

01179

4  
Lij



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO SEDIMENTOLOGICO Y DIAGNETICO DEL JURASICO  
TARDIO KIMMERIDGIANO DE LA PARTE SUROCCIDENTAL DE  
LA ZONA MARINA.

TESIS

PRESENTADA POR  
FAUSTINO MONROY SANTIAGO

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERIA  
(EXPLORACION DE RECURSOS ENERGETICOS DEL SUBSUELO)

DIRIGIDA POR:  
DR. JAIME BARCELO DUARTE

Ciudad Universitaria, Septiembre de 1996



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**TESIS**

**COMPLETA**

## CONTENIDO

	PAGINA
<b>RESUMEN</b>	
<b>I.-INTRODUCCION</b>	1
<b>II.-GENERALIDADES</b>	
II.A LOCALIZACION DEL AREA	2
II.B OBJETIVOS	2
II.C ANTECEDENTES	2
II.D METODO DE TRABAJO	5
<b>III.-ESTRATIGRAFIA</b>	9
<b>IV.-FACIES SEDIMENTARIAS E INTERPRETACION AMBIENTAL</b>	29
<b>V.- MODELO SEDIMENTARIO EVOLUTIVO</b>	40
<b>VI.- DIAGENESIS</b>	51
VI.A PROCESOS DIAGENETICOS IDENTIFICADOS	53
VI.B AMBIENTES DIAGENETICOS IMPLICADOS	62
VI.C RELACIONES FACIES-PROCESOS DIAGENETICOS	66
VI.D PARAGENESIS GENERAL Y ETAPAS DIAGENETICAS	67
<b>VII.- ASPECTOS ECONOMICOS</b>	76
VII.A RESULTADOS DE POZOS	76
VII.B ROCAS ALMACENADORAS	76
VII.C ROCAS SELLO Y GENERADORAS	80
VII.D TIPOS DE TRAMPA	81
VII.E SINCRONIA Y MIGRACION	81
VII.F SELECCION DE AREAS	83

	PAGINA
<b>VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>86</b>
<b>VIII.A CONCLUSIONES</b>	<b>86</b>
<b>VIII.A.1 SEDIMENTOLOGICAS</b>	<b>86</b>
<b>VIII.A.2 DIAGENETICAS</b>	<b>87</b>
<b>VIII.A.3 ECONOMICAS</b>	<b>88</b>
<b>VIII.B RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS</b>	

*A Julia, mi amada esposa, quien por ella veo culminado uno de mis sueños.*

*A mis hijos Heomar e Hiram, con todo el amor del mundo.*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que de forma directa o indirecta colaboraron en la realización de esta tesis: Al Dr. Jaime Barceló D., por la dirección y asesoría, al M.I. José Ruíz Morales por la revisión y apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo. De igual manera a los señores sinodales, Dr. Esteban Cedillo Pardo, M. en I. Jaime Mandujano V., y al M. en C. Victor Dávila A., por el tiempo dedicado a la revisión de la misma así como por sus acertadas observaciones.

Asimismo, al Ing. Rodolfo E. Juárez Gómez, Gerente de Exploración de la Region Marina Suroeste, por el apoyo brindado así como por la autorización del uso de la información para la elaboración de ésta tesis. De igual manera al Ing. Rosalío Hernández García, Gerente de Exploración de la Region Marina Noreste por toda la ayuda recibida.

Agradezco a los Ing. J. Mario Cal y Mayor C. y M. Anunziata Romero I., su comprensión y ayuda durante todo el desarrollo de este trabajo así como por sus valiosos comentarios.

Al Ing. Cesar Cabrera Cuervo, por su amistad y apoyo incondicional para el buen término de ésta tesis.

A todos mis compañeros de trabajo, que de una u otra manera, me impulsaron a seguir adelante.

Por su colaboración en el área de dibujo y captura del escrito, doy gracias a los señores: Nidia Acevedo R., Gabriela Camargo S. y Carlos Fajardo.

Sinceramente

Faustino Monroy S.

## RESUMEN

El área de estudio se localiza frente a las costas de Tabasco y Campeche, a 20 Km al N del puerto de Frontera, y queda limitada por los paralelos 18° 30' y 19° 05' de latitud norte y los meridianos 92° 24' y 93° 00' de longitud oeste.

**El objetivo principal del trabajo es analizar en forma detallada la secuencia del Jurásico Tardío Kimmeridgiano, con la finalidad de identificar y caracterizar las facies potencialmente almacenadoras de hidrocarburos. Asimismo, establecer la distribución en tiempo y espacio de dichas rocas, considerando la evolución sedimentológica así como su historia diagenética.**

Se realizó el estudio petrográfico y diagenético, de muestras de canal y de núcleos de las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano cortadas en los siguientes pozos: Ayin-1, Citam-1, Chem-1A, Ki-101, Kix-1, May-1, Mucuy-1, Sinan-1A, Sinan-101A, Yum-1 y Yum-401 y se contó con la información de los pozos, Alux-1A y Oktan-1A, Kix-1A, Mison-1A, Kab-101 y Kax-1. Se elaboraron los registros compuestos de los pozos, secciones de correlación estratigráfica, planos de distribución de facies, isopacas, isoporosidades y espesores netos porosos de las facies almacenadoras, tablas de eventos y procesos diagenéticos por facies de cada pozo y paragénesis general del área. Se elaboraron también los modelos sedimentario evolutivo y diagenético, así como un plano de jerarquización de áreas de interés económico-petrolero.

En este estudio se identificaron **cuatro unidades estratigráficas**, denominadas informalmente B,C,D y E, de acuerdo al contenido de fauna y a líneas de tiempo hipotéticas, las cuales son correlacionables con las propuestas por Angeles (1986), para las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano. Por otro lado se identificaron **ocho facies sedimentarias**, utilizando la clasificación propuesta por Wilson (1975) para rocas carbonatadas. Estas facies en orden de importancia son:

**Facies 6:** Depositada en un **ambiente de plataforma carbonatada** formando **bancos de arenas carbonatadas**. Se propone usar el término de **"zona de bancos"**, para el área donde se distribuyen éstos bancos. Esta facies es una de las más afectadas diagenéticamente hablando.



**Facies 6-7:** Mezcla de las facies 6 y 7 distribuida cerca de los bancos, en **zonas litorales y de interbancos**.

**Facies 8:** Esta facies está asociada a un **ambiente de inter y submarea**. Se encuentra interdigitada con las facies 6 de la zona de **bancos, y en áreas costeras**.

**Facies 7:** Esta secuencia fué depositada en un **ambiente lagunar**, localizada entre facies 6 y la línea de costa o bien, en un **ambiente de plataforma "externa" o rampa profunda** cuando se encuentra después de las facies 6, hacia aguas más profundas.

**Facies 2:** Este tipo de facies está asociada a un **ambiente carbonatado "profundo" (depresión intraplatafórmica)**.

**Facies 9:** Representada por una secuencia terrígena evaporítica, asociada a un **ambiente tipo sabkha** con conexión al mar y marcada influencia continental.

**Facies 3-4:** Esta secuencia fue depositada posiblemente en una **zona de pendiente**, como flujos pequeños dentro de una **depresión intraplatafórmica**.

**Facies de Bancos de arenas siliciclásticas:** Está representada por areniscas de cuarzo de grano fino, formando **bancos de arenas clásticas** que se desarrollaron en una **plataforma interna a litoral clástico-carbonatada**.

Cada una de las unidades estratigráficas identificadas, presentan una o más de las facies antes mencionadas. Todas estas facies presentan cambios tanto vertical como horizontalmente, ésto evidencia la distribución en tiempo y espacio del patrón sedimentológico.

Con el análisis de dichos cambios y sus ambientes asociados se llegó a la concepción del **modelo sedimentológico**. Dicho modelo puede ser considerado, para el Jurásico Superior Kimmeridgiano Temprano, como una **plataforma clástico-carbonatada** la cual evolucionó a una **rampa carbonatada con complejo oolítico**, de acuerdo a la clasificación de Read (1985), para el Kimmeridgiano Tardío, con una marcada influencia terrígena hacia el oriente y noroccidente, y el desarrollo de dos depresiones intraplatafórmicas donde se depositaron sedimentos de aguas moderadamente profundas.

Por otra parte, la secuencia estudiada fué afectada por **ocho procesos diagenéticos** (bioturbación, micritización, cementación, disolución, presión-solución, dolomitización, recristalización y silicificación), y **tres períodos de**

**fracturamiento.** Se identificaron **dos eventos de emplazamiento de hidrocarburos.** Varios de los procesos se presentaron en más de una ocasión dentro de la historia diagenética, totalizando 24 eventos.

Como resultado del estudio diagenético se logró ubicar, con confiabilidad, la cronología diagenética de la **presencia de hidrocarburos,** así como los eventos relacionados a su emplazamiento.

Desde el punto de vista económico-petrolero, se logró mediante éste estudio establecer que las **facies 6 y 6-7, y en menor proporción la 8, son las rocas potencialmente almacenadoras ya que presentan las mejores porosidades.** Se analiza su comportamiento, características y distribución en tiempo y espacio, así como los procesos relacionados al desarrollo de la porosidad y permeabilidad.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente **se recomienda no generalizar** a las unidades **E y C** como rocas almacenadoras y a las unidades **D y B** como potencialmente generadoras y/o sello, como hasta la fecha se ha usado, en la Región Marina, ya que son principalmente las **facies 6, 6-7 y 8** (asociadas a bancos oolíticos) las **rocas almacenadoras,** las cuales se encuentran en diferentes niveles estratigráficos, principalmente en las unidades **D y E;** por lo que es necesario, utilizar los planos de distribución de facies, isopacas, e isoporosidades de dichas facies, para enfocar la exploración en el área.

Estas facies almacenadoras, en el área de estudio, conforman una **zona de bancos carbonatados, con orientación aproximada NE-SW** y una mayor expresión en el área de los pozos, Ki-101, Sinan-101A, y May-1. Según los datos adquiridos de la Región Sur, éste mismo alineamiento puede prolongarse hacia el campo Luna.

También, de acuerdo a la evolución sedimentológica y al análisis de los **modelos de depósito y diagenético** manejados, se está en posibilidad de proponer áreas donde **es posible encontrar las facies almacenadoras** ( facies 6, 6-7 u 8) con las mejores características de **espesores, porosidad y permeabilidad.**

## CONTENIDO DE FIGURAS:

<i>No.</i>	<i>Descripción</i>	<i>Páginas</i>
1	Localización del área de estudio.	3
2	Localización de secciones estratigráficas.	8
3	Tabla estratigráfica regional.	10
4	Isopacas (Unidad B).	12
5	Distribución de facies (Unidad B).	13
6	Isopacas (Unidad C).	15
7	Distribución de facies (Unidad C).	16
8	Isopacas (Unidad D).	20
9	Distribución de facies (Unidad D).	21
10	Isopacas (Unidad E).	25
11	Distribución de facies (Unidad E).	26
12	Facies estándar de Wilson.	30
13	(a y b) Columnas sintéticas (unidades E y D).	31,32
14	Tipos de plataformas en rampa.	41
15	(a,b,c y d) Modelos Sedimentarios.	46,47,48,49
16	Sección esquemática (progradación de bancos).	50
17	Modelo Diagenético.	59
18	Espesores netos porosos (facies 6 y 6-7).	78
19	Isoporosidades (facies 6 y 6-7).	79

<i>No.</i>	<i>Descripción</i>	<i>Páginas</i>
20	Configuraciones estructurales.	82
21	Plano de selección y jerarquización de áreas.	85

## **ANEXOS**

### **A) Tablas incluidas:**

<i>No.</i>	<i>Descripción</i>
1	Cimas y espesores por unidades del J. S. Kimmeridgiano.
2	Facies sedimentarias y sus procesos diagenéticos.
3	Paragénesis general del área por pozos.
4	Sistema Petrolífero Tithoniano.
5	Espesores netos porosos de las facies 6 y 6-7.
6	Porosidades promedio de las facies almacenadoras.

### **B) Paragénesis general de las Facies identificadas:**

Pozos: Chem-1A, Citam-1, Ki-101, Kix-1, May-1, Mucuy-1, Sinan-1A,  
Sinan-101A, Yum-1 , Yum-401

**C) Secciones Estratigráficas:**

I - I' .- CITAM 1-- SINAN 1A --SINAN 101 A -- KI 101

II - II' .- OKTAN 1A -- MAY 1 -- YUM 1 -- CHEM 1A -- MUCUY 1

III - III' .- AYIN 1 -- SINAN 1A -- YUM 1 -- YUM 401

IV - IV' .- AYIN 1 -- ALUX 1A -- SINAN 101 A -- CHEM 1A -- KIX 1A

V - V' .- KI 101 -- MUCUY 1 -- KIX 1A

**D) Registros compuestos.**

## I.- INTRODUCCION

El área marina en la Sonda de Campeche es hoy en día prioritaria en la economía de nuestro país. A la fecha, es la que aporta la mayor cantidad de hidrocarburos en la producción de México.

La exploración ha sido concentrada en aproximadamente 20,000 km<sup>2</sup> y han resultado productores varios pozos exploratorios de los cuales 20, aproximadamente, lo han sido en rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano. A nivel regional se ha establecido la estratigrafía, así como diferentes modelos sedimentológicos; sin embargo, cada día la exploración se complica y requiere de estudios más detallados.

Este trabajo se planteó como un estudio estratigráfico-sedimentológico y diagenético, del área sur-occidental de la zona marina, para detallar la secuencia del Jurásico Tardío Kimmeridgiano, con la finalidad de identificar las facies potencialmente almacenadoras de hidrocarburos y establecer la distribución en tiempo y espacio de dichas rocas, considerando la evolución sedimentológica y diagenética.

Esta área sur-occidental de la Sonda de Campeche es productora de hidrocarburos ligeros, gas y condensados. Recientemente se perforaron cuatro pozos exploratorios en ésta área, resultando todos productores de aceite y gas.

El pozo Ayin-1, perforado en 1992, resultó productor de aceite, en rocas del Cretácico y del Jurásico. Este hecho abrió las perspectivas de exploración hacia el poniente del área marina, por lo que se requiere de modelos sedimentológicos más detallados para continuar con la exploración en éstas áreas batimétricas profundas de la Sonda de Campeche.

## **II.-GENERALIDADES**

### **II.A LOCALIZACION DEL AREA.**

El área de estudio se localiza frente a las costas de Tabasco, a 20 km al norte del puerto de Frontera, y queda limitada por los paralelos 18° 30' y 19° 05' latitud norte y los meridianos 92° 24' y 93° 00' de longitud oeste, con un área aproximada de 5000 km<sup>2</sup> (Fig.1).

### **II.B.- OBJETIVOS**

El objetivo principal del trabajo es analizar en forma detallada la secuencia del Jurásico Tardío Kimmeridgiano, con la finalidad de identificar y caracterizar las facies potencialmente almacenadoras de hidrocarburos. Asimismo, establecer la distribución en tiempo y espacio de dichas rocas, considerando la evolución sedimentológica así como su historia diagenética.

### **II.C. - ANTECEDENTES**

La perforación exploratoria, en la Sonda de Campeche, se inició en el año de 1974, con el pozo Chac-1, el cual se terminó en 1976, como productor de aceite y gas, en rocas del Paleoceno Inferior-Cretácico Superior. En los primeros años de exploración, el objetivo principal fueron dichas rocas, sin embargo se obtuvo producción también en rocas del Eoceno Medio. A partir de 1984, los pozos exploratorios llevaron el objetivo de alcanzar rocas del Jurásico Superior. Hasta la fecha han resultado productores más de 20 pozos exploratorios en rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano.

Por otro lado, se cuenta con varios trabajos realizados por personal de Petróleos Mexicanos así como del Instituto Mexicano del Petróleo y últimamente por compañías consultoras extranjeras, tanto de tipo estratigráfico-sedimentológico, bioestratigráficos, geoquímicos, estructurales, así como geológico-geofísicos en general.

Bertrand C. y colaboradores (1981), realizaron un estudio geoquímico con base en 28 aceites de la Sonda de Campeche y uno del campo Reforma, llegando a la conclusión

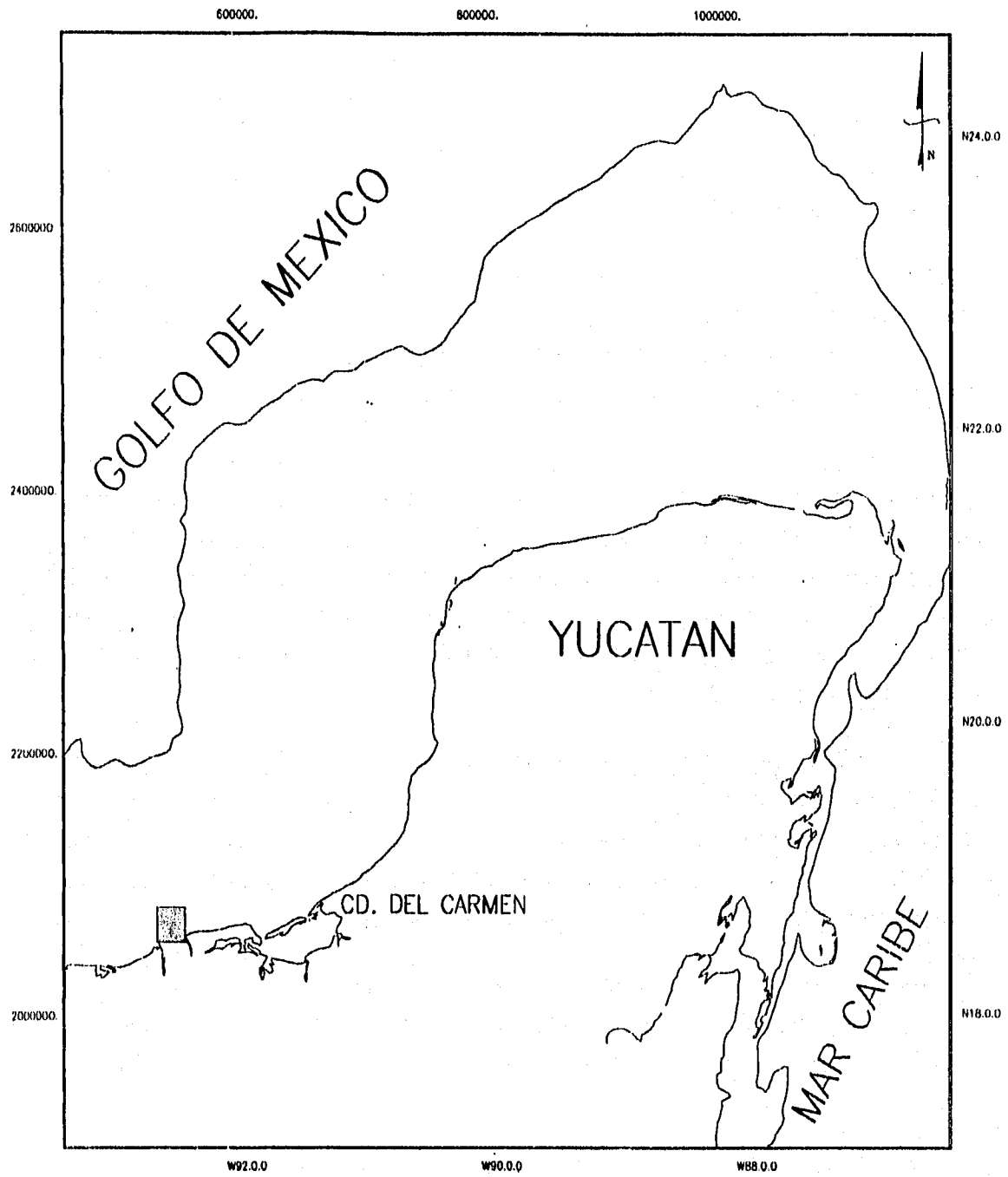


Fig.1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO



que la evolución de los crudos se incrementan en dirección sur-occidental y suponen que esto podría estar relacionado a la profundidad de los yacimientos.

Holguín y Romero (1983) y Holguín (1983) realizaron algunos estudios de roca, de varios pozos exploratorios de la Sonda de Campeche-Plataforma de Yucatán, desde el punto de vista geoquímico, llegando a la conclusión de que las rocas del Jurásico Superior Tithoniano son las principales generadoras en el área.

Angeles (1986), planteó un modelo sedimentario regional y postuló la existencia de una franja oolítica, dividiendo el área en provincias morfoestructurales. Además zonificó al Jurásico Superior, dividiéndolo en ocho litofacies, correspondiendo cuatro de ellas al Kimmeridgiano: Kimmer 2 (B y C) y Kimmer 1(D y E).

Flores (1987), en su estudio Estratigráfico-Sedimentológico del Jurásico Superior, separó en tres franjas las facies correspondientes al Kimmeridgiano, a saber: facies de grainstone-packstone de oolitas de ambientes de barrera, y otras dos que corresponden a cambios de facies laterales con respecto a la franja oolítica. Además, en ese mismo trabajo, propone utilizar nombres formacionales, "Uech" para la franja oolítica y "Chac" para la franja intermedia (2) y Costera (3), interpretando un modelo de sedimentación de plataforma somera de tipo terraza.

Holguín (1987), realizó el trabajo "Evaluación Geoquímica del Sureste de México" cuyo objetivo principal fue el de evaluar el potencial generador de hidrocarburos de las rocas del Tithoniano y Cretácico Inferior, a partir de la información geoquímica existente de muestras de pozos de las zonas Marina y Sureste, además de evaluar el potencial petrolífero de ésta área a profundidades mayores a 6000 m.

Basáñez y Brito(1988), por otro lado, realizaron un estudio diagenético de las rocas del Jurásico Superior y sus efectos regionales en el incremento o reducción de la porosidad y permeabilidad de acuerdo a los modelos sedimentarios y tectónicos del área.

En 1989, Angeles y García realizaron el estudio del prospecto Ceeh-Chuc, el cual tuvo como objetivo principal el detallar la distribución estratigráfica y sedimentológica de las litofacies del Jurásico Superior y Cretácico para definir los cambios diagenéticos que influyen en la porosidad, planteando sus tendencias para apoyar las localizaciones exploratorias.

Cal y Mayor (1988), realiza dos prospectos de secciones estructurales a nivel regional, en los cuales analiza el estilo de deformación en la zona Marina de

Campeche, concluyendo que existen tres estilos de deformación; uno causado por esfuerzos de compresión que provocó fallamiento inverso con orientación NW-SE, otro debido a esfuerzos distensivos que dieron lugar a un fallamiento normal con orientación NE-SW, y un tercero provocado por empuje de sal.

Mandujano (1991), realizó un estudio estratigráfico-sedimentológico de las rocas del Cretácico en los campos Luna y Sen, al sur del área en estudio, determinando ocho tipos de porosidad secundaria.

Algunos estudios de tipo bioestratigráfico se han realizado por investigadores del Instituto Mexicano del Petróleo, entre los más recientes está el realizado por Ornelas, *et al.* (1991), en el cual obtuvo una determinación cronoestratigráfica, a nivel regional, de los límites Tithoniano-Kimmeridgiano-Oxfordiano.

#### **II.D.- METODO DE TRABAJO**

Para cumplir con los objetivos planteados para este trabajo de tesis, se realizaron las siguientes actividades:

##### *a).- Recopilación y análisis de información.*

Como todo trabajo de este tipo, se recopiló y analizó toda la información geológica-geofísica existente tanto en prospectos internos de Petróleos Mexicanos así como de instituciones externas como el Instituto Mexicano del Petróleo. Por otro lado se reunió bibliografía sobre temas análogos y ejemplos de otras áreas petroleras del mundo.

Asimismo hubo la necesidad de analizar los datos regionales existentes actualizando y realizando planos de litofacies e isopacas para cada una de las unidades estratigráficas propuestas para el Jurásico Superior Kimmeridgiano, así como interpretaciones preliminares de los ambientes existentes y el modelo de depósito.

##### *b).- Estudio petrográfico-diagenético y elaboración de registros compuestos*

El estudio petrográfico y diagenético a detalle, de muestras de canal, núcleos y láminas delgadas se realizó cada 5 metros de profundidad; cabe aclarar que para el

estudio diagenético sólo se contó con un microscopio petrográfico y se identificaron los procesos diagenéticos principalmente en láminas delgadas y muestras de núcleos en superficies pulidas. Se realizó una sección esquemática mostrando el modelo diagenético propuesto .

Por otro lado se elaboró un formato específico para la descripción de las muestras estudiadas utilizando la nomenclatura, para rocas carbonatadas, propuesta por Dunham (1962). En los intervalos dolomitizados se utilizó un "difusor" a base de óxido de magnesio. Las láminas delgadas de dichos intervalos se tiñeron con solución de alizarina roja para diferenciar los minerales calcita y dolomita, de acuerdo al criterio de Friedman (1959). Asimismo se elaboró un formato para los registros compuestos (Anexo D), en el cual se decidió dejar en blanco el carril de impregnación de hidrocarburos y se prescindió de los datos de producción, por razones obvias.

Esta tesis está basada en el estudio de los siguientes pozos: Ayin-1, Citam-1A, Chem-1A, Ki-101, Kix-1, May-1, Mucuy-1, Sinan-1A, Sinan-101A, Yum-1 y Yum-401, con aproximadamente 2540 metros de columna total de todos los pozos y 700 láminas delgadas. Además, parcialmente se estudiaron 2 pozos cercanos al área original de estudio (Alux-1A, y Oktan-1A), por último se incorporó la información de cuatro pozos, que se perforaron durante el desarrollo de este trabajo (Kix-1A, Mison-1A, Kab-101 y Kax-1).

Se incluyen tres láminas con seis fotografías cada una, al final del capítulo VI, en las cuales se muestran las principales facies sedimentarias y eventos diagenéticos identificados.

*c).- Determinación de facies sedimentarias y ambientes de depósito.*

En la determinación de las facies sedimentarias se utilizó la clasificación planteada por Wilson (1975) para rocas carbonatadas; cabe aclarar que la facies 7 propuesta por el autor mencionado, como facies de plataforma marina abierta (laguna), en este trabajo se menciona como plataforma interna (laguna).

Asimismo se realizó el modelo de depósito que muestra la evolución sedimentológica del área en cuatro etapas y una sección esquemática que muestra la progradación de los bancos oolíticos.

*d).- Elaboración de planos y tablas generales.*

Se elaboraron los siguientes planos: distribución de facies sedimentarias e isopacas, así como los modelos de evolución sedimentológica para cada unidad estratigráfica, y planos de isoporosidades y espesores netos porosos de las facies almacenadoras. Por otro lado se incluyen las siguientes tablas generales (Anexo A): cimas y espesores por unidades estratigráficas, facies sedimentarias y sus procesos diagenéticos, paragénesis general del área por pozos, espesores netos porosos de las facies 6 y 6-7, y porosidades promedio de las facies almacenadoras. También se incluyen para cada uno de los pozos, la paragénesis general asociado a las facies identificadas (Anexo B).

*e.- Elaboración de secciones estratigráficas.*

Se elaboraron cinco secciones estratigráficas (Fig.2), dos con orientación SW-NE y tres en dirección NW-SE; con un total de 245 km aproximadamente, estas secciones se incluyen en el Anexo C, al final del texto.

Sección I - I'.- Citam-1, Sinan-1A, Sinan-101A y Ki-101

Sección II - II'.-Oktan-1A, May-1, Chem-1A y Mucuy-1

Sección III - III'.- Ayin-1, Sinan-1A, Yum-1 y Yum-401

Sección IV - IV'.- Ayin-1, Alux-1A, Sinan-101A, Chem-1A y Kix-1A

Sección V - V'.- Ki-101, Mucuy-1 y Kix-1A

El nivel de referencia para estas secciones es la cima paleontológica del Jurásico Superior Tithoniano.

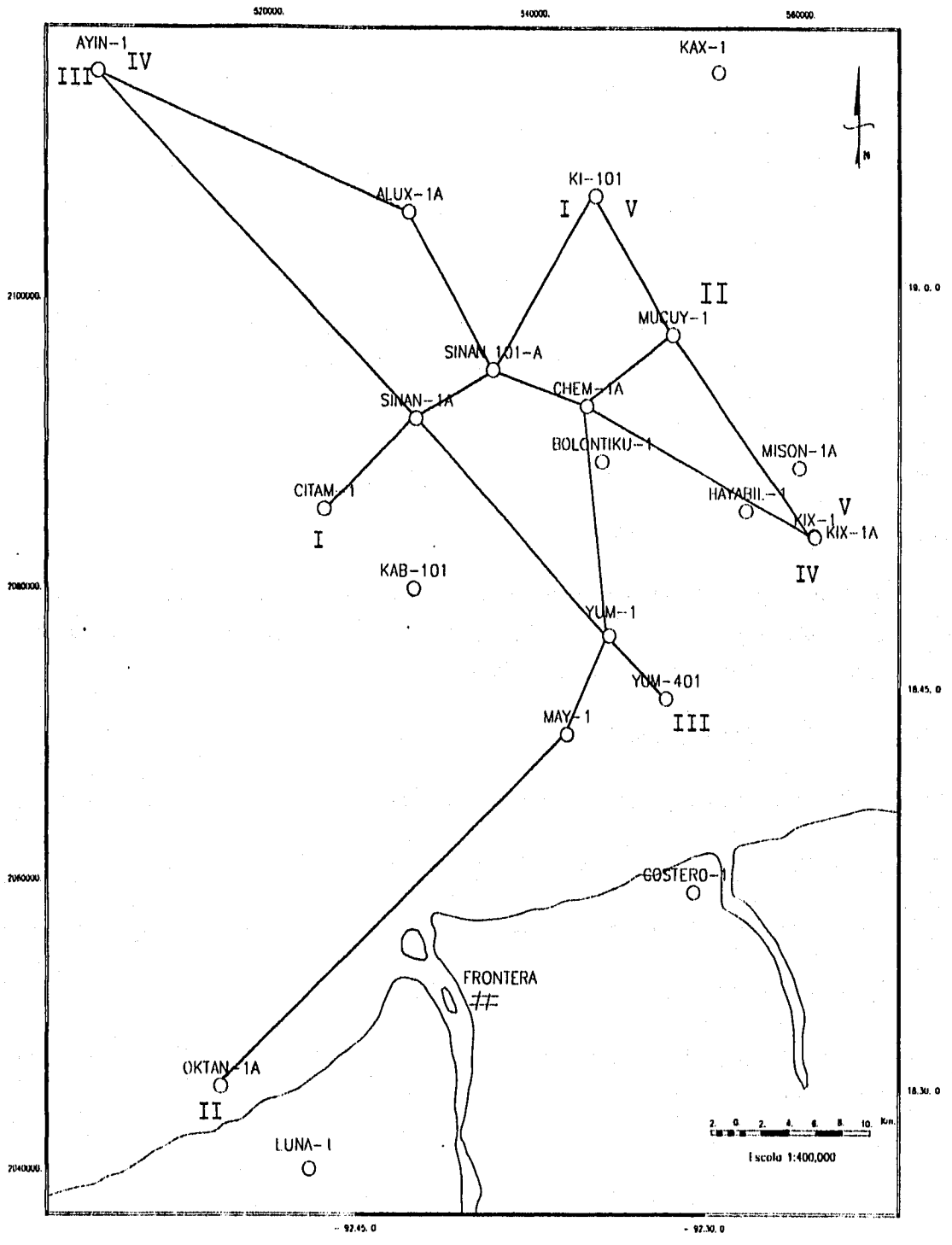


Fig.2 LOCALIZACION DE SECCIONES ESTRATIGRAFICAS

### III.- ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía del área marina, ha sido estudiada a nivel regional. Se conoce una columna sedimentaria de edad probable Jurásico Medio Calloviano al Reciente.

Por otro lado, Angeles (1986), estableció la existencia de ocho litofacies para el Jurásico Superior, correspondiéndole cuatro al Kimmeridgiano: B, C, D y E, de la más antigua a la más joven (Fig.3).

Flores (1987), propuso utilizar nombres formacionales: Uech para la "franja oolítica" y Chac para la franja intermedia y costera 1 y 2; sin embargo esta nomenclatura no ha sido utilizada en la Región Marina, por ser poco práctica.

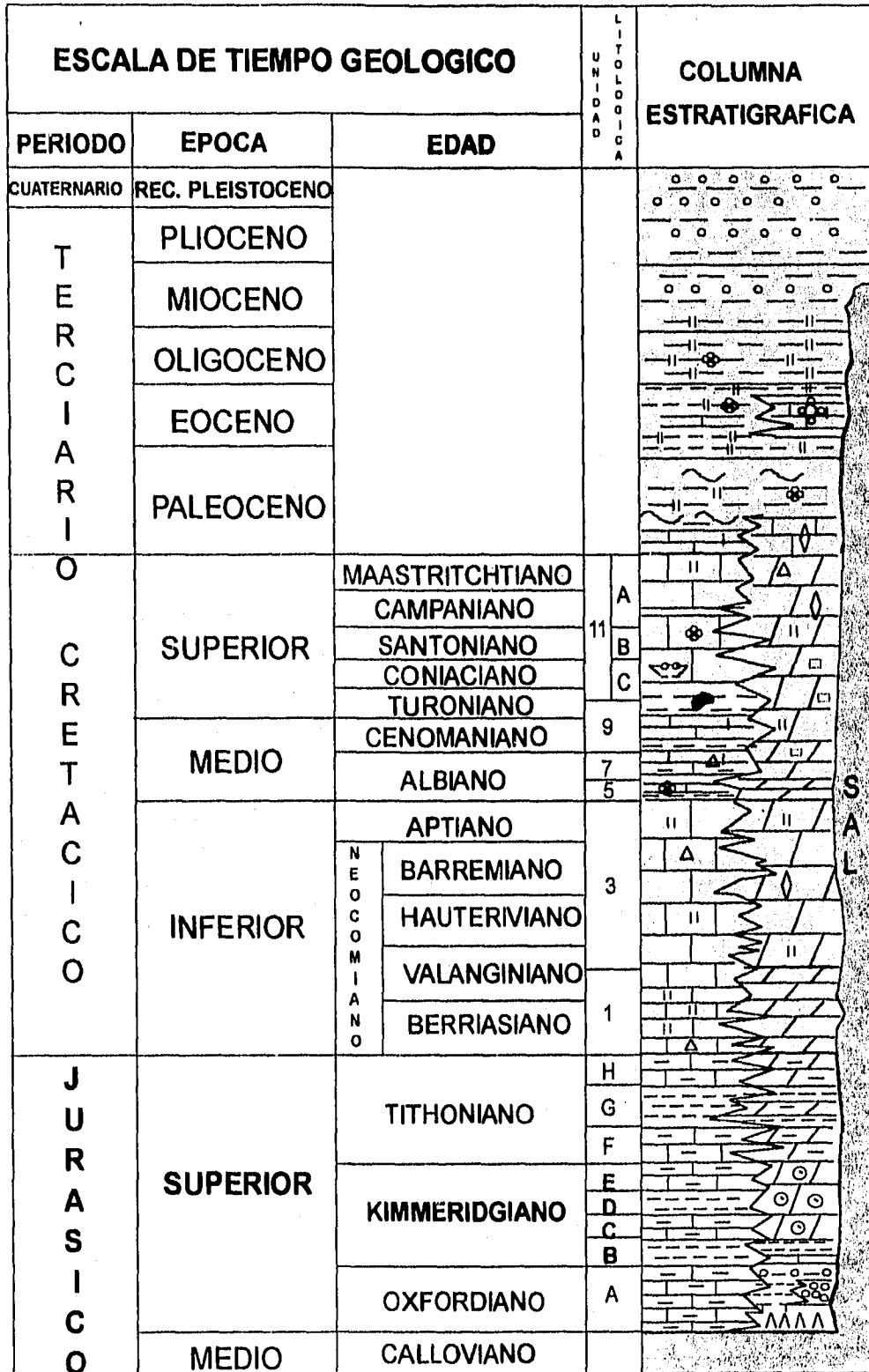
Debido principalmente a la escasez de la fauna en el área marina, del Jurásico Superior Kimmeridgiano, no se cuenta con un control bioestratigráfico, a excepción de la cima de dicho período (límite Tithoniano-Kimmeridgