientos permiten una mejor definición del mismo (Córdoba et al. 1994; De Mena et al. 1994; Gamero de Villarroel y Coll 1994; Gamero de Villarroel et al. 1995a; 1995b; Schlumberger-Maraven 1994).

Es importante destacar que para estimar los parámetros petrofísicos (derivados de registros)

entre pozos y predecir la distribución y movimiento de fluidos en el mismo, es importante establecer un modelo geológico/sedimentológico detallado del yacimiento. El mismo se logra en base a la integración de: (1) la información de núcleos, (2) la calibración núcleo/perfil detallada y (3) la extrapolación de la información de los núcleos al resto del área. Finalmente, el modelo es validado y cotejado con datos de producción.

En este estudio se presentan los resultados del estudio sedimentológico del yacimiento Lagunillas Inferior en los bloques III/IV (Fig. 1) con el fin de contribuir a la implantación de un nuevo esquema de explotación en el área, mediante la técnica de perforación horizontal, pozos interespaciados geológicamente optimizados, y pozos altamente inclinados.

Marco estructural

El yacimiento Lagunillas Inferior está ubicado en una estructura anticlinal de rumbo N-S buzando 2 a 3 grados al sur. Basados en la interpretación sísmica 3D de los bloques III/IV y la interpretación 2D que cubre el área de Lagoven al norte del bloque IV, se establece un nuevo modelo estructural del yacimiento Lagunillas Inferior (Fig. 2, Córdoba et al. 1994). Dicho modelo considera los siguientes elementos estructurales:

Al norte, un cierre estructural conformado por la convergencia de los dos alineamientos principales, VLC-070 y Pueblo Viejo. Al este, el alineamiento Pueblo Viejo, de dirección preferencial NNO-SSE y buzamiento ENE. Al oeste, el alineamiento VLC-070 y al sur, el contacto agua-petróleo original estimado a -11410 pies.

Estratigrafía

La columna estratigráfica generalizada del área de los bloques III/IV se ilustra en la figura 3. En general, la Formación Lagunillas, de edad Mioceno, descansa concordantemente sobre las lutitas marinas de la Formación La Rosa (Mioceno temprano) (Léxico Estratigráfico de Venezuela 1970). La Formación Lagunillas se divide en tres miembros, de base a tope, Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero (Sutton 1946).

Estudios sedimentológicos previos

El miembro Lagunillas Inferior, en Bloque IV, ha sido interpretado como depositado por canales distributarios de un plano deltáico alto y

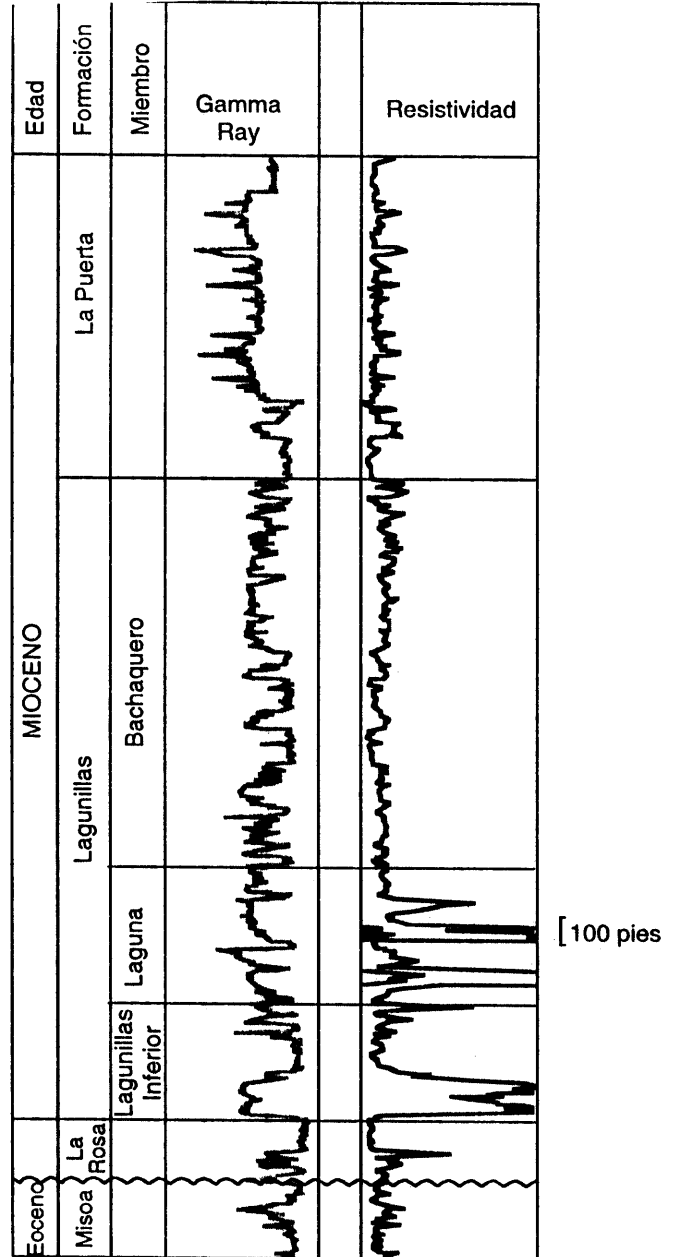


Figura 3.- Estratigrafía general del área de los bloques III/IV

por barras de meandro de un plano aluvial (Ochoa 1973). Igualmente, Ochoa (1973) subdivide el miembro Lagunillas Inferior, de 250 a 300 pies de espesor, en tres areniscas homogéneas denominadas, de base a tope, N, M, y L (Fig. 4). Chacartegui (1985) interpreta al miembro Lagunillas Inferior, en el área de Ceuta, como depósitos de un complejo deltáico progradante. Así mismo, Lorente (1987) y Azpirtxaga (1988) interpretaron el miembro Lagunillas Inferior como

Figura 4.- Correspondencia entre los topes de las unidades sedimentarias establecidas en este estudio, los topes de las unidades de flujo establecidos por Azpirixaga (1988) y los topes geológicos establecidos por Ochoa (1973).

OCHOA [1973] "ARENAS"	AZPIRITXAGA [1988] "UNIDADES DE FLUJO"	GAMERO DE VILLARROEL et al. [1995] "UNIDADES SEDIMENTARIAS"
L	A3 Sup.	XII XI X
	A3 Int.	IX
	Intervalo lutítico	VIII
Lutita B	A3 Inf.	VII
		VI
	A2	V
	A1	
Lutita C	Intervalo lutítico	IV
N	Ao	III
		II
Formación	La Rosa	I

depositado por canales distributarios y barras costeras en base a los conjuntos florales/faunales y a evidencias sedimentológicas, respectivamente. Igualmente, Azpirixaga (1988) subdivide el yacimiento en cinco unidades de flujo denominadas, de base a tope, Ao, A1, A2, A3 inferior, y A3 superior (Fig. 4). En otras áreas, Pittelli y De DiGiacomo (1990) interpretaron el miembro Lagunillas Inferior como depósitos de laguna costera y zonas de marismas con influencia de mareas, basado en los resultados de estudios bioestratigráficos de 19 pozos ubicados en el campo Ceuta (áreas 4, 8 y Tomoporo) y dos pozos en el Bloque XI.

En resumen, según los estudios anteriores, el miembro Lagunillas Inferior ha sido interpretado como depósitos de canales en un plano deltáico bajo (arenas N y M) y como barras costeras (arena L), en un ambiente marino marginal.

Metodología

La metodología utilizada es descrita en los trabajos de Gamero de Villarroel et al. (1995a) e INTERA (1995). La interpretación sedimentológica del área está basada en la descripción macroscópica detallada de núcleos de cinco (5) pozos (VLD-232, VLD-219, VLD-327, VLD-315,

VLC-330) que cubren al miembro Lagunillas Inferior (Figs. 5 y 6). La descripción macroscópica comprende la identificación de facies y unidades sedimentarias, tipos de depósitos, e interpretación de ambientes sedimentarios. Posteriormente, la interpretación sedimentológica (una vez realizada la calibración de los núcleos con los registros disponibles) es extrapolada a todos los pozos del área dando como resultado la elaboración de modelos sedimentológicos por cada unidad sedimentaria identificada.

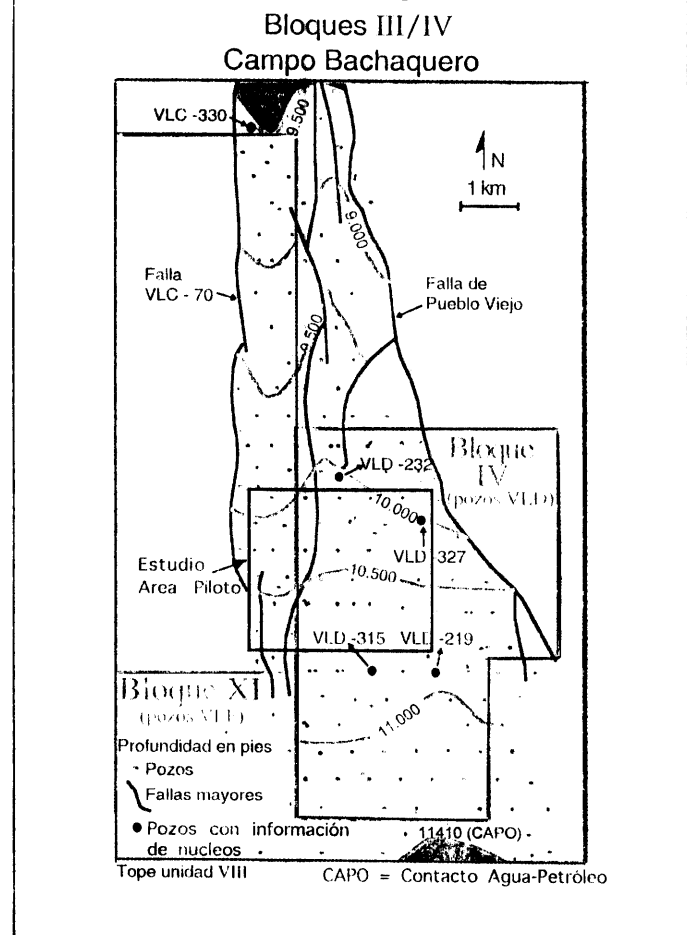
Sedimentología

Facies sedimentarias

Descripción

En los intervalos estudiados se identificaron: una facies conglomerática (C), siete facies de areniscas (S, S3, S11, S1, S2, S11b, y S2b), dos heterolíticas (H y Hb), y dos lutíticas (L y P). La nomenclatura de facies fue establecida por primera vez en el Eoceno C en Bloque III por Rodriguez

Figura 5.- Mapa de ubicación de los pozos con núcleos en los bloques III/IV, con información del miembro Lagunillas Inferior.



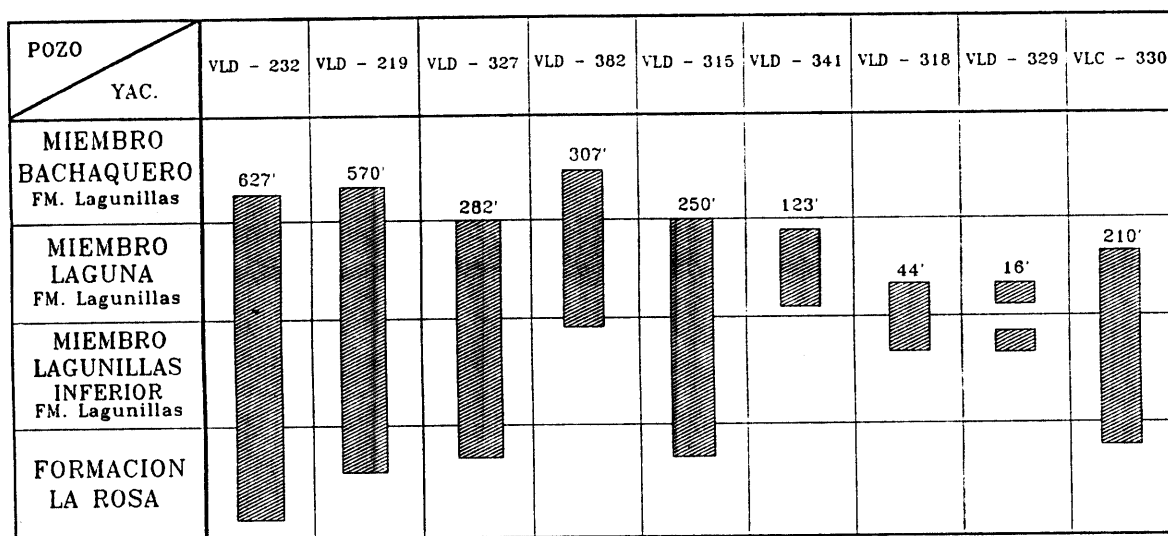


Figura 6.- Cobertura estratigráfica de los núcleos estudiados en los bloques III/IV.

(1986). Se elaboraron cinco (5) hojas sedimentológicas ("sedimentological sheets") correspondientes a los pozos VLD-232, VLD-219, VLD-315, VLC-330 y VLD-327 (Gamero de Villarroel et al. 1995a; 1995b; 1995c).

Las descripciones detalladas de las facies presentes en los núcleos estudiados son las siguientes:

Facies C: Esta facies está asociada a la base de algunas de las sucesiones granodecrecientes así como al tope de algunas sucesiones granocrecientes. En las sucesiones granodecrecientes, el conglomerado está conformado por abundantes clastos de lutitas y fragmentos de plantas, muy mal escogido y poco impregnado. En las sucesiones granocrecientes el conglomerado, en contacto abrupto-erosivo, está conformado por abundantes intraclastos de arcilla, fragmentos redondeados y sideritizados de madrigueras (*Thallasinoides* sp.) y clastos de chert, muy mal escogido, poco impregnado, e intensamente bioturbado. En las sucesiones granocrecientes el mismo ha sido interpretado como una superficie transgresiva de erosión (TSE) o "ravinement surface" (Pemberton et al. 1992; Posamentier y Vail 1988).

Facies S: Areniscas de grano grueso a muy grueso, moderadamente a bien escogidas, con estratificación cruzada, bases erosivas con abundantes clastos de lutita. Presenta abundantes restos de plantas. Esta facies se encuentra bien

impregnada y está poco consolidada. En sección fina, consiste de areniscas cuarzosas, moderadamente escogidas, de grano grueso a muy grueso, redondeados a subangulares. Las arcillas están distribuidas en parches (Bryant y Gamero de Villarroel 1994).

Facies S3: Areniscas de grano medio a grueso, moderadamente a bien escogidas, con estratificación cruzada. Ocasionalmente pueden contener láminas lutíticas-carbonosas, que comúnmente se observan en pares. Las mismas son muy similares a los "mud couplets" de Visser (1980). En sección fina, consiste en areniscas cuarzosas de grano medio, angulares a subangulares, muy bien escogidas. La misma presenta muy poco contenido de arcillas dentro del espacio poroso. Algunos granos de cuarzo muestran un sobrecrecimiento corroído.

Facies S11: Areniscas de grano fino a medio, moderadamente a bien escogidas, con estratificación cruzada o masiva, con láminas dobles de arcilla. Generalmente está bien impregnada por hidrocarburos. En sección fina, consiste en areniscas de grano fino, redondeados a subangulares, muy bien escogidas. Las arcillas se presentan como laminaciones finas o como parches aislados. Algunas láminas poseen concentraciones de minerales pesados (zircón y pirita) junto con lentes ricos en materia orgánica.

Facies S11b: Areniscas de grano medio a arcilloso, muy mal escogidas, masivas, con abun-

dantes láminas dobles de arcilla interrumpidas por bioturbación (*Ophiomorpha* sp. y *Thalassinoides* sp.). Presenta diferentes grados de bioturbación y de impregnación. Aquella facies poco bioturbada presenta un mayor grado de impregnación en comparación con aquella más bioturbada.

Facies S1: Areniscas de grano fino a medio, bien escogidas, con abundantes laminaciones continuas lutíticas-carbonosas. Estas laminaciones pueden llegar a 2 mm de espesor. La alternancia de areniscas y arcillas indica fluctuaciones de energía en el ambiente de deposición, como por ejemplo en ambientes de mareas.

Facies S2: Areniscas de grano fino a muy fino, bien escogidas, con laminaciones cruzadas (de rizaduras). Abundantes laminaciones discontinuas de arcilla. Muestra impregnación diferencial por hidrocarburos. En sección fina, consiste en areniscas de grano fino a muy fino, subangulares a redondeados, bien escogidas. Presenta láminas de materia orgánica y mica (muscovita). Las arcillas autigénicas presentes están asociadas a la alteración de granos menos estables (feldespatos).

Facies S2b: Areniscas de grano fino a limolítico, mal escogidas, con abundantes laminaciones discontinuas y continuas de arcilla, interrumpidas y destruidas por bioturbación. Muestra impregnación diferencial por hidrocarburos. En sección fina, consiste en areniscas de grano fino a limolítico, redondeados a subangulares, muy mal escogidas, con intraclastos de lutita y materia orgánica dispersa. Presencia de abundantes cristales rómbicos de siderita autigénica.

Facies H: Areniscas de grano muy fino intercaladas con intervalos lutíticos en escala centimétrica, formando estratificación ondulante "wavy bedding" (Reineck y Wunderlich 1968 in Elliot 1986). Presenta, en algunos casos, estructuras de corriente aisladas ("starved ripples"), laminaciones cruzadas, estructuras de carga, y generalmente muestra poca bioturbación.

Facies Hb: Areniscas de grano muy fino a limolítico intercaladas con intervalos lutíticos de escala milimétrica que han sido mezclados y destruidos por bioturbación.

Facies L: Lutita gris oscura, masiva o moderadamente laminada, con lentes limolíticos y con bioturbación moderada. Algunas láminas de arcillas presentan fragmentos de bivalvos, ocasionalmente articulados. La relación Boro/Iilita es un indicador de la salinidad del ambiente de deposición. El contenido de Boro en estas lutitas sugiere que las mismas se depositaron en un ambiente

salobre-restringido (Bryant y Gamero de Villarroel 1994).

Facies P: Lutitas y limolitas sin estructura, masivas, de color moteado rojizo-amarillento. Esta facies se encuentra ubicada al tope de la Formación La Rosa en los pozos VLD-315 y VLD-327, y su coloración indica exposición a condiciones oxidantes (exposición subaérea) y se ha interpretado como paleosuelos en superficies discordantes.

Petrografía y Diagénesis

Petrográficamente, las areniscas son clasificadas como arenitas feldespáticas (consisten principalmente de cuarzo con pocos feldespatos y minerales accesorios). La mayoría de los granos muestran contactos cóncavo-convexos, así como de punto y alargados, sugiriendo que hubo muy poca compactación. La principal alteración diagenética observada es la alteración de los granos de feldespatos en arcillas (caolinita). La secuencia diagenética observada fue la siguiente:

- 1) Precipitación temprana de cristales de siderita en láminas finas o alrededor de las madrigueras.
- 2) Disolución de los granos de feldespatos.
- 3) Precipitación de caolinita.
- 4) Cementación por cuarzo.
- 5) Disolución del sobrecrecimiento de cuarzo.

La porosidad predominante es primaria. La porosidad secundaria es generada por la disolución de los granos de feldespatos. La permeabilidad, aparentemente, está controlada por el tamaño de grano, grado de escogimiento, y el tipo, proporción y distribución de los minerales de arcilla en el espacio poroso (Bryant y Gamero de Villarroel 1994).

Interpretación

Es importante resaltar que dentro de la facies de areniscas S11 y ocasionalmente en S3 se identifican abundantes laminaciones de materia lutítica-carbonosa ("mud drapes"), que frecuentemente se encuentran en pares ("double mud drapes"). La presencia de láminas lutítico-carbonosas dobles en facies de areniscas ha sido interpretada como típica de depósitos de ambientes subacuáticos dominados por mareas en secuencias recientes (Visser 1980; de Boer et al. 1989) y antiguas (Homewood 1981; Homewood y Allen 1981; Ramos y Galloway 1990; Shanley et al. 1992).

Calidad de Roca

Las facies S, S3 y S11 son las de mejor calidad en cuanto a las propiedades petrofísicas

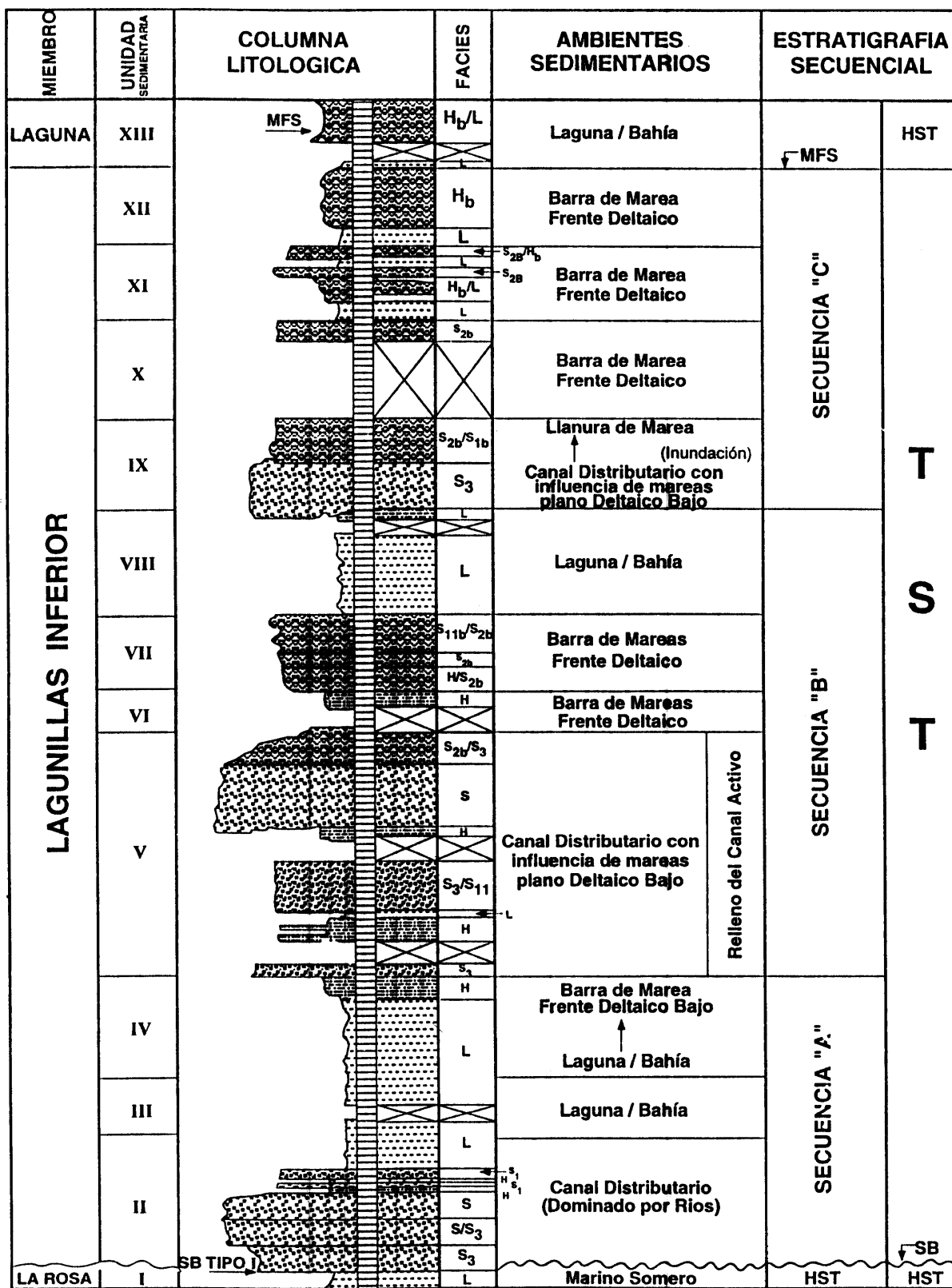


Figura 7.- Unidades Sedimentarias identificadas en los núcleos del pozo VLD-232 junto con la interpretación de los ambientes sedimentarios y estratigrafía secuencial.

(porosidades entre 23 y 26 % y permeabilidades entre 0.5 darcy y 4 darcy) . Para la facies S2 la porosidad promedio es de 23% y la permeabilidad promedio es de 20 md. Esta baja permeabilidad es debido al alto contenido de láminas discontinuas de arcilla y al contenido de arcillas en las mismas. Las facies S11b, S2b y S1 muestran una baja resistividad en los registros y en el núcleo muestran impregnación diferencial por hidrocarburos, representando objetivos importantes para el futuro plan de explotación de este campo.

Unidades Sedimentarias

Descripción

En base a la asociación vertical de facies se identificaron doce (12) unidades sedimentarias denominadas, de base a tope, I al XII (Fig. 7). La correspondencia entre los topes de las unidades sedimentarias y los topes geológicos establecidos por Ochoa (1973) y por Azpirtxaga (1988) se muestra en la figura 4.

Infrayacente al miembro Lagunillas Inferior se encuentra la Formación La Rosa caracterizada por lutitas de color gris, con abundantes restos de conchas y foraminíferos (unidad I) (Fig. 7).

El miembro Lagunillas Inferior se subdivide en dos intervalos, inferior y superior. La sección inferior (unidades II y III) consiste de dos sucesiones granodecrecientes. Cada una de las mismas está caracterizada por areniscas de grano medio a muy grueso a conglomerática (facies C, S y S3), con estratificación cruzada, bases erosivas asociadas a abundantes clastos intraformacionales de arcilla, clastos de carbón y abundantes láminas de material detrítico-carbonoso.

La sección superior del miembro Lagunillas Inferior (unidades V al XII) puede dividirse en dos ciclos o secuencias separadas por una lutita de carácter regional (unidad VIII) (Fig. 7). Las unidades V, VI y VII corresponden a la primera secuencia, y las unidades IX, X, XI y XII a la segunda. La base de cada una de estas secuencias (unidades V y IX) está caracterizada por una sucesión granodecreciente de 40 a 80 pies de espesor, constituida por areniscas de grano fino a medio, con estratificación cruzada y bioturbación moderada (facies S11, S11b, y S3). El tope de las secuencias (VI y VII; X, XI y XII) está caracterizado por una predominancia de sucesiones granocrecientes de 20 a 30 pies de espesor, las cuales comprenden intervalos lutíticos con intercalaciones de areniscas de grano fino a limolítico que gradan a areniscas de grano muy

fino a fino con estratificación paralela (facies S11b, S2, S2b), con abundantes intercalaciones continuas y discontinuas de láminas de arcilla interrumpidas o destruidas por madrigueras *Ophiomorpha*, al tope de dichas sucesiones.

