

GEOLOGIA DE YACIMIENTOS

DETERMINACION DE ZONAS DE OPTIMA PERMEABILIDAD EN EL YACIMIENTO

LAGUNA DEL POST-EOCENO, CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO ⁽¹⁾

Gonzalo A. Gamero ⁽²⁾

RESUMEN

Este trabajo de geología de yacimientos tiene como objeto presentar un método por medio del cual se puedan determinar zonas de mayor calidad y por supuesto de óptima permeabilidad dentro de los yacimientos. La técnica usada consiste en aplicar conceptos sedimentológicos al estudio de los núcleos disponibles, relacionando las características sedimentológicas de dichos núcleos con los perfiles de pozos, especialmente con las curvas de resistividad y por último encontrar los criterios que definen la calidad de las arenas. El método de estudio se ha aplicado al yacimiento unificado Laguna, donde se requiere la selección de los sitios más apropiados para llevar a cabo programas de recuperación secundaria (inyección de agua y posiblemente inyección de gas) así como también tener una guía geológica para la perforación de desarrollo y reparación de pozos.

1. INTRODUCCION

La tarea de un geólogo petrolero de campo no termina con la elaboración de los mapas estructurales y mapas de espesores netos de arena petrolífera para un yacimiento determinado. Es necesario estudiar todo el material disponible, especialmente los núcleos, para así llegar a un mejor entendimiento de las propiedades internas de las diferentes unidades lito-estratigráficas, y una vez calibradas estas características internas con los perfiles de los pozos, poder predecirlas más allá del área del núcleo.

Este estudio geológico del yacimiento Laguna del área S.O. de Bachaquero en el Lago de Maracaibo (Fig. 1), fué hecho con la intención de determinar las zonas de óptima permeabilidad y continuidad de los intervalos principales de arenas y seleccionar los sitios más apropiados para los programas de recuperación secundaria, así como también para seleccionar los mejores puntos para los pozos de desarrollo.

El autor desea expresar su agradecimiento a los miembros de la Unidad Laguna por permitir la publicación de este trabajo.

(1) Este trabajo fué publicado en el Tomo II de la reseña de las III Jornadas Técnicas organizadas por la Sociedad Venezolana de Ingenieros de Petróleo (S.V.I.P.), en octubre de 1971. La presente reimpresión se hace bajo autorización de la S.V.I.P.

(2) Compañía Shell de Venezuela, Caracas.

2. EL YACIMIENTO LAGUNA

2.1 General

El yacimiento está formado por las arenas lenticulares y alargadas del Miembro Laguna de la Formación Lagunillas de edad Mioceno medio. El Léxico Estratigráfico de Venezuela (segunda edición) describe el Miembro Laguna como: "esencialmente arenas que se distinguen por la presencia de capas glauconíticas y lutitas fosilíferas, que contienen la fauna más significativa de toda la formación: un conjunto de moluscos de aguas marinas someras mencionadas por Hoffmeister (1938) y designada con el nombre de zona de *Lithophaga*". La figura 2 muestra un perfil típico de la formación Lagunillas en el área de interés. El Miembro Laguna ha sido subdividido en dos grupos de arenas separados por una lutita que se puede reconocer con poca dificultad a la casi totalidad del campo petrolífero. El yacimiento promedia 15 Kms., en la dirección norte-sur y aproximadamente 3,5 Kms. en dirección este-oeste. Hasta agosto 1971 el yacimiento Laguna ha producido sobre los 248 millones de barriles de petróleo con unas reservas probadas de 367 millones de barriles.

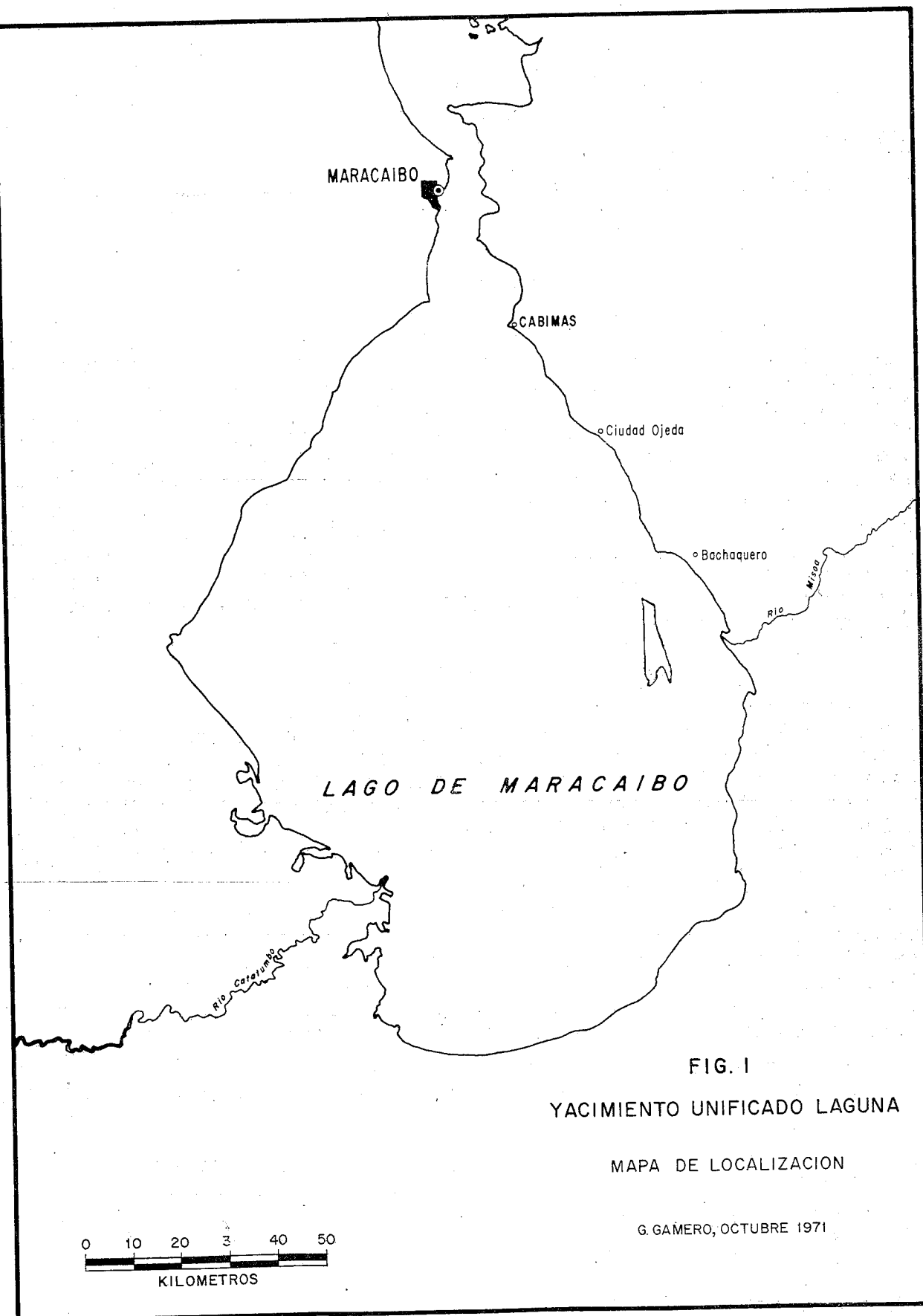
La figura 3 muestra la estructura en el tope del yacimiento Laguna que consiste en un monoclinal con un buzamiento suave de aproximadamente 8 grados hacia el sur.

2.2 Examen de núcleos

Se examinaron con criterio sedimentológico cuatro núcleos correspondientes a los pozos VLD-330, VLD-315, VLD-327 y VLD-341 del Miembro Laguna. El objetivo es obtener indicios sobre la naturaleza de los cuerpos de arena que forman el yacimiento en discusión.

Las figuras 4 y 5 muestran dos unidades litológicas típicas del Miembro Laguna. La figura 4 representa un conjunto de arenas depositadas en un ambiente litoral ya sea playero o de barrera litoral. Este desarrollo es el más común dentro del yacimiento y se caracteriza por: un contacto transicional con la lutita infrayacente; un aumento gradual del tamaño del grano hacia el tope, lo cual se correlaciona con el desarrollo ascendente de los valores de porosidad y permeabilidad dentro de la unidad litológica; estratificación cruzada en escala pequeña (centímetros) caracteriza la parte inferior mientras que la estratificación cruzada en escala grande (decímetros) se encuentra generalmente hacia el tope; el contacto superior es casi siempre abrupto y por último la actividad orgánica es un fenómeno común. La figura 4 da los valores promedios de porosidad y permeabilidad para cada tipo de arena individual.

La figura 5 muestra otro de los desarrollos genéticos de arenas dentro del yacimiento Laguna. Esta unidad litológica de arena ha sido interpretada como correspondiente a un ambiente de canal de mareas y/o canal distributivo. Se observa en la figura 5 que tanto la posición de las estructuras sedimentarias primarias, como la distribución vertical del tamaño del grano, de la porosidad y de la per-



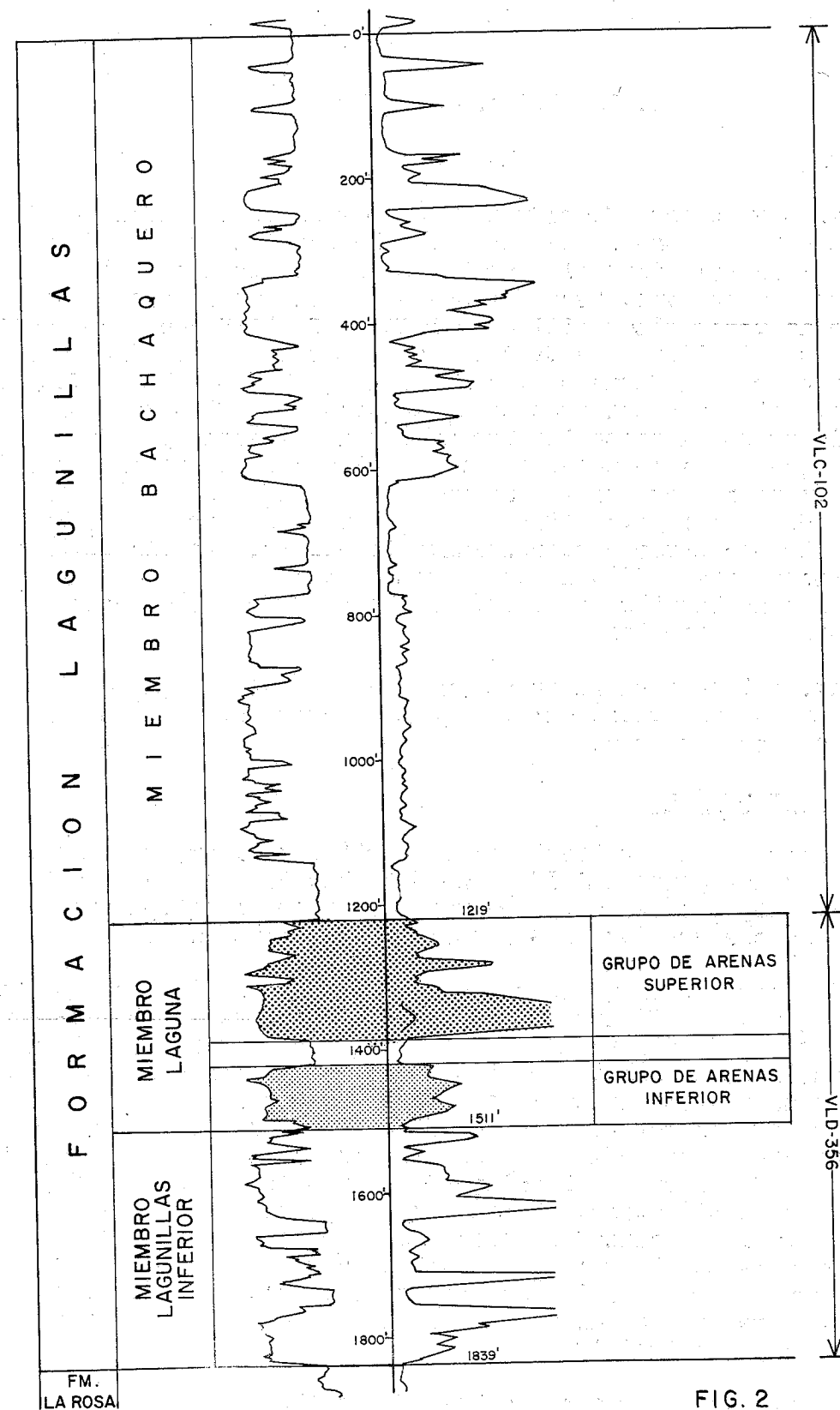
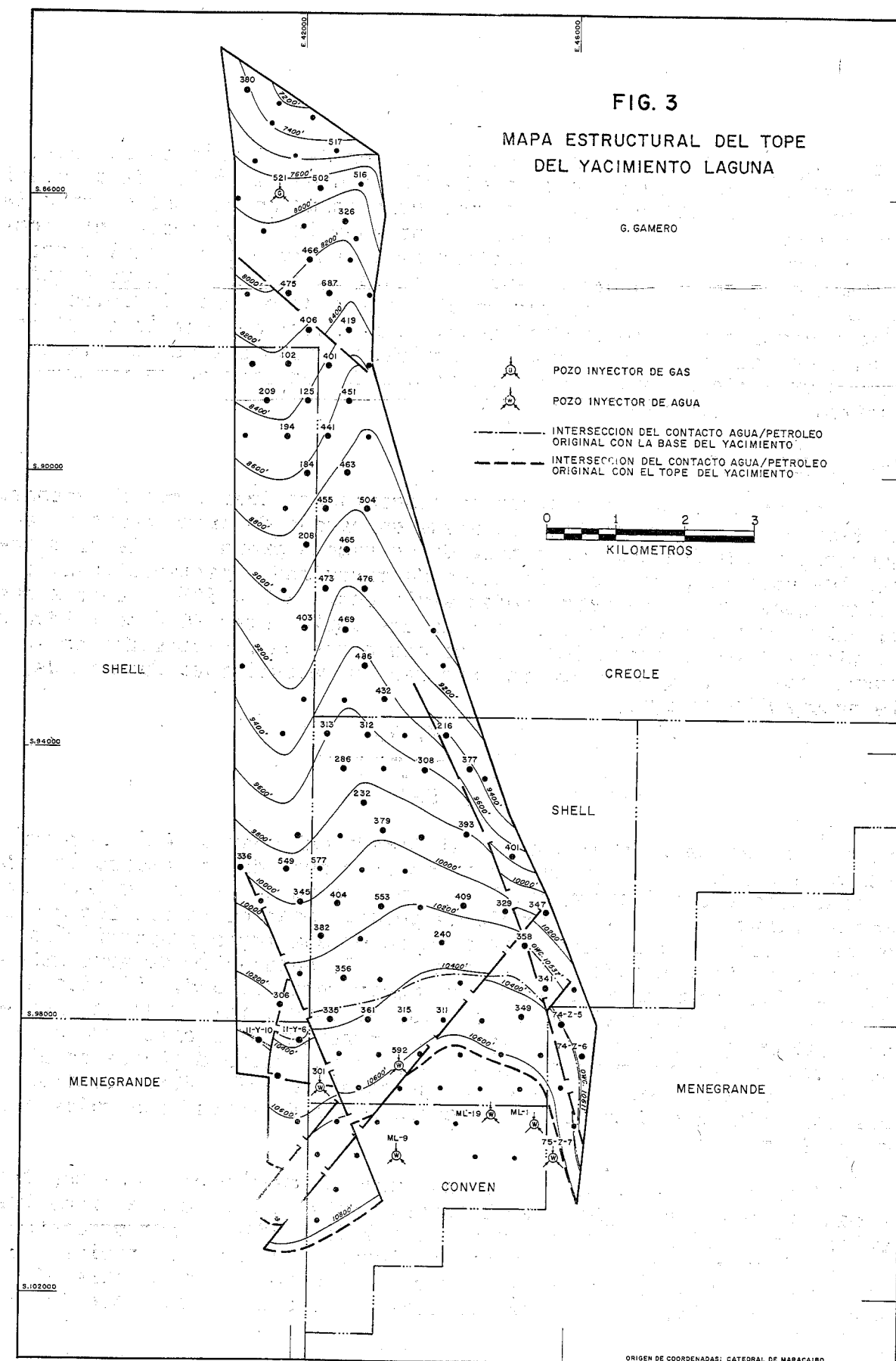


FIG. 2
PERFIL COMPUESTO
FORMACION LAGUNILLAS
AREA BACHAQUERO S.O. LAGO DE MARACAIBO
G. GAMERO, OCTUBRE 1971

VLC. 102 INTERVALO: 7100' - 8319'
VLD. 356 INTERVALO: 10302' - 10962'



meabilidad, es inversa con respecto a la unidad litológica descrita en la figura 4. La explicación de este fenómeno está ligada al nivel de energía del ambiente sedimentario correspondiente. Así durante la sedimentación de un canal de marea, por ejemplo, la energía del agente sedimentario es alta al principio de la acumulación, seguido por una etapa de descenso progresivo del nivel de energía, mientras que en el caso de un cuerpo de arenas playeras o de barras litorales el efecto contrario es lo predominante. Cada nivel de energía en el ambiente contribuye a un depósito específico caracterizado por cierto tamaño promedio de grano y el predominio de determinada estructura sedimentaria primaria.

2.3 Tipos de arenas

Del estudio de los núcleos se determinaron tres tipos de arenas. El tipo A o de mayor calidad consiste en arenas de grano medio y, en general, con estratificación cruzada de escala grande. Este tipo posee los valores promedios más altos de porosidad y permeabilidad: el valor promedio de las porosidades varía entre 26% y 30%, mientras que el valor promedio de las permeabilidades varía entre 1640 md y 2120 md. El tipo A también posee los valores más altos de resistividad en la normal corta, lo que se explica por ser la resistividad función de la saturación de agua

$$R_t = \frac{F \cdot R_w}{S_w^2}$$

esta a su vez se ve afectada por el tamaño del grano. Así, notamos que a menor tamaño de grano, mayor es el efecto de la saturación del agua debido a las fuerzas capilares, por lo tanto, menor resistividad. Por el contrario, a mayor tamaño de grano, menor es la presión capilar en el sistema poroso, permitiendo entonces una mayor proporción de petróleo y disminuyendo así el efecto de la saturación de agua existente. Todo esto se refleja en una mayor resistividad. El tipo B de arena es de una calidad intermedia, el tamaño del grano ha disminuido al rango de fino y muy fino, no presentando generalmente ninguna estructura sedimentaria primaria, la actividad orgánica es abundante. Las porosidades promedios varían entre 22% y 25%, mientras que los valores promedios de permeabilidades se encuentran entre 160 md y 420 md.

Finalmente, el tipo C de arena posee un tamaño de grano muy fino y está interestratificada con lutitas. Este tipo de arena tiene los valores más bajos de porosidades y permeabilidades y, por supuesto, los valores más bajos también en las lecturas de la resistividad de la normal corta. El rango de la porosidad promedio está entre 11% y 20% y los valores de la permeabilidad promedio varían entre 10 md y 60 md.

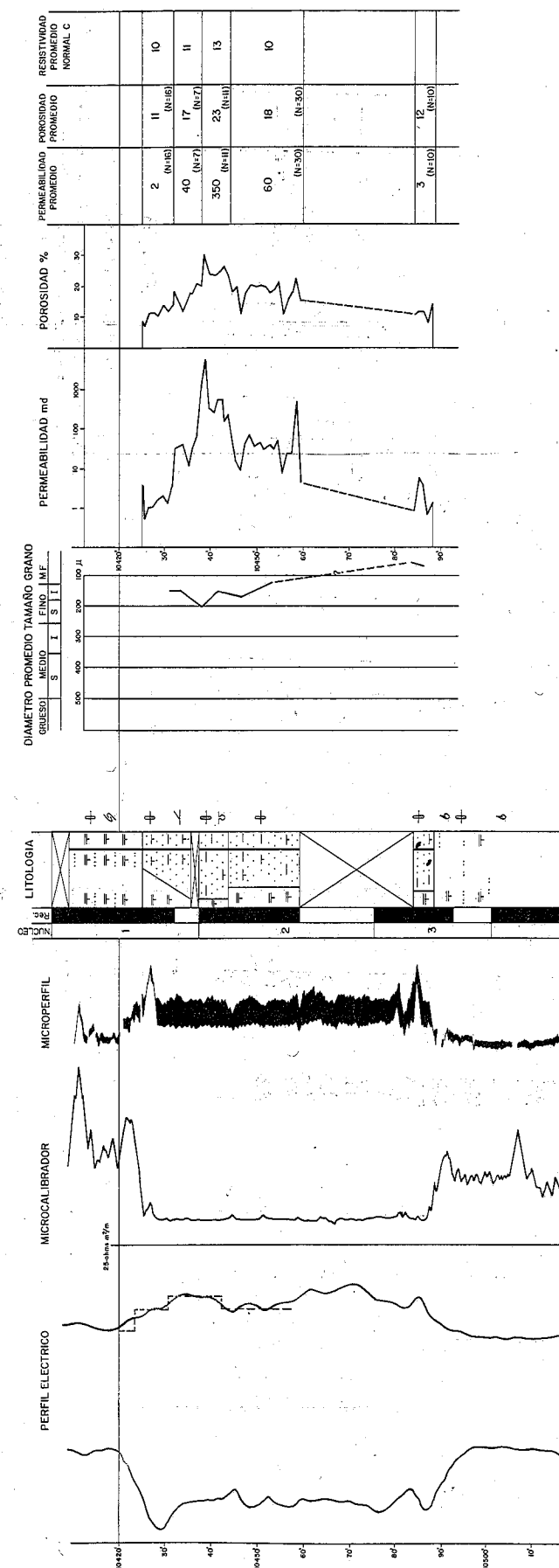


FIG. 4

YACIMIENTO UNIFICADO LAGUNA
OY BARRAS LITORALES
POZO VLD. 341

G. GAMERO, OCTUBRE 1971

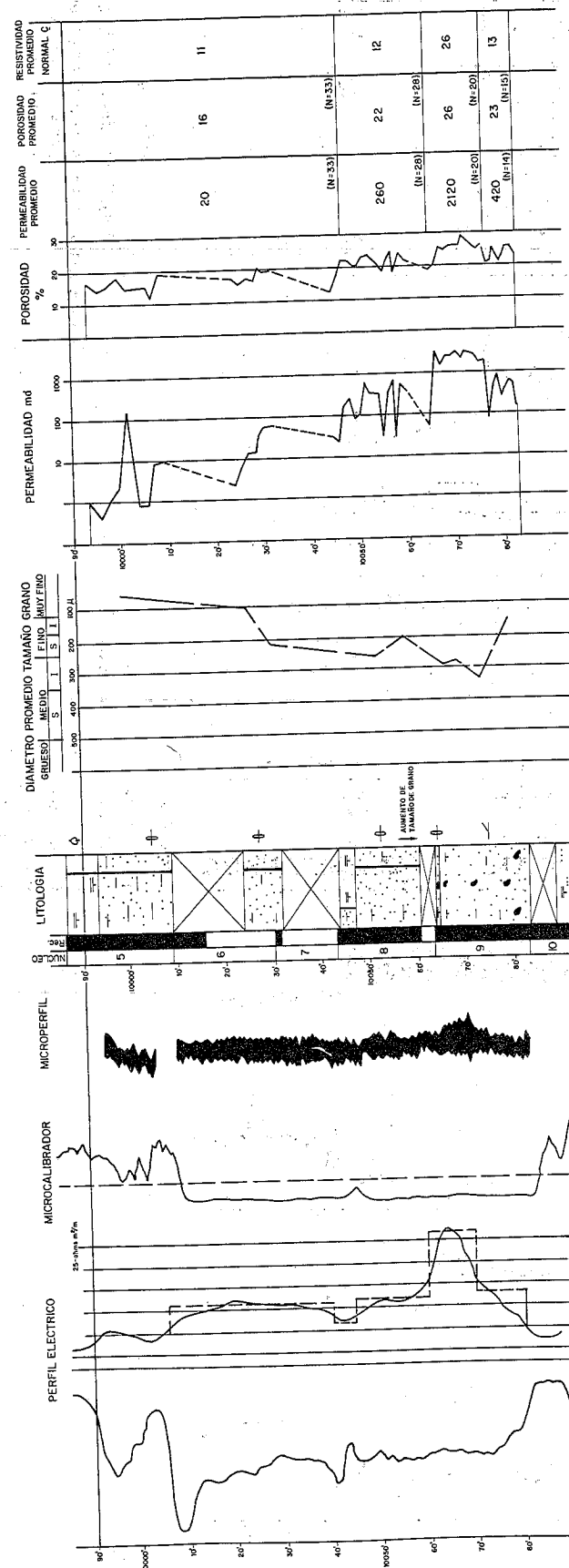


FIG. 5

YACIMIENTO UNIFICADO LAGUNA

SECUENCIA DE ARENAS DEPOSITADAS EN UN AMBIENTE DE CANAL DE MAREAS O/Y CANAL DISTRIBUTARIO POZO VLD. 327

6. GAMERO, OCTUBRE 1971

ESPESOR: 73'

ACTIVIDAD ORGANICA

ESTRATIFICACION CRUZADA DE ESCALA GRANDE

BOLAS DE ARCILLA

RESTOS DE PLANTAS

2.4 Relación entre el tipo de arena, la permeabilidad y la resistividad

Por lo arriba mencionado podemos decir que existe una relación entre el tipo de arena, la permeabilidad y la resistividad. A mayor resistividad mejor es la arena y mayor es la permeabilidad. La figura 6 muestra gráficamente esta relación. Basado en este concepto se pueden seleccionar determinados valores de resistividad que definen un tipo de arena en un yacimiento dado. En este estudio se ha seleccionado el valor de 25 ohms-m²/m para definir la mejor arena dentro del intervalo que se está considerando. Una vez contadas las arenas se procedió a construir un mapa de calidad de arena, que no es más que la distribución de la zona más permeable dentro del yacimiento o de una parte de él. La Tabla 1 da los datos básicos obtenidos del análisis de los núcleos y usados para construir el gráfico de la figura 6.

3. CORRELACION

3.1 General

En el trabajo original sobre el yacimiento en cuestión se prepararon 33 secciones estratigráficas en la dirección este-oeste y 19 secciones en la dirección noreste-suroeste, con el objetivo de determinar la continuidad de arenas y lutitas. Se observa que las arenas son más continuas en la dirección norte-sur que este-oeste, lo que está de acuerdo con el cuadro paleo-geográfico que se tiene para aquella época. Las lutitas son, en general, difíciles de correlacionar y de extensión limitada. Sin embargo, fué posible correlacionar razonablemente dos lutitas en la casi totalidad del área en consideración. La lutita inferior separa el yacimiento Laguna del yacimiento Lagunillas inferior. La lutita media divide al yacimiento Laguna en un grupo de arena superior y otro inferior. El espesor promedio de esta lutita es de 30 pies. Se espera que estas lutitas actúen como barreras al flujo vertical de fluidos. La figura 7 presenta una sección estratigráfica tipo para el yacimiento Laguna donde los dos grupos de arena están claramente representados. Se puede observar que las lutitas dentro de cada grupo son de extensión limitada. La sección tiene una longitud de aproximadamente 15 kms.

3.2 Distribución de los espesores de arena por grupo

Con respecto a los espesores netos de arena para cada grupo, la figura 8 muestra las áreas de mayor espesor para el grupo superior e inferior respectivamente. El grupo superior de arenas es el mejor desarrollado, su espesor promedio es de 100 pies y varía entre 50 pies y 175 pies, mientras que para el grupo inferior el espesor promedio es de 65 pies y varía entre los 15 pies y 115 pies. El patrón general de desarrollo de las arenas para cada grupo es el norte-sur, existiendo un deterioro del espesor de las arenas a lo largo de la parte central del yacimiento, observándose también un adelgazamiento general hacia el norte.

TABLA 1

CALIDAD DE ARENAS. DATOS BASICOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS NUCLEOS.

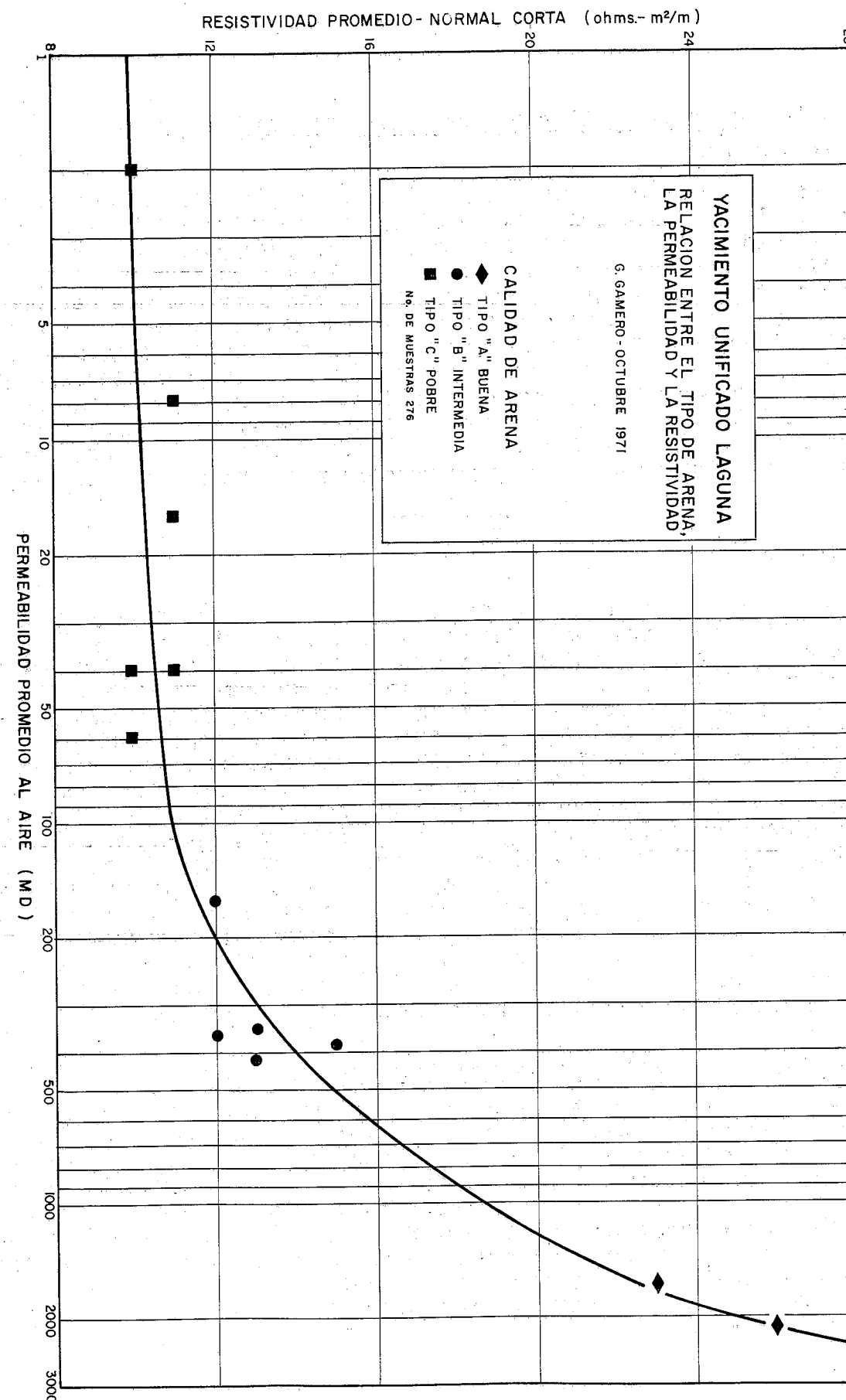
Pozo	Intervalo	Porosidad Promedio %	Permeabilidad Promedio (md)	Resistividad Promedio (NC)	Litología
VLD-327	10064-10075	26	2120	26	Arena, grano medio, estratificación cruzada.
VLC-330	8686- 8703	30	1640	23	
VLD-327	10075-10083	23	420	13	Arena, grano fino y muy fino, comúnmente sin estratificación cruzada y con abundantes huellas de actividad orgánica.
VLD-315	10639-10666	22	380	15	
VLC-330	8649- 8652	25	360	12	
VLD-341	10438-10444	23	350	13	
VLD-327	10046-10064	22	260	12	
VLD-341	10444-10460	18	60	10	Arena interestratificada con lutita, grano muy fino, actividad orgánica común.
VLC-330	8652- 8685	20	40	10	
VLD-341	10432-10438	17	40	11	
VLD-327	9994-10046	20	16	11	
VLD-315	10630-10639	14	8	11	
VLD-341	10425-10432	11	2	10	

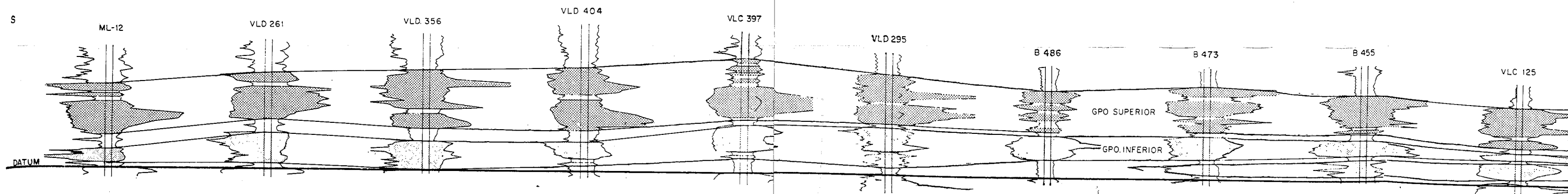
Número total de muestras: 276

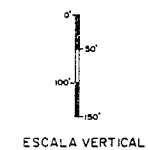
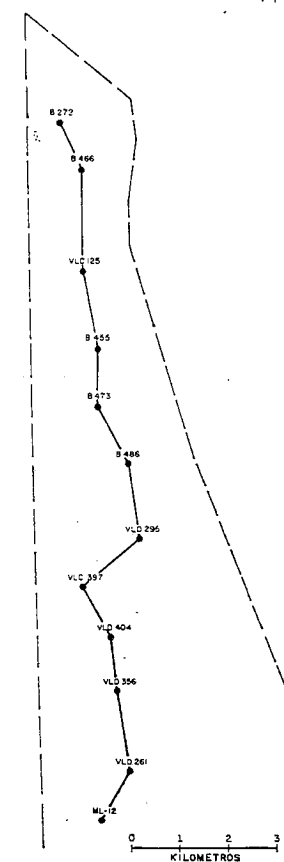
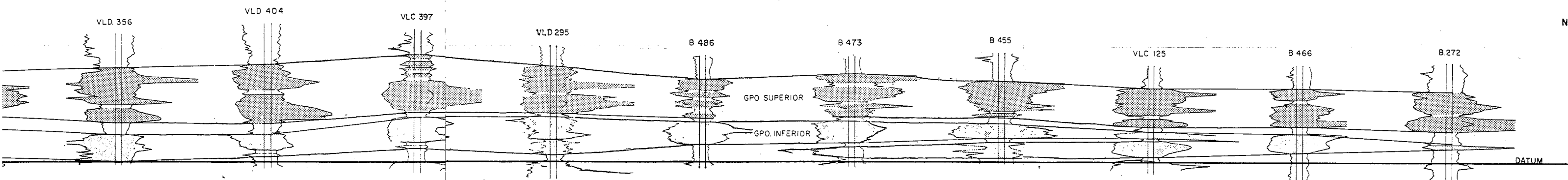
4. AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Las arenas del yacimiento Laguna han sido interpretadas como complejos sedimentarios típicos de barras litorales, con la ocurrencia de canales de marea y/o canales distributarios. Esta interpretación está basada en: la secuencia en la distribución vertical del tamaño del grano y estructuras sedimentarias primarias en las arenas, la presencia de una fauna marina de aguas someras en las lutitas (Hoffmeister, 1938) y, finalmente, en la geometría externa de los grupos de arenas.

FIG. 6







YACIMIENTO UNIFICADO LAGUNA
SECCION ESTRATIGRAFICA NORTE-SUR
DATUM : TOPE YACIMIENTO LAGUNILLAS INFERIOR
G GAMERO - OCTUBRE 1971
FIG 7

YACIMIENTO UNIFICADO LAGUNA
AREAS DE MAXIMO DESARROLLO DE ARENA
PARA LOS GRUPOS SUPERIOR E INFERIOR

G. GAMERO, OCTUBRE 1971

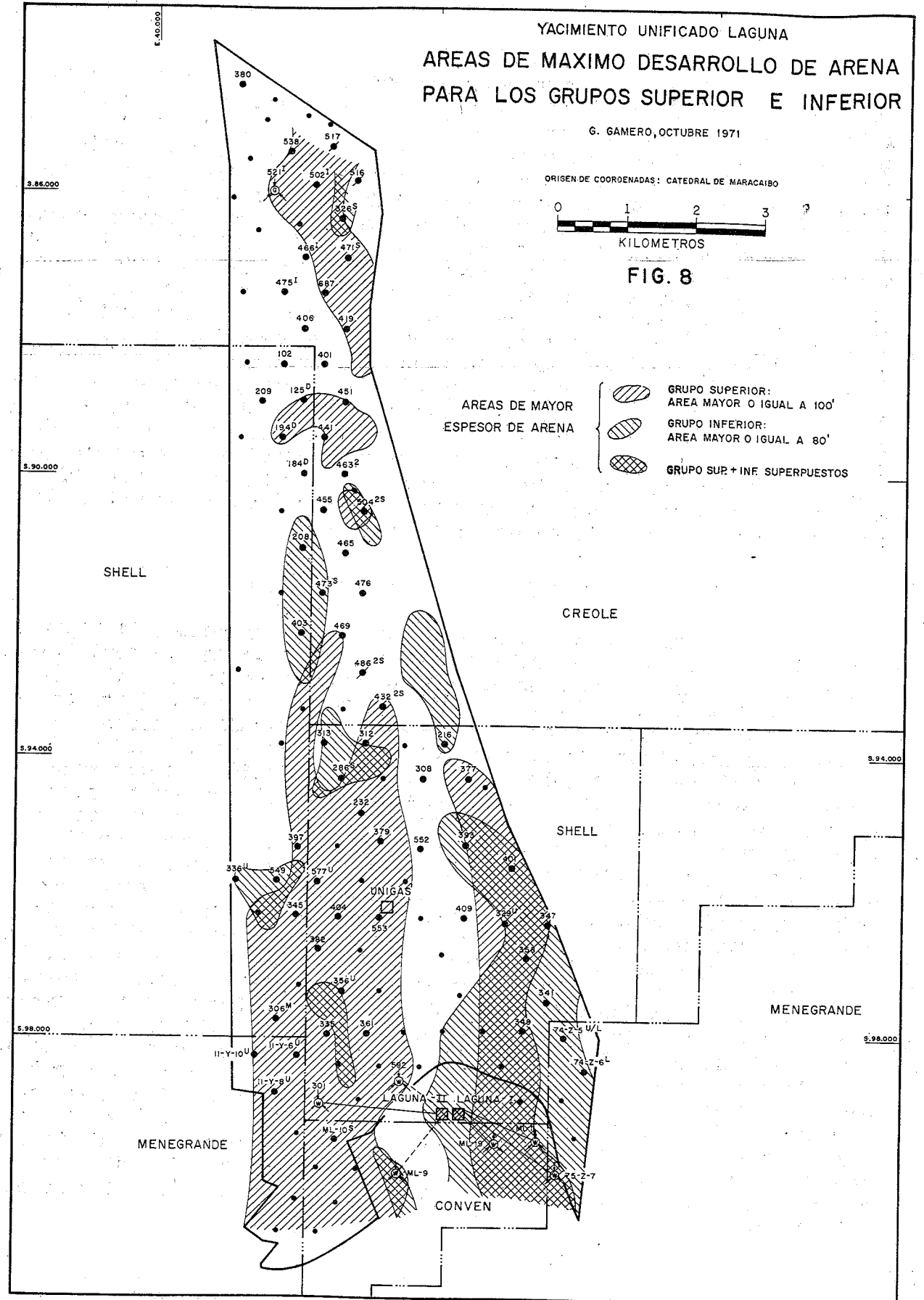
ORIGEN DE COORDENADAS: CATEDRAL DE MARACAIBO



FIG. 8

AREAS DE MAYOR
ESPESOR DE ARENA

- GRUPO SUPERIOR:
AREA MAYOR O IGUAL A 100'
- GRUPO INFERIOR:
AREA MAYOR O IGUAL A 80'
- GRUPO SUP. + INF. SUPERPUESTOS



La figura 9 es una representación esquemática de las probables condiciones geográficas en el tiempo de Laguna, usando como modelo la isla barrera de Galveston en el Golfo de México. El agente principal que contribuye a formar este tipo de depósito es el de las corrientes marinas a lo largo de la costa. Dicho depósito se origina por sucesivas acreciones de arena tanto en la parte frontal marítima o playera como en la punta de la barra. El proceso está generalmente asociado con épocas de nivel del mar estacionario. El producto final es un cuerpo compuesto por la superposición de unidades acrecionales pequeñas de arenas separadas posiblemente por capas delgadas de arcilla y limo, que en conjunto forman una unidad genética con una geometría externa e interna bien definida, que ha sido ya descrito en las partes 2.3 y 3.2 del texto. Es necesario mencionar aquí que en este tipo de depósito los valores más altos de tamaño del grano y mejor escogimiento, consecuentemente, los mejores valores de permeabilidad, están asociados con la zona de mejor desarrollo de arena que es a lo largo del rumbo deposicional. El deterioro de estas características ocurre hacia los flancos, es decir, hacia el continente y hacia el lado del mar, de tal manera que hay que esperar una anisotropía lateral en la permeabilidad en estos tipos de depósitos.

5. MAPAS DE CALIDAD DE ARENA

Como se ha mencionado ya en la sección 2.4 del texto, la mejor arena del yacimiento es aquella que está caracterizada por resistividades altas. Por lo tanto se ha seleccionado un valor de resistividad de 25 $\text{ohm-m}^2/\text{m}$ para definir aquellas arenas con las mejores permeabilidades para cada grupo. Cabe mencionar que con un programa adecuado el computador puede producir tantos mapas de calidad de arena como el usuario requiera. El método consistió en medir todo intervalo arenoso con resistividades mayores de 25 $\text{ohm-m}^2/\text{m}$, construyéndose luego un mapa de espesores. La figura 10 muestra las áreas con arenas de alta calidad para cada grupo de arenas. Se observa que el grupo superior es el que tiene mayor espesor de arena de alta calidad. El patrón general de desarrollo de las áreas de mejor permeabilidad coincide bastante bien con las áreas de espesores más altos (compare Fig. 10 con Fig. 8). Se observa también en la figura 10 que las arenas de alta calidad se localizan en cuatro áreas bien definidas separadas por áreas con arenas de pobre a intermedia calidad. Es importante anotar que la dirección de estos desarrollos preferenciales de arena de alta calidad coinciden con el buzamiento estructural del yacimiento. Esto implica que, en caso de inyección de agua buzamiento abajo, el agua tratará de moverse buzamiento arriba a lo largo de las zonas de mejor permeabilidad. Sin embargo, en vista de la longitud del yacimiento, posiblemente se deban requerir varios inyectores a lo largo de dichas zonas. Es necesario añadir también que habrá pobre transmisibilidad de fluidos entre las diferentes zonas de alta permeabilidad, pudiendo llegar a constituir barreras relativas al movimiento de fluidos.

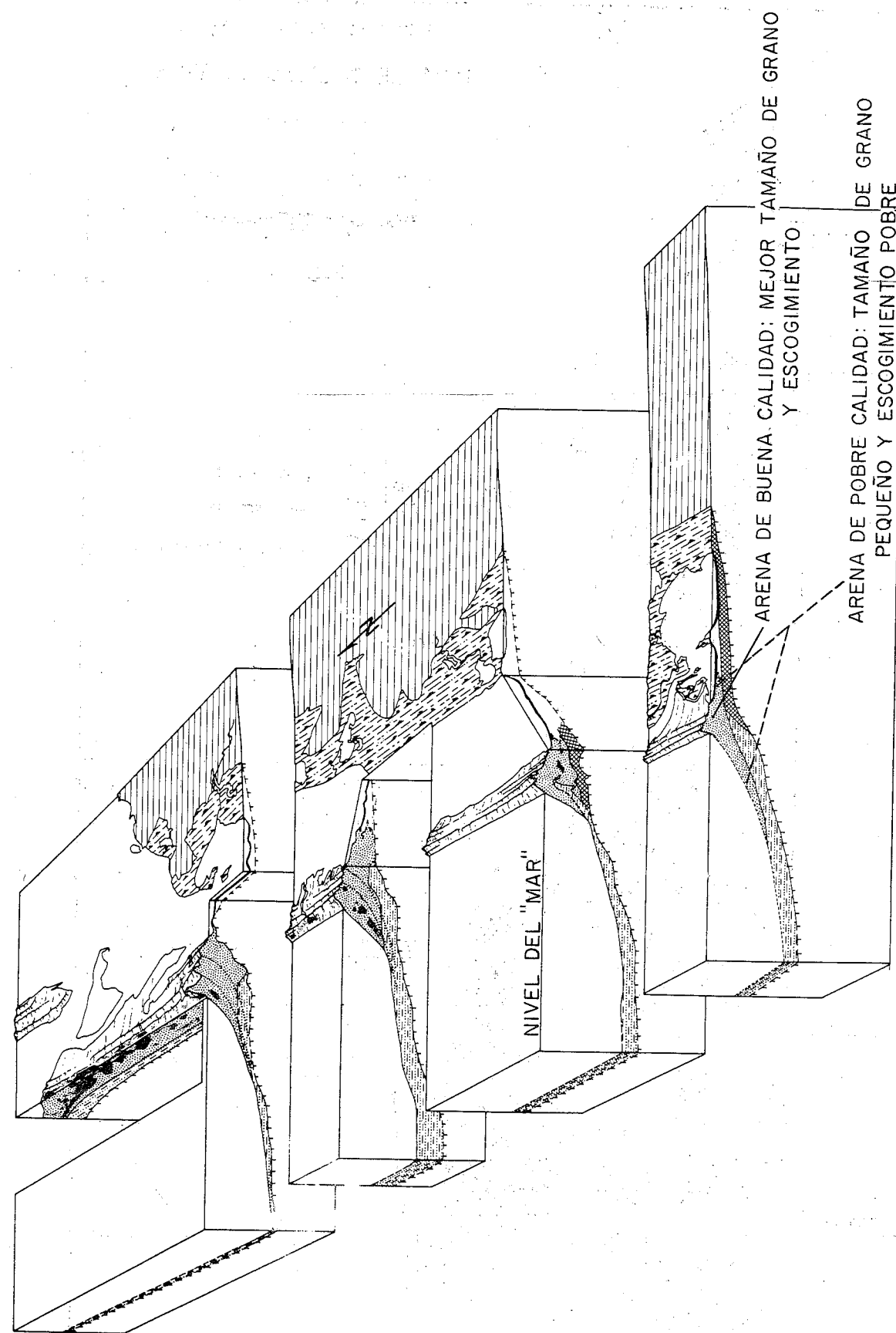
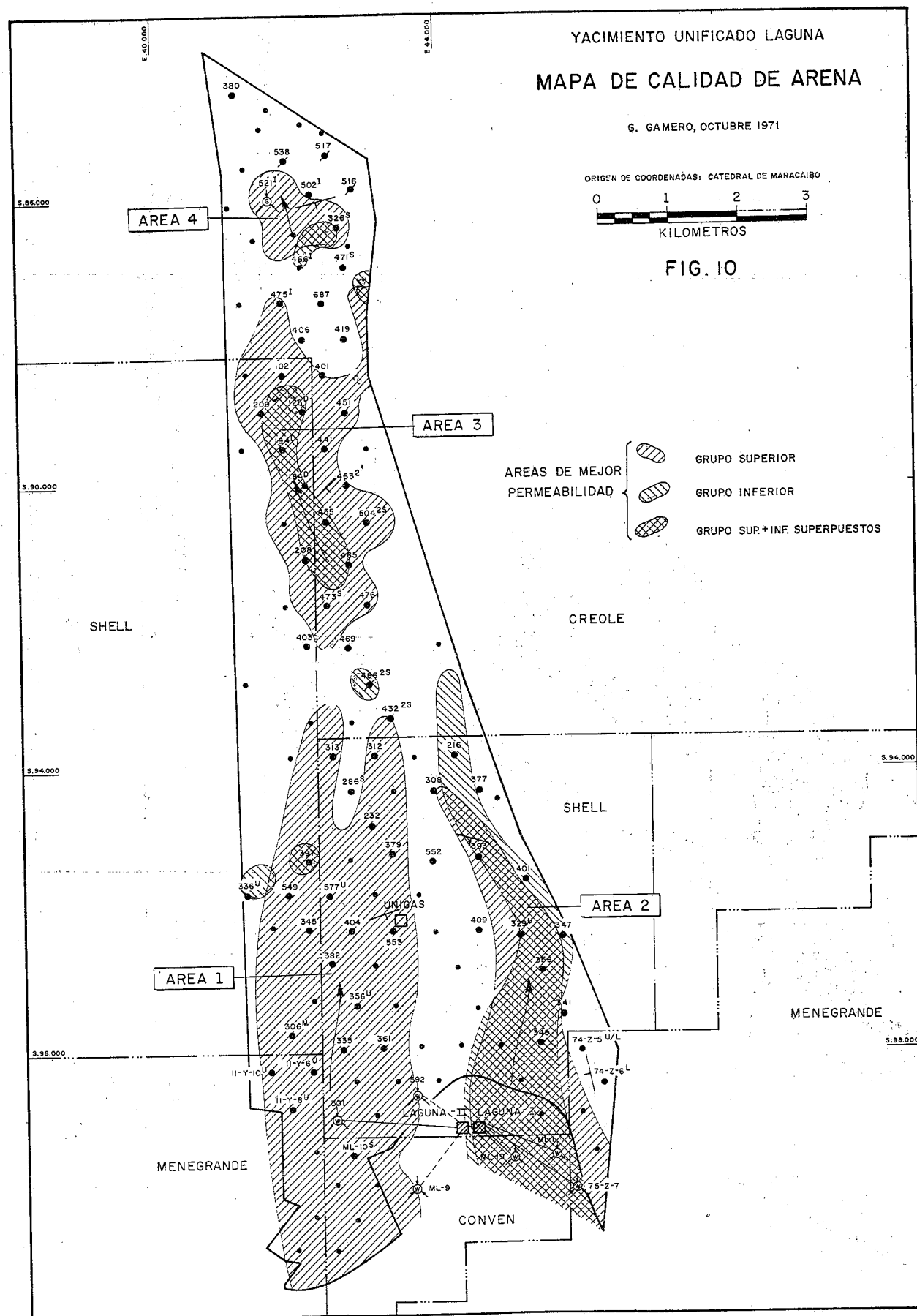


FIG. 9

MODELO DE SEDIMENTACION COSTANERA: BARRAS LITORALES. CUADRO PALEOGEOGRAFICO EN EL TIEMPO DE LAGUNA. (ADAPTADO DE BERNARD ET AL.)



6. CONCLUSIONES

De este estudio se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- a. El yacimiento unificado de Laguna se puede dividir en dos grupos de arenas.
- b. Tres tipos de arenas se han identificado en los núcleos estudiados. Cada tipo de arena posee un determinado tamaño de grano y valores bien diferenciados de permeabilidad y resistividad.
- c. Se establece una relación entre tipo de arena, permeabilidad y resistividad, que es la base para la construcción de los mapas de calidad de arena.
- d. La tendencia general de distribución del espesor de cada grupo de arena es en la dirección norte-sur y se han delineado las áreas de mejor desarrollo de espesores.
- e. Los sedimentos se interpretan como barras litorales y depósitos asociados.
- f. Los mapas de calidad de arena delinear cuatro áreas bien definidas de mejor permeabilidad que coinciden con la dirección preferencial de desarrollo de las barras litorales.
- g. Con respecto a la transmisibilidad de los fluidos dentro del yacimiento, se espera pobre comunicación entre las diferentes áreas, mientras que a lo largo de las áreas de mejor permeabilidad debe existir buena continuidad y transmisibilidad.
- h. No se ha cuantificado la diferencia de permeabilidad que existe a lo largo del rumbo deposicional y a través de él, pero de todas maneras se ha recomendado tomarlo en cuenta en los modelos de yacimiento.

REFERENCIAS

- Bernard, A.A. et al., "The Galveston Barrier Island and Environs: A Model for predicting Reservoir Occurrence and Trend?"- Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies, Vol. IV, pp. 221-224, 1959.
- Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Léxico Estratigráfico de Venezuela (Segunda Edición), 1970.