Las unidades IV y VIII son intervalos arcillosos caracterizados por facies L, H y Hb.

Interpretación

Basados en la interpretación de núcleos y perfiles de pozos se estableció el marco de estratigrafía secuencial bajo el cual se depositó el miembro Lagunillas Inferior. Una secuencia es una unidad estratigráfica constituida por una sucesión de estratos genéticamente relacionados limitados hacia el tope y la base por discordancias o concordancias correlativas, asociados al descenso relativo del nivel del mar (Mitchum 1977). Van Wagoner et al. (1990) establecieron una jerarquización de las secuencias basados en la duración del ciclo eustático. Una secuencia de tercer orden tiene una duración de 1 a 5 millones de años y representa un evento eustático mayor. Discordancias tipo I limitan el tope y la base de dichas secuencias. Durante una secuencia de tercer orden pueden ocurrir pequeñas fluctuaciones en el nivel relativo del mar, las cuales generan secuencias de cuarto orden. Las secuencias de cuarto y quinto orden tienen duraciones entre 150.000 y 40.000 años, respectivamente. Secuencias de tercer orden constituidas por secuencias de cuarto y quinto orden han sido documentadas en depósitos del Terciario al norte del Golfo de México (Van Wagoner et al. 1990).

Basado en los conceptos de Van Wagoneer et al. (1990), el miembro Lagunillas Inferior es interpretado como una secuencia transgresiva de tercer orden, constituida por el apilamiento de tres secuencias de cuarto orden, denominadas de base a tope, "A", "B", y "C". La figura 8 muestra los resultados del registro GLT ("Geochemical Logging Tool") tomado en el pozo VLD-1112, en donde se presenta la relación Boro/Iilita como un indicador de salinidad. En esta figura se evidencia claramente la existencia de las tres secuencias de cuarto orden dentro del miembro Lagunillas Inferior.

En general, el miembro Lagunillas Inferior representa un período de subida relativa del nivel del mar interrumpida por pequeñas fluctuaciones de la misma. Dichas fluctuaciones del nivel relativo del mar asociados al efecto de las mareas y/o a los periodos de inundaciones por ríos son responsables de la alta heterogeneidad que caracte-

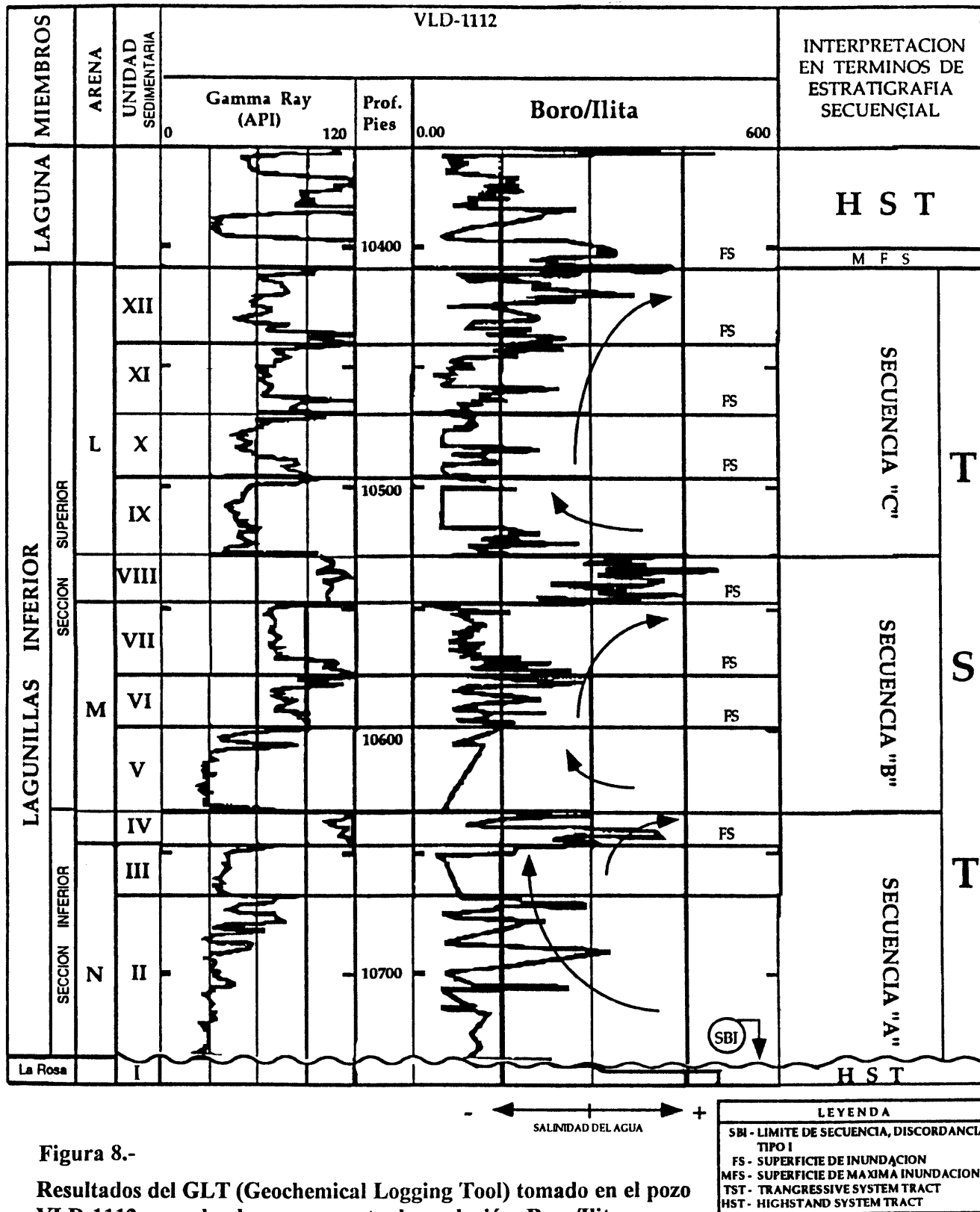


Figura 8.-

Resultados del GLT (Geochemical Logging Tool) tomado en el pozo VLD-1112, en donde se presenta la relación Boro/Iilita como indicador de salinidad y su relación con la estratigrafía secuencial.

riza al miembro Lagunillas Inferior. La base de las secuencias de cuarto orden ("A", "B", y "C") fueron interpretadas como superficies de erosión asociadas a descensos en el nivel relativo del mar. Depósitos de canales distributarios con alta influencia fluvial (unidades II y III) y depósitos de canales distributarios con alta influencia de mareas (unidades V, IXA, y IXC) fueron depositados sobre estas discordancias. Igualmente, depósitos de barras de marea del frente deltaico (unidades VI, VII, X, XI y XII) fueron depositados durante la transgresión. Por último, las lutitas interpretadas como depósitos de ambientes de laguna o relleno de bahía, ubicadas al tope de cada una de las secuencias de cuarto orden, representan eventos de inundación de la planicie deltaica o llanura de mareas.

El miembro Lagunillas Inferior también ha sido subdividido en dos intervalos en estudios anteriores. Lorente (1987) y Azpirixaga (1988) dividieron el miembro en dos, en base a la asociación de palinofacies y facies sedimentarias, respectivamente. Soto (1977) observó la misma diferenciación de asociación de facies dentro del miembro Lagunillas Inferior en el área del proyecto M-6 en la Costa Bolívar.

Infrayacente al miembro Lagunillas Inferior se encuentra la Formación La Rosa interpretada

como depósitos marinos someros. El contacto entre la Formación La Rosa y el miembro Lagunillas Inferior es abrupto, con un paleorelieve de pocos metros de profundidad. Adicionalmente, en los núcleos de los pozos VLD-315 y VLD-327 se evidencia la presencia de un paleosuelo, indicando emergencia o exposición subaérea. Así mismo, en los núcleos de los pozos VLD-219 y VLD-232 se observa un cambio brusco de palinofacies (Lorente 1987). Esta superficie fue interpretada como una discordancia tipo I con desarrollo de valles socavados de acuerdo a Vail et al. (1977) (Figs. 7 y 8).

El intervalo inferior o secuencia "A" del miembro Lagunillas Inferior representa una evolución de ambientes, desde un plano deltaico alto con dominancia fluvial a un plano deltaico bajo al tope del mismo (Figs. 7 y 8). Esta secuencia está constituida por las unidades II, III y IV. Las unidades II y III se interpretan como depósitos de canales fluviales/distributarios en un plano deltaico alto, rellenando paleovalles de dirección SSO-NNE, que evolucionan a depósitos de bahía o llanura de mareas (unidad IV) al tope del ciclo.

La parte superior del miembro Lagunillas Inferior comprende dos secuencias, "B" y "C", separadas por una superficie de inundación (unidad VIII). Cada secuencia representa una evolución de ambientes, desde un plano deltaico bajo a

un frente deltaico (con influencia de mareas) al tope del mismo (Figs. 7 y 8). La secuencia "B" está constituida por las unidades V, VI, VII y VIII. La unidad V se interpreta como depósitos de canales distributarios o de marea que luego evolucionan a depósitos de barra (unidades VI y VII) y por último a depósitos de laguna o bahía (unidad VIII). Esta última fue interpretada como una superficie de inundación.

La secuencia "C" está constituida por las unidades IX, X, XI y XII. La unidad IX se interpreta como depósitos de canales distributarios o de mareas que luego evolucionan a depósitos de barra (unidades X, XI y XII) y por último a depósitos de laguna o bahía (unidad XIII). Por encima del miembro Lagunillas Inferior (unidad XIII, unidad perteneciente al Miembro Laguna) se observa una lutita de espesor variable con características más marinas (bivalvos articulados *in situ*), la cual se interpreta como una superficie de

MODELO CONCEPTUAL DE UN DELTA DOMINADO POR MAREAS

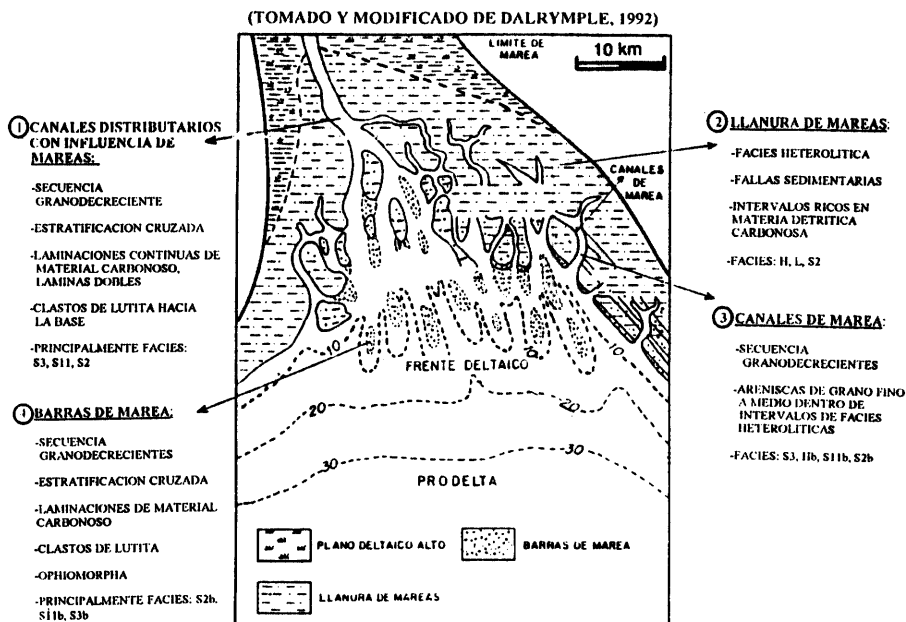


Figura 9.- Modelo sedimentológico para el miembro Lagunillas Inferior mostrando los principales subambientes presentes en un plano deltaico bajo y frente deltaico dominado por mareas (Tomado y modificado de Dalrymple 1992).

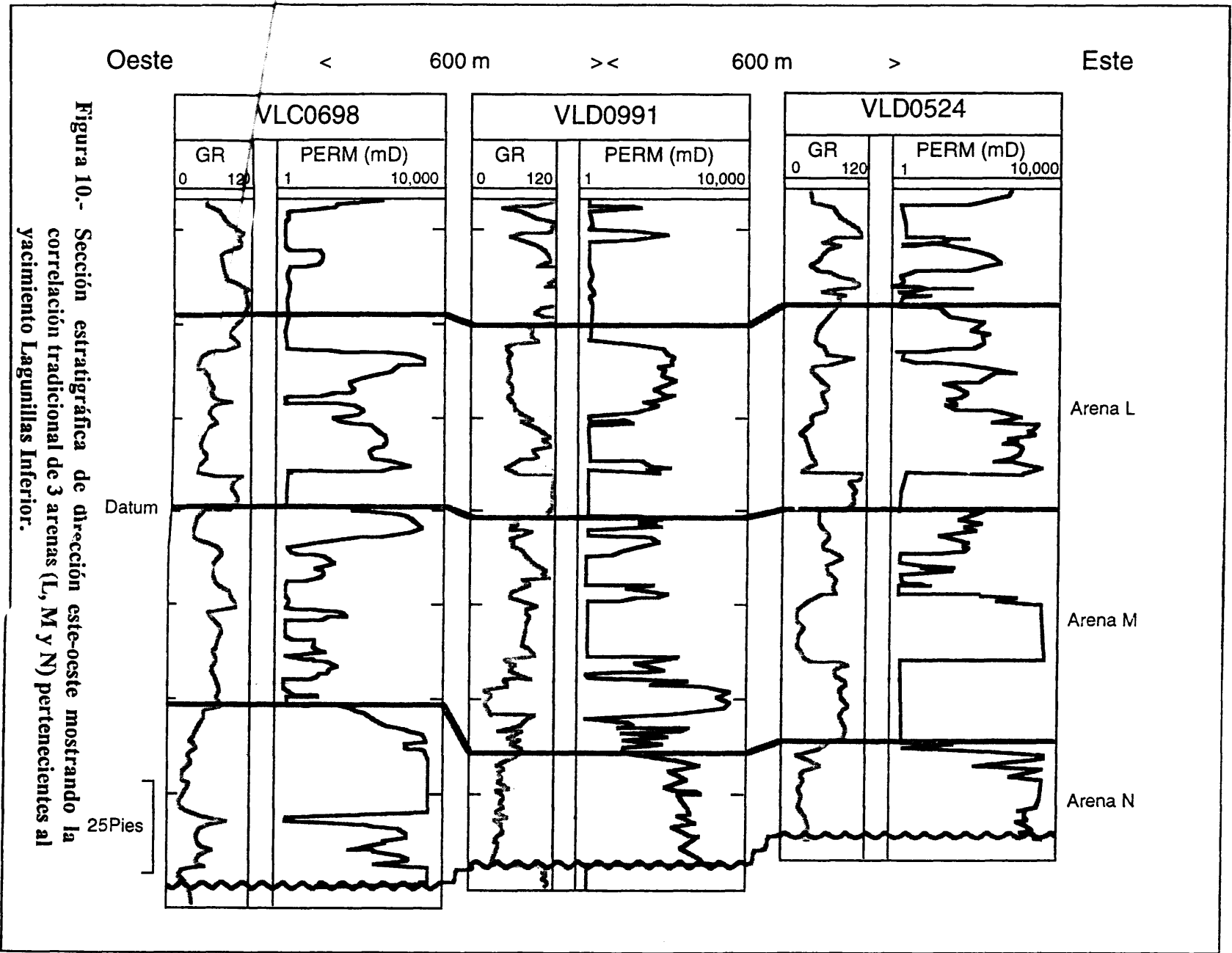


Figura 10.- Sección estratigráfica de dirección este-oeste mostrando la correlación tradicional de 3 arenas (L, M y N) pertenecientes al yacimiento Lagunillas Inferior.

máxima inundación ("MFS").

En base a las evidencias sedimentológicas como son el alto contenido de interlaminações de lutita y/o material detrítico carbonoso en las sucesiones granocrecientes, la presencia de láminas dobles de lutita ("double mud drapes") y la orientación de las barras (paralelo a los canales), se concluye que el ambiente de sedimentación del miembro Lagunillas Inferior fue en un delta dominado por mareas. La figura 9 muestra un modelo conceptual de un delta dominado por mareas con los depósitos asociados al mismo (Dalrymple 1992). Los depósitos del plano deltáico bajo dominado por mareas comprenden: (1) canales distributarios o de mareas, (2) llanura de mareas y (3) bahías o lagunas costeras. Los depósitos del frente deltáico comprenden: (1) barras de marea, (2) canales de marea sumergidos e (3) interbarras.

Extrapolación de la información sedimentológica para la construcción del modelo numérico

Basados en la calibración detallada núcleo/perfil se establece cuales son las respuestas de los perfiles a las diferentes unidades sedimentarias reconocidas en el intervalo estudiado. Esta información luego es extrapolada, a través de correlaciones, a aquellos pozos sin núcleos. La correlación fue extendida a 183 pozos ubicados en el área de los bloques III/IV. Es importante destacar que casi todos los pozos del área disponen de registros SP (potencial espontáneo) o GR (gamma ray), registros eléctricos LN/ASN (long normal y short normal) y MICROLOG (Microresistivity logs). Las curvas MINV y MNOR (curvas de microresistividad inversa y normal, respectivamente) fueron utilizadas para afinar los topes de las unidades sedimentarias (Gamero de Villarroel y Coll 1994).

Toda esta información, geológica/sedimentológica, junto con las evaluaciones petrofísicas, fue transferida y montada en STRATAMODEL (paquete utilizado para modelaje de yacimientos en tres dimensiones) para la generación de un modelo numérico de doce (12) unidades en 3 dimensiones.

El yacimiento Lagunillas Inferior ha sido tradicionalmente considerado como homogéneo vertical y lateralmente, conformado por tres cuerpos de areniscas (Fig. 10). En este trabajo, el yacimiento es redefinido a un nuevo modelo de doce (12) unidades sedimentarias (Fig. 11), en donde se evidencia la heterogeneidad del yacimiento que responde a las anomalías de producción exis-

tentes en el área. Estos resultados traen como consecuencia un cambio en el plan de explotación de dicho yacimiento, así como también la ubicación de posibles áreas potenciales para la ubicación de pozos horizontales, pozos interespaciados geológicamente optimizados y pozos altamente inclinados.

Modelo Sedimentológico

El espesor total del miembro Lagunillas Inferior varía desde aproximadamente 405 pies al sur de los bloques III/IV a 230 pies al norte de los mismos. Adicionalmente, el miembro Lagunillas Inferior se hace más arcilloso y las areniscas más delgadas y discretas hacia el norte del área (INTERA, 1995). Esto indicaría que la dirección de sedimentación durante la deposición del miembro Lagunillas Inferior fue del SSO hacia el NNE.

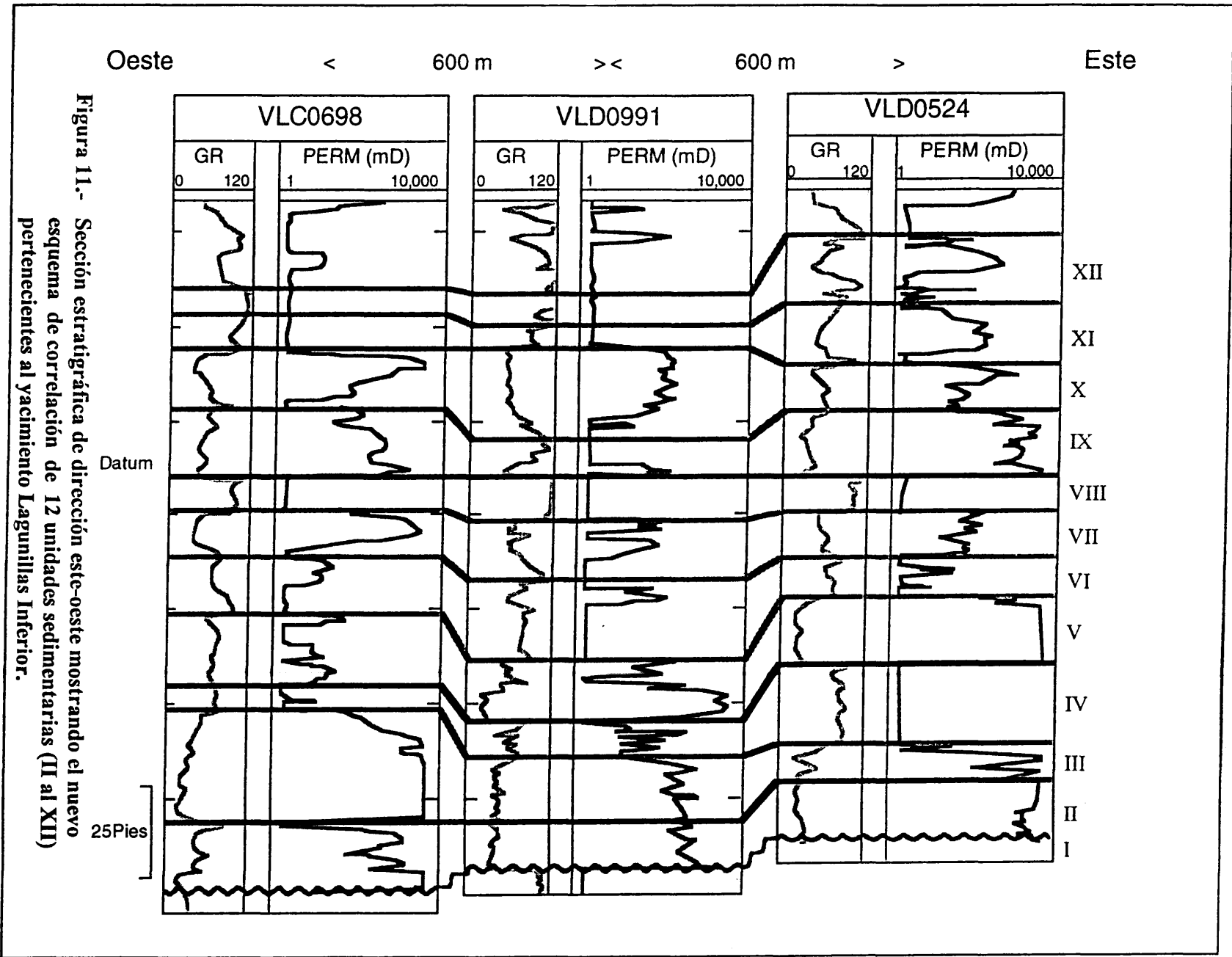
Basado en los datos de producción, se identificaron ocho (8) unidades de flujo, denominadas de base a tope, II/III, V, VI, VII, IX, X, XI y XII (Fig. 12). La figura 12 muestra los parámetros petrofísicos (porosidad (ϕ) permeabilidad (K)) estimados por unidad de flujo en el pozo VLD-1112. Se observa que las mejores unidades de flujo en cuanto a los parámetros petrofísicos son las siguientes: (a) unidades II/III (porosidad promedio: 24%, y permeabilidad promedio: 1585 md), (b) unidad V (porosidad promedio: 22%, y permeabilidad promedio: 1498 md) y (c) unidad IX (porosidad promedio: 23%, y permeabilidad promedio: 306 md). Así mismo, las unidades VI, VII, X, XI, y XII son las de menor calidad en cuanto a las propiedades petrofísicas. Sin embargo, dichas unidades son objetivos importantes en el plan futuro de explotación de este campo debido a que son areniscas arcillosas de baja resistividad ("low resistivity pay zones") con posibilidades de contener petróleo dejado atrás ("bypassed oil") (Fig. 13) (Gamero de Villarroel y Coll 1994; Córdoba et al. 1994; Gamero de Villarroel et al. 1995a; 1995b). A continuación se describe el modelo sedimentológico por unidad sedimentaria

Unidad Sedimentaria I:

Esta unidad consiste de lutitas grises, conchíferas, interpretadas como depósitos marinos someros. La unidad corresponde al tope de la Formación La Rosa.

Unidad Sedimentaria II:

El contacto inferior fue interpretado como una discordancia del tipo I entre la Formación La



Rosa y el miembro Lagunillas Inferior. Esta unidad es interpretada como depósitos de canales distributarios con alta influencia fluvial, relleno de un sistema de paleovalles de geometría acanalada y de dirección SSO-NNE (Fig. 14). En dicha figura se evidencia la existencia de dos sistemas de paleovalles separados por un alto paleotopográfico de dirección SO-NE.

Las variaciones en espesores de esta unidad son una función de la paleotopografía, producto de la erosión ocurrida previo a la sedimentación del miembro Lagunillas. De acuerdo a los datos de producción, esta unidad es productora de hidrocarburo. Se interpreta un contacto agua-petróleo en los pozos ubicados al sur del área de estudio.

Unidad Sedimentaria III:

La unidad III es interpretada como depósitos de canales distributarios relleno de un sistema de paleovalles de geometría acanalada y de dirección SSO-NNE (Fig. 15). Al igual que en la unidad II se observan dos sistemas de paleovalles de dirección SSO-NNE y un alto paleotopográfico en el centro del área de estudio.

De acuerdo a los datos de producción, esta unidad es productora de gas en algunas zonas y está en comunicación con la unidad II (Figs. 12 y 13). Ambas unidades (II y III) conforman una sola unidad de flujo evidenciado por datos de presión (Córdoba et al. 1994).

Unidad Sedimentaria IV:

Es un intervalo lutítico/heterolítico (facies arcillosas, Hb, H y L) depositado en una laguna restringida, sin embargo existen algunas áreas en donde hay desarrollo de pequeños lóbulos de arenas arcillosas, los cuales podrán representar relleños de llanura de mareas. Basados en los análisis de Boro/Ilita se interpreta que dichas lutitas fueron depositadas en ambientes de agua salobre (Bryant y Gamero de Villarreal 1994). Adicionalmente, la abundancia de arcillas de ilita y de siderita en las lutitas es típica de la diagénesis temprana de las lutitas depositadas en ambientes de agua salobre (Kantorowicz 1990 in Bryant y Gamero de Villarreal 1994). Este intervalo aparentemente es continuo en todo el área de estudio, aunque en algunas áreas está erosionado por el sistema de canales correspondientes a la unidad suprayacente V

Unidad Sedimentaria V:

Esta unidad es interpretada como depósitos de canales distributarios o de mareas de geometría acanalada y de dirección SSO-NNE en un

plano deltáico bajo (Fig. 16). En dicha figura se evidencia la existencia de dos sistemas de canales separados por un alto paleotopográfico de dirección SO-NE (similar al observado en la unidad II). La unidad V se hace más arcillosa con un incremento de bioturbación hacia el tope. Esto indica una inundación marina rápida del sistema de canales.

Existen evidencias, en la distribución de fluidos y diferencias de presión, de que estas arenas están aisladas de las arenas de las unidades II y III por las lutitas sellantes de la unidad IV. Sin embargo, como se dijo anteriormente, existen ventanas de comunicación entre las unidades II/III y V. Esta unidad, en la mayoría de los pozos, produce con un alto RGP (relación gas/petróleo) y por tanto es de alto riesgo en la explotación futura de este campo (Fig. 13).

Unidad Sedimentaria VI:

Esta unidad es interpretada como depósitos de barras de marea (zona distal) de geometría alargada y de dirección SSO-NNE en un frente deltáico bajo (Fig. 17). Dicha interpretación es evidenciada por la presencia de láminas dobles de arcilla ("double mud drapes"), abundantes interlaminações de lutitas y la orientación de la barra. Las barras se encuentran orientadas en la misma dirección de los canales (ver sección de Interpretación de unidades sedimentarias y Fig. 9).

En cuanto a la distribución de fluidos se interpreta esta unidad como posible productora de hidrocarburos y potencial como futuro objetivo para la perforación horizontal (Fig. 13). Es importante destacar que en aquellas zonas en donde esta unidad se hace más arenosa hay alto riesgo de gas debido a que permitirá la comunicación entre las unidades V (productora de gas) y VII (productora de petróleo).

Unidad Sedimentaria VII:

Esta unidad es interpretada como depósitos de barras de marea de geometría alargada de dirección SSO-NNE en un frente deltáico dominado por mareas (Fig. 18). Las evidencias para dicha interpretación son las mismas expuestas en la unidad sedimentaria VI.

Esta unidad es productora de hidrocarburos (ejemplo: pozo VLD-355 produce 450 BND (barriles netos diarios)) y potencial como futuro objetivo para la perforación horizontal (Fig. 13). Sin embargo, existen áreas en donde podrá existir un riesgo de producción de gas. Justamente en aque-

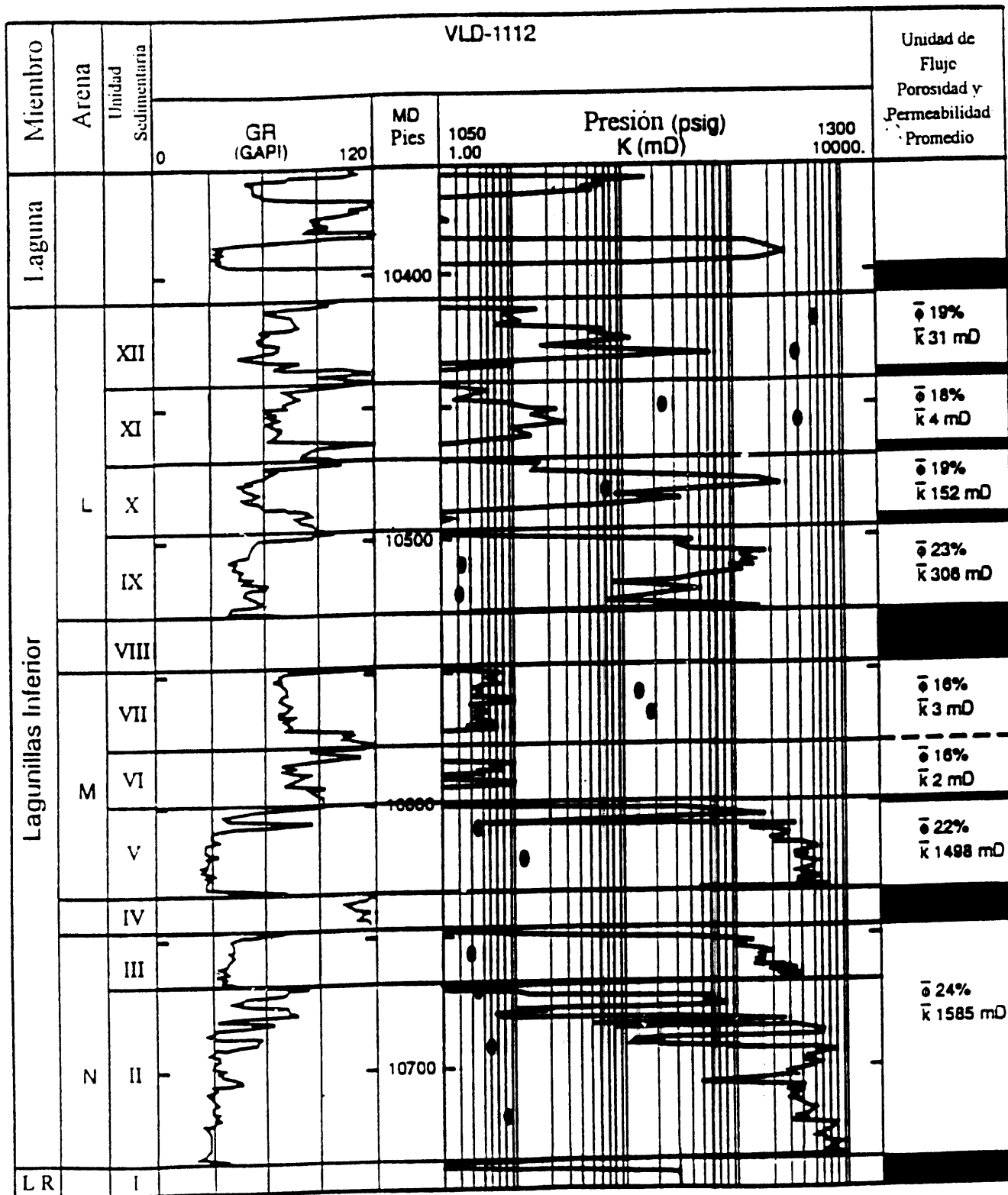


Figura 12.- Parámetros petrofísicos (ϕ , K) estimados para cada una de las unidades de flujo en el pozo VLD-1112.

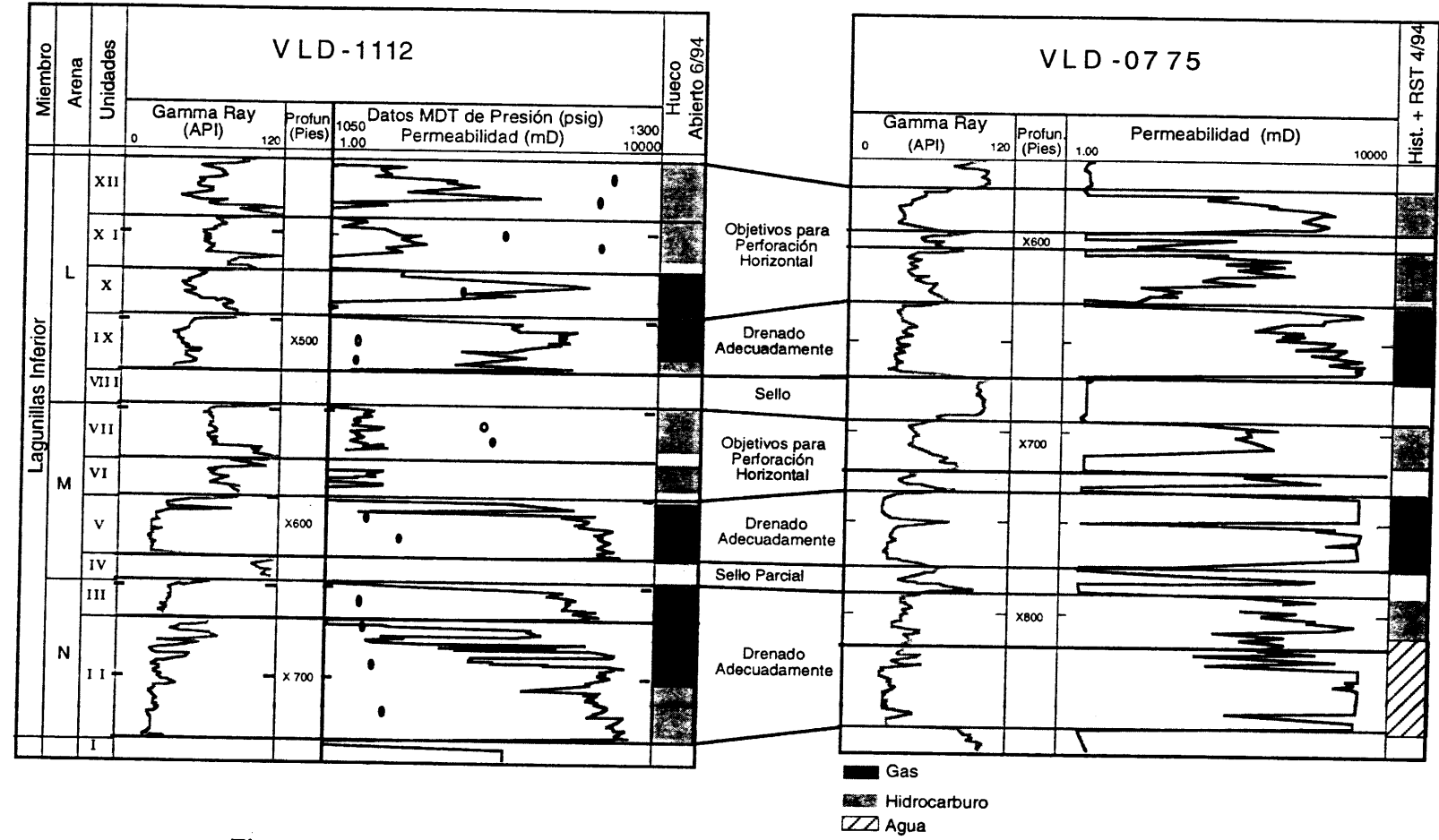


Figura 13.- Sección estratigráfica entre los pozos VLD-1112 y VLD-775, integrando los datos de producción, presión, distribución de fluidos e intervalos prospectivos para pozos horizontales.

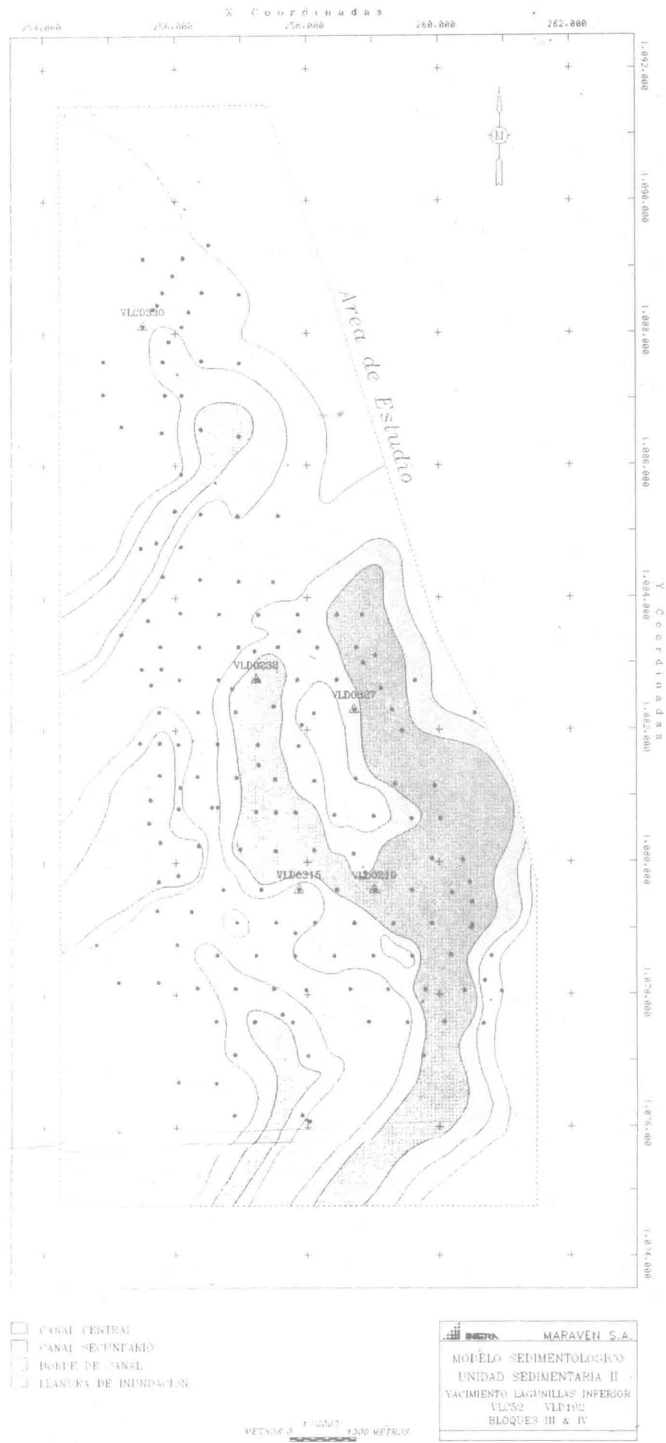


Figura 14.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria II.

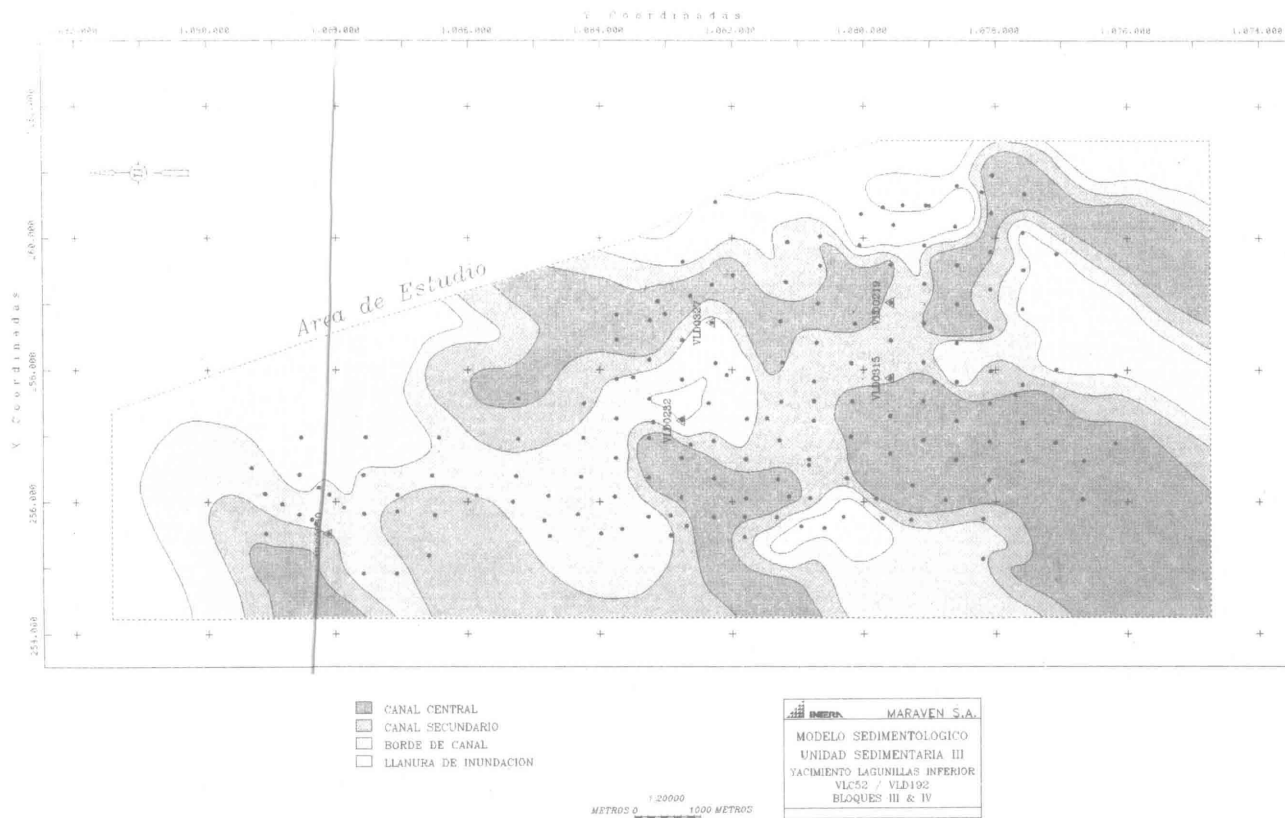


Figura 5.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria III.

llas áreas en donde la unidad VI (infrayacente) se hace arenosa-arcillosa permitiendo la comunicación entre la unidad V (productora de gas) y la unidad VII (productora de petróleo).

Unidad Sedimentaria VIII:

Intervalo lutítico interpretado como depósitos de laguna costera o depósitos de relleno de bahía. Esta unidad representa una barrera importante a la migración vertical de fluidos entre las arenas de las unidades VII y IX.

Unidad Sedimentaria IX:

Esta unidad descrita por Gamero de Villarroel et al. (1995a) fue subdividida posteriormente en IXA, IXB, y IXC, debido a que la misma hacia el norte del área se subdivide en dos arenas separadas (IXA y IXC) por un intervalo lutítico (IXB) (INTERA 1995).

Unidad Sedimentaria IX A:

La unidad IXA representa la unidad basal del tercer ciclo transgresivo C (ver interpretación). La unidad IXA presenta una base abrupta y altas resistividades, similar a la unidad IXC. Esta unidad no ha sido recuperada por núcleos. Sin embargo, de la respuesta de los perfiles, se podrá interpretar como depósitos de canal de marea que culmina con depósitos del frente deltáico. La aparición de esta unidad se encuentra restringida a una pequeña área al norte de los bloques III/IV.

Unidad Sedimentaria IX B:

La unidad IXB consiste de una lutita que separa las unidades IXA y IXC. La misma está presente al norte del área de estudio.

Unidad Sedimentaria IX C:

Esta unidad es interpretada como depósitos de canales distributarios o de mareas de geometría acanalada y de dirección S-N en un plano deltáico bajo (Fig. 19). La unidad IXC se hace más arcillosa con un incremento de bioturbación hacia el tope. Esto indica una inundación marina rápida del sistema de canales. Es importante mencionar que en el pozo VLD-1112 se registraron altas concentraciones de siderita a este nivel, el cual fue interpretado como asociados a desarrollos de suelos (sideríticos) previo a la inundación de estos depósitos (Bryant y Gamero de Villarroel 1994).

Este intervalo, al igual que la unidad V, produce con un alto RGP (relación gas/petróleo) en la mayoría de los casos y por tanto representa un alto riesgo en la explotación futura de este campo (Fig. 13).

Unidad Sedimentaria X:

Esta unidad es interpretada como depósitos de barras de marea de geometría alargada de dirección SSE-NNO en un frente deltáico dominado por mareas (Fig. 20). Las evidencias para dicha interpretación son las mismas expuestas en la unidad sedimentaria VI.

Este intervalo ha sido producido selectivamente en 5 pozos únicamente. Sin embargo, existe riesgo de gas en aquellas áreas en donde la lutita entre las unidades IX (productora de gas principalmente) y X no es sellante. Al igual que las unidades VI y VII esta unidad podrá representar un objetivo importante para la perforación horizontal (Fig. 13).

Unidad Sedimentaria XI:

Esta unidad es interpretada como depósitos de barras de marea de geometría alargada de dirección SSE-NNO en un frente deltáico dominado por mareas (Fig. 21). Las evidencias para dicha interpretación son las mismas expuestas en la unidad sedimentaria VI.

Este intervalo nunca ha sido producido selectivamente. Sin embargo, dada las características de la roca (presencia de petróleo remanente o "bypassed oil") esta unidad es un objetivo potencial para la perforación horizontal o altamente inclinada (Fig. 13).

Unidad Sedimentaria XII:

Esta unidad es interpretada como depósitos de barras de marea de geometría alargada de dirección SSO-NNE en un frente deltáico dominado por mareas (Fig. 22). Las evidencias para dicha interpretación son las mismas expuestas en la unidad sedimentaria VI.

Este intervalo nunca ha sido producido selectivamente. Sin embargo, dada las características de la roca, y las altas presiones presentes (alrededor de 1200 lpc (libras por pies cúbicos), resultados del MDT ("Modular formation Dynamic Tester") en el pozo VLD-1112) esta unidad es un objetivo importante para la perforación horizontal o altamente inclinada (Fig. 13).

Conclusiones

1) El yacimiento Lagunillas Inferior, tradicionalmente considerado como homogéneo y constituido por tres arenas (L, M, y N), ha sido redefinido y detallado a un nuevo modelo de 12 unidades (I al XII) más heterogéneo. Estos resultados traerán como consecuencia un nuevo cambio en el plan de

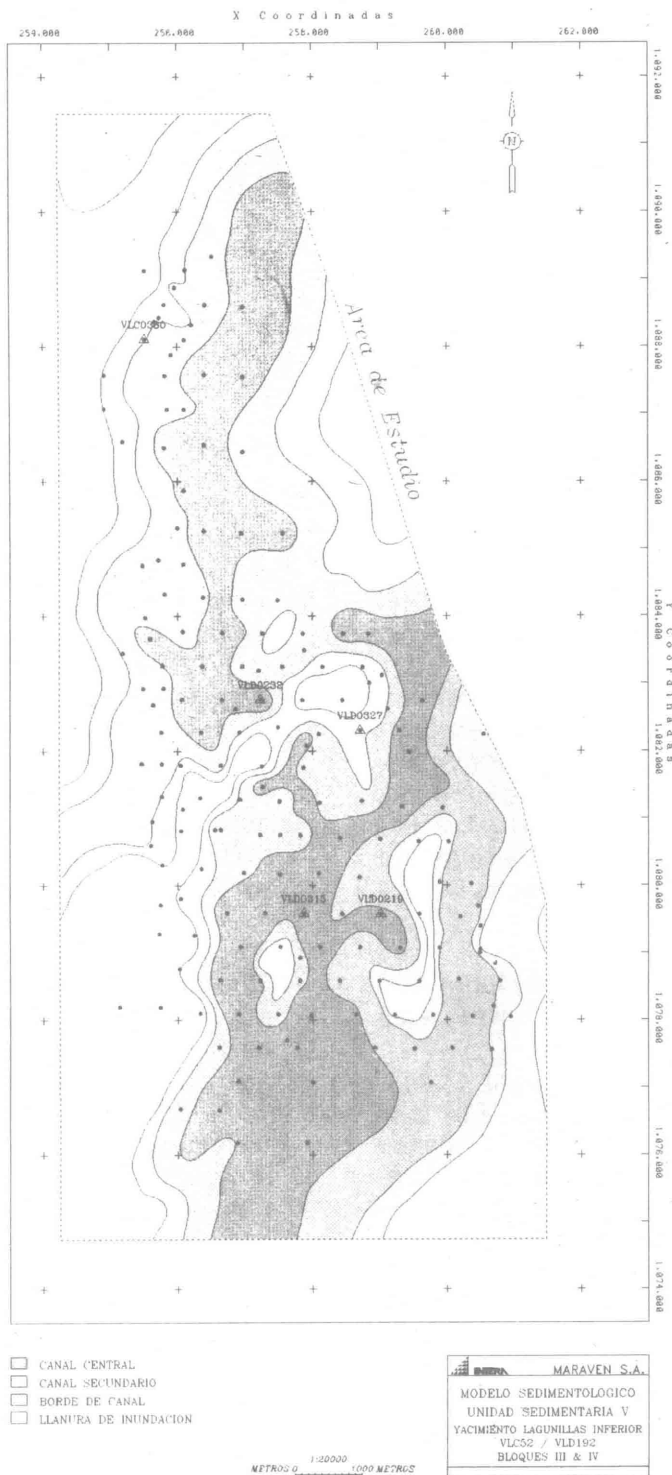


Figura 16.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria V.

explotación del yacimiento en el área.

2) El yacimiento Lagunillas Inferior fue interpretado como una secuencia transgresiva de tercer orden constituida por el apilamiento de tres ciclos transgresivos o secuencias de cuarto orden denominadas de base a tope, "A", "B", y "C".

3) Se identificaron 12 unidades sedimentarias denominadas, de base a tope, I al XII. El intervalo inferior del yacimiento corresponde a la secuencia "A" y está constituida por las unidades II, III y IV. El intervalo superior del yacimiento está conformado por dos secuencias ("B" y "C"). La secuencia "B" está constituido por las unidades V al VIII y la secuencia "C" por las unidades IX al XII.

4) El contacto entre la Formación La Rosa y el miembro Lagunillas Inferior es interpretado como una discordancia tipo I con desarrollo de valles socavados y paleosuelos.

5) Las unidades sedimentarias VIII y XIII representan superficies de inundación ("FS" y "MFS", respectivamente) que pueden utilizarse como "datum" en secciones estratigráficas.

6) Las unidades sedimentarias II, III, V y IX pueden ser drenadas mediante pozos verticales convencionales o pozos interespaciados geológicamente optimizados (de acuerdo a los modelos sedimentológicos).

7) Las unidades sedimentarias VI, VII, X, XI, y XII son caracterizadas como areniscas de baja resistividad ("Low Resistivity Pay Zones") e identificadas como objetivos potenciales para la perforación horizontal o altamente inclinada.

Recomendaciones

1) Elaborar un nuevo esquema de explotación para el yacimiento Lagunillas Inferior, tomando en cuenta el nuevo modelo de 12 unidades.

2) Identificar intervalos de baja resistividad conformados por facies arenosa-arcillosas S11b, S1 y S2b para la optimización de futuros cañoneos.

3) Considerar las unidades sedimentarias VI, VII, X, XI, y XII como posibles objetivos para la perforación horizontal o altamente inclinada ya que los mismos contienen una cantidad de hidrocarburo dejado atrás ("bypassed oil").

4) Ubicar y elaborar los mapas de depósitos de rellenos de valles socavados ya que constituyen excelentes prospectos por la presencia de sellos laterales y trampas estratigráficas.

5) Se recomienda la perforación de pozos de desarrollo con interespaciado geológicamente optimizado en las unidades sedimentarias II, III, V y IX en las áreas de permeabilidades moderadas, de acuerdo al modelo sedimentológico.

6) Utilizar la lutita al tope de la unidad XIII como marcador o "datum" en las secciones estratigráficas elaboradas en este campo.

7) Ejecutar un estudio regional de la Formación Lagunillas ya que podrá representar un excelente prospecto exploratorio en el Lago de Maracaibo.

Agradecimientos

Se le agradece a Maraven S. A. su gentileza en permitir la publicación del presente trabajo. A Fernando Chacartegui, Franklin Yoris, Argenis Rodrigez, María Lourdes Díaz de Gamero y a Mounir Mahmoudi por sus valiosos comentarios para el mejoramiento del manuscrito. A Guillermo Salas por su ayuda incondicional en la elaboración de las figuras presentadas en este trabajo.

Referencias

- Allen, G. P., Laurier, D. y Thouvenen, J. 1979. Étude Sedimentologique du Delta de la Mahakam: Compagnie Francaise des Pétroles: Notes et Memoires 15, 156 p.
- Allen, G. P. 1992. Sequence Stratigraphic Analysis in Clastic Sediments, TOTAL Centre Scientifique et Technique, 36 p.
- Azpirixaga, I. 1988. Estudio Sedimentológico de los Miembros Lagunillas Inferior y Laguna, Bloque IV, Lago de Maracaibo, Maraven S.A., Informe Inédito, 24 pg.
- Bryant, I. D. y Gamero de Villarroel, H. 1994. Sedimentology of the Lower Lagunillas Reservoir, Pilot Area, Bloque IV, Lake Maracaibo, Venezuela. SDR Research Note, Informe Inédito, 43 pg.
- Chacartegui, F. 1985. Sedimentación y diagenesis de la Formación Lagunillas en el área de Ceuta. VI Congreso Geológico Venezolano, Memorias, vol. I, p. 226-276.
- Córdoba, P., Coll M., C., Gamero de Villarroel, H., Jiménez, Z. y León, K. 1994. Estudio Integrado sobre Factibilidad Técnico/ Operacional para la Perforación Horizontal, Yacimiento Lagunillas Inferior, Bloques III/ IV. Maraven S. A., Informe Inédito, 150 pg.
- De Boer, R. L., Oost, A. P. y Visser, M. J. 1989. The diurnal inequality of the tide as a parameter for recognizing tidal influences. Journal of Sedimentary Geology, v. 59, p. 912-921.
- De Mena, J., Coll M., C., Gamero de Villarroel, H., Labarca, L. y León, K. 1994. Estudio Integrado para la Evaluación del Nuevo Modelo Geológico del Yacimiento Lagunillas Inferior, Bloques III/ IV. Maraven S. A., Informe Inédito, 71 pg.
- Elliot, T. 1986. Deltas. En: Reading, H. G. ed.

- Sedimentary Environments and Facies. Blackwell Scientific Publication, p.113-154.
- Gamero deVillarroel, H. y Coll, C. 1994. Detailed Core-Log Calibration for Electrofacies Identification as a Tool for Clastic Characterization, Lower Lagunillas Member, Maracaibo Basin. AAPG Annual Convention 1994.
- Gamero de Villarroel, H. Bryant, I, Higgs, R., y Coll, C. 1995a. Estudio Sedimentológico del Yacimiento Lagunillas Inferior, en un área piloto, Bloque IV, Lago de Maracaibo. Maraven S. A., Informe Inédito, 59 pg.
- Gamero de Villarroel, H. y Coll, C. 1995b. Application of Sequence Stratigraphic Re-interpretation of Lower Lagunillas Member to Further Development of Block IV. AAPG Annual Convention, March 5-8, 1995.
- Gamero de Villarroel, H. Luneau, B. y Coll, C. 1995c. Estudio Sedimentológico del Yacimiento Laguna, Informe Preliminar, Bloques III/IV, Lago de Maracaibo. Maraven S. A., Informe Inédito, 32 pg.
- Homewood, P. 1981. Facies et Environnement de dépôt de la Molasse de Fribourg. Ecl. Geol. Helv., v. 74, p. 29-36.
- Homewood, P. W. y Allen, P. A. 1981. Wave-, Tide-, and Current controlled sandbodies of Miocene Molasse, Western Switzerland. American Association Petroleum Geologists Bulletin, v. 65, p: 2534-2545.
- INTERA. 1995. Integrated Reservoir Study of the Laguna/Lower Lagunillas Reservoirs, VLC-52/VLD-192, Blocks III/IV, Lake Maracaibo, Venezuela. Intera Technologies Information, Internal Report, in progress.
- L. E. V. 1970. Léxico Estratigráfico de Venezuela, 2da. edición, Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Boletín de Geología, Publ. Especial N° 4.
- Lorente, M. A. 1987. Estudio Palinológico de los Miembros Lagunillas Inferior y Laguna de la Formación Lagunillas, Pozos VLD-219X y VLD-232X, Bloque IV. Maraven S. A., Informe Inédito, 29 pg.
- Mitchum, R. M. 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Par1: Glossary of Terms Used in Seismic Stratigraphy. En: Payton, C. E., ed., Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration. American Association of Petroleum Geologist, Memoir 26, p. 205-212.
- Ochoa, R. E. 1973. Sedimentological study of the SW Bachaquero. Compañía Shell de Venezuela, Informe Inédito, 12 pg.
- Pemberton, S. G., MaCeachern, J. A. y Frey, R. W. 1992. Trace Fossil Facies Models: Environmental and Allostratigraphic Concepts. En: Walker, R. G. y James, N. P. eds. Facies Models. Geological Association of Canada, p. 47-72.
- Pittelli, R. y De Digiaco, E. 1990. Análisis Bio-estratigráfico paleoambiental del Campo Ceuta (Areas 4, 8, Tomoporo) y Bloque XI. Maraven S. A., Informe Inédito, 26 pg.
- Posamentier, H. W. y Vail, P. R. 1988. Eustatic Controls on Clastic Deposition II, Sequence and Systems Tracts Models, En: Wilgus, C. K., et al., eds. Sea-Level Change: an Integrated Approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 42, p. 125-154.
- Ramos, A., y Galloway, W. E. 1990. Facies and sand-body geometry of the Queen City (Eocene) Tide-Dominated Delta-margin Embayment, NW Gulf of Mexico Basin. Sedimentology, v. 37 (6): 1079-1098.
- Rodriguez, A. 1986. Características Sedimentológicas del Eoceno C-455 en el Pozo VLC-812, BLOQUE III, Lago de Maracaibo y su Relación con Exploración y Producción. Maraven S. A., Informe Inédito, 45 pg.
- Rull, V. 1994. Correlaciones Palino-Estratigraficas del Mioceno en los Pozos VLC-330, VLD-315 y VLD-382 (Bloques III/IV, Area de Bachaquero, Lago de Maracaibo). Maraven S. A., Informe Inédito, 19 pg.
- Shanley, K. W., McCabe, P. J. y Hettlinger, R. D. 1992. Tidal Influence in Cretaceous Fluvial Strata from Utah, U.S.A: a Key to Sequence Stratigraphic Interpretation. Sedimentology, v. 39, p. 905-930.
- Schlumberger-Maraven. 1994. Pilot Reservoir Characterization Study of the Lower Lagunillas Member, Central Bloque IV, Lake Maracaibo, Venezuela: Methodology, Results and Recommendations. Schlumberger Doll Research, Internal Report, 43 pag.
- Soto, C. 1977. Estudio Geológico Sedimentológico para un Proyecto de Recuperación Secundaria en la Costa Bolivar. V Congreso Geológico Venezolano, 1977, Memoria Tomo IV, 1493-1503.
- Sutton, F. A. 1946. Geology of Maracaibo basin, Venezuela. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 30 (10) : 1621-1635.
- Van Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M. and Rahmanian, V. D. 1990. Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores,

and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies. American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series, No. 7, 55p.

Vail, P. R., Mitchum, R. M., y Thompson III, S. 1977. Seismic Stratigraphy and global Changes of sea level, Part 3 : Relative Changes of Sea

Level from Coastal Onlap, En: Payton, C. E. ed. Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26, p. 63-97.

Visser, M. J. 1980. Neap-Spring Cycles reflected in Holocene Subtidal Large-Scale Bedform Deposits: a Preliminar note. Geology, v. 8, p. 543-546.

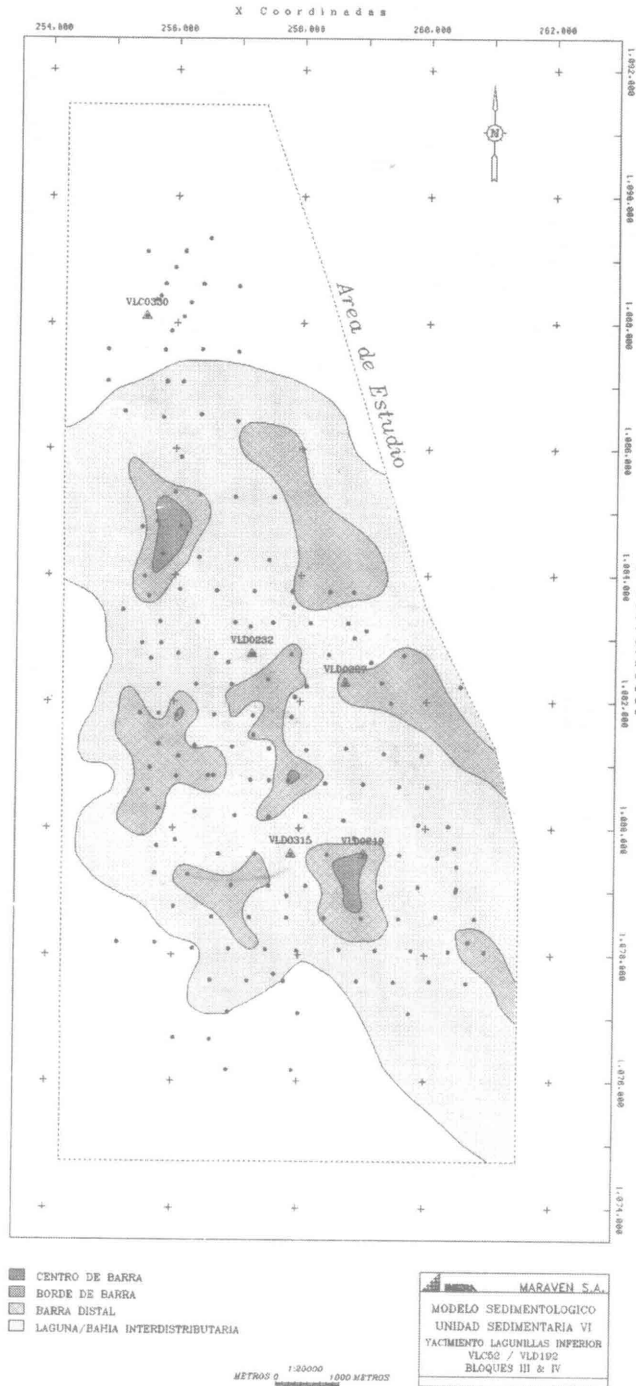


Figura 17.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria VI.

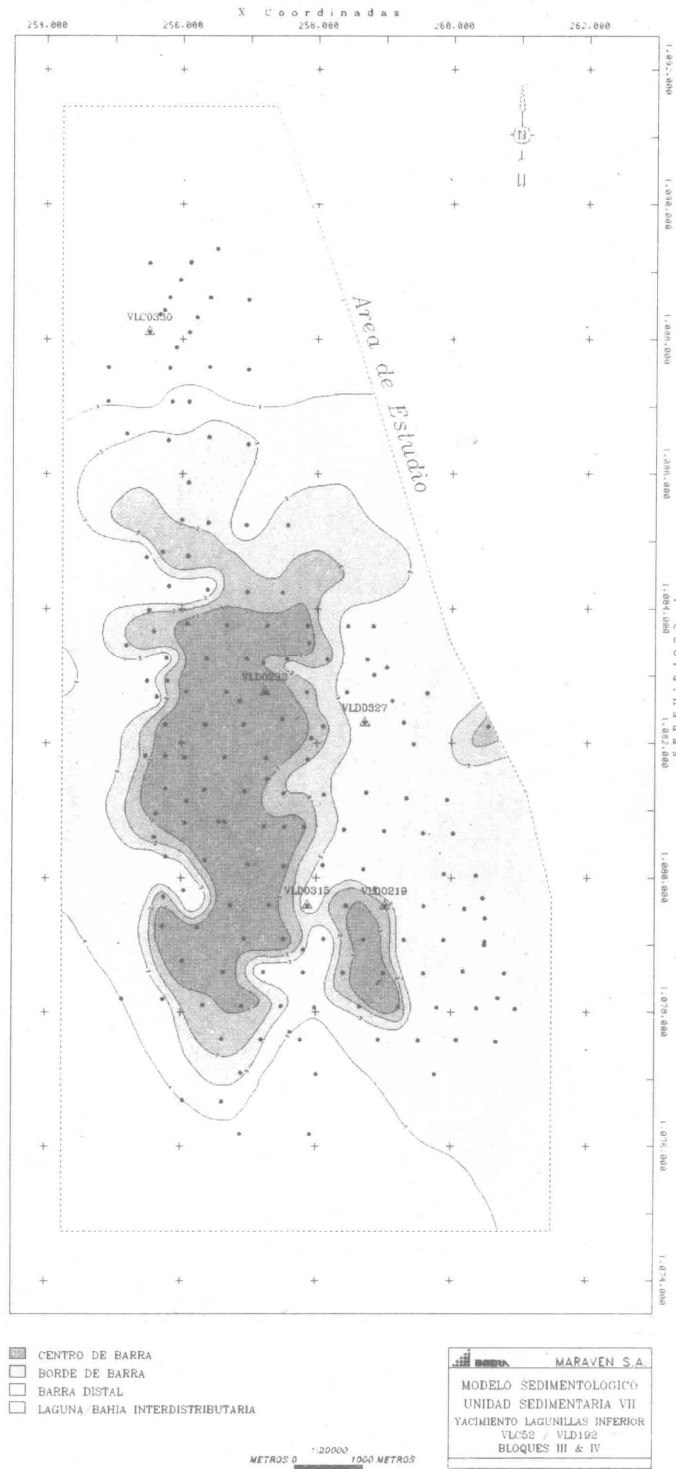


Figura 18.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria VII.

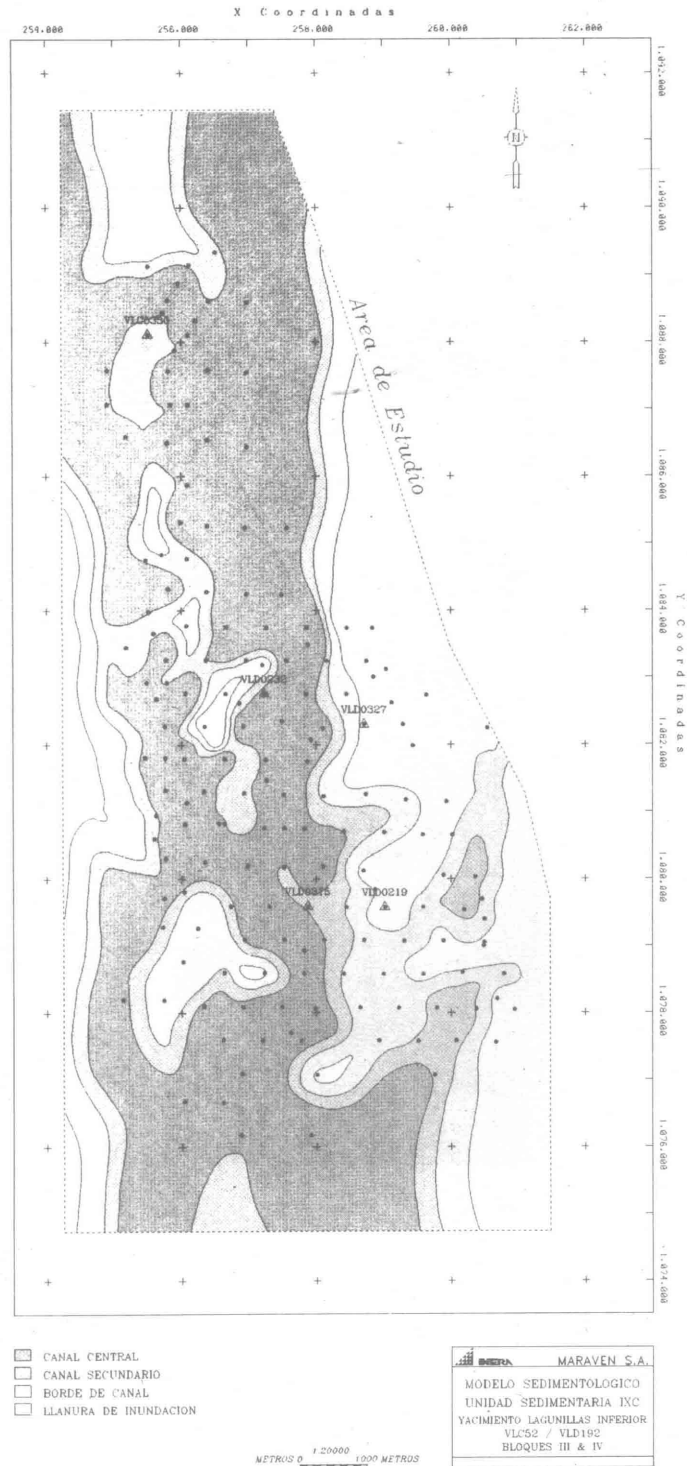


Figura 19.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria IXC.

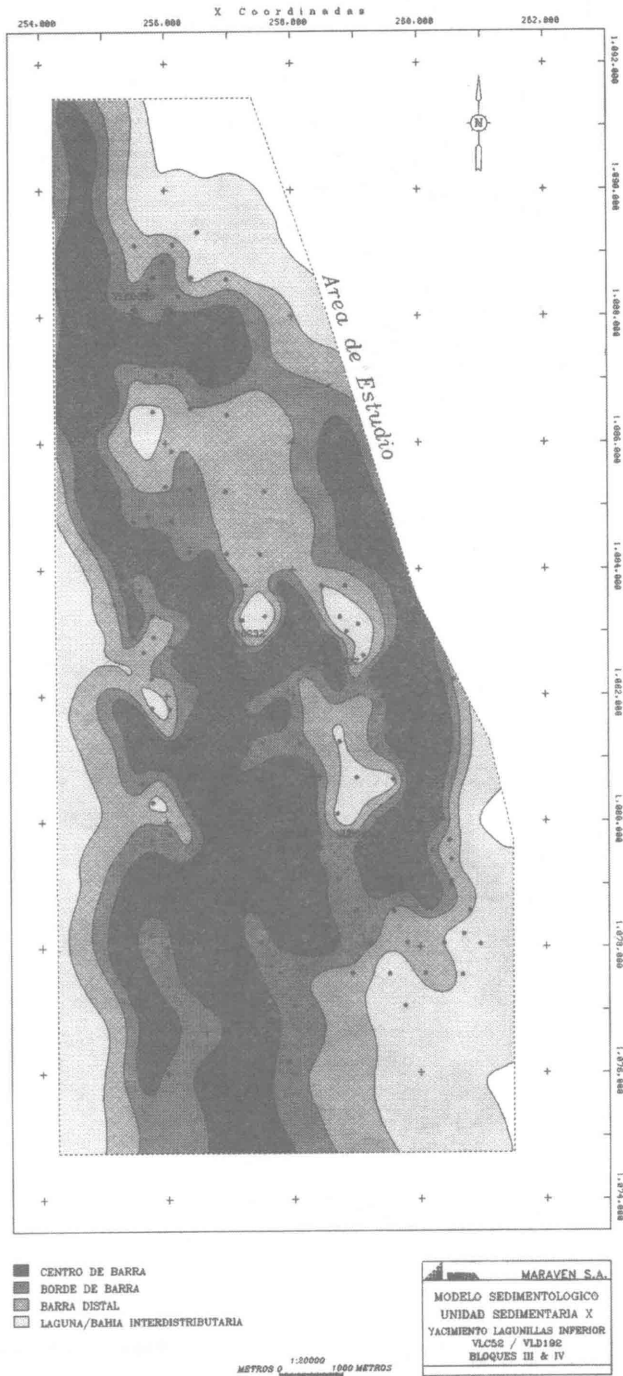


Figura 20.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria X.

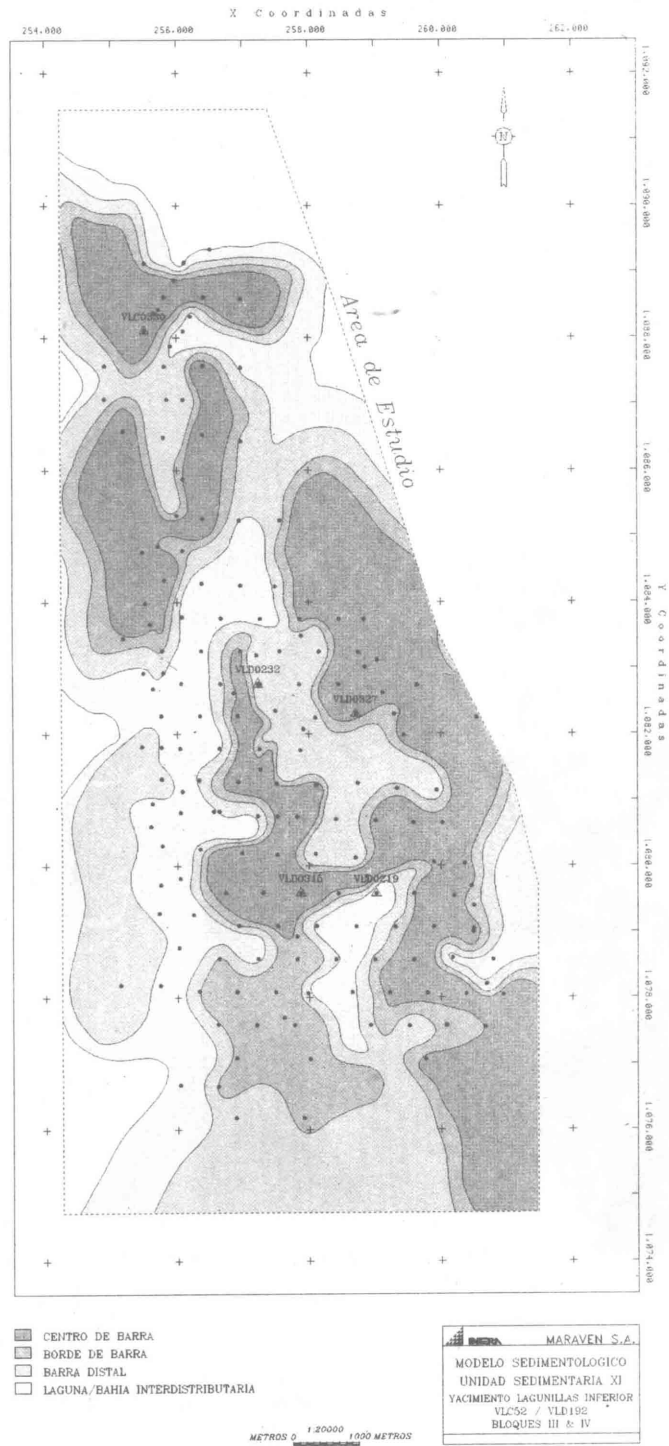


Figura 21.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria XI.

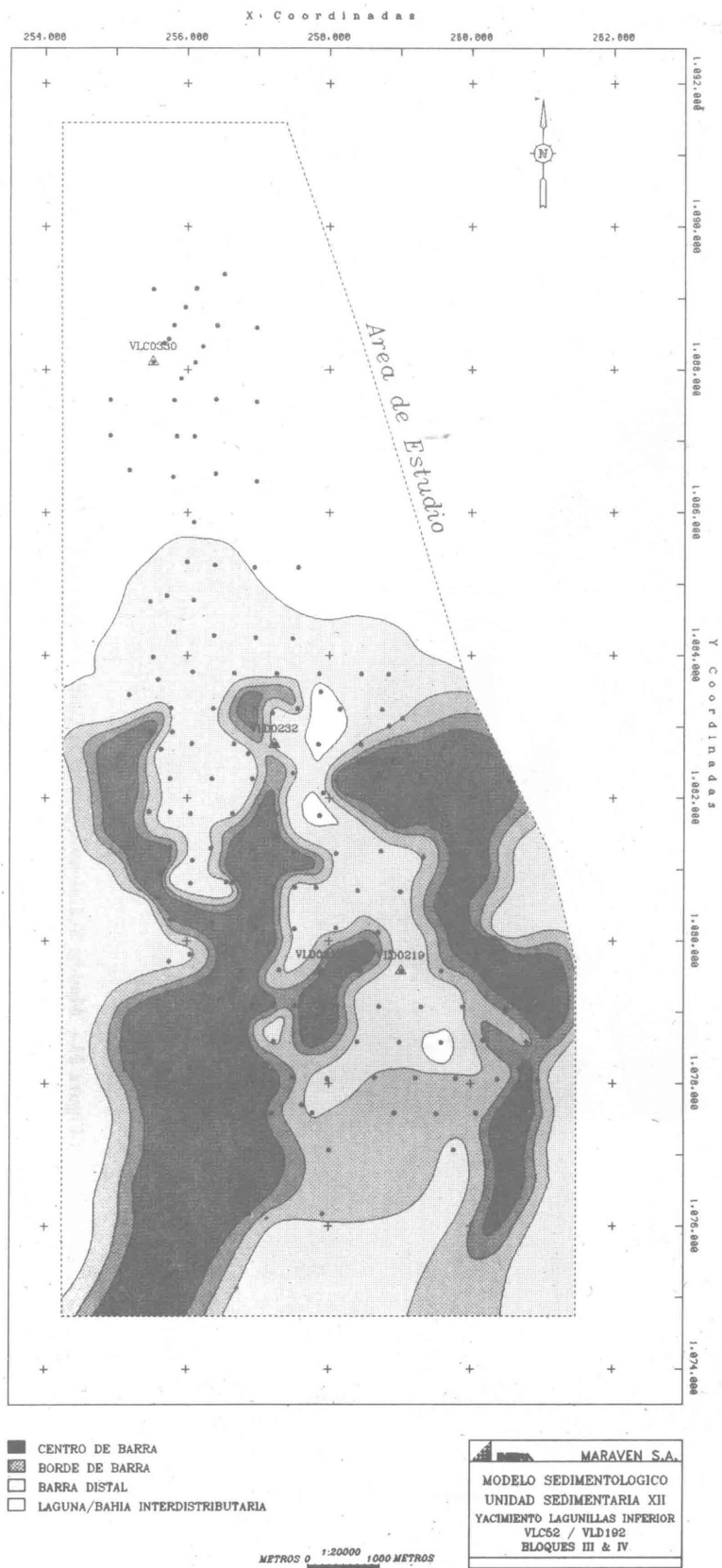


Figura 22.- Modelo Sedimentológico de la Unidad Sedimentaria XII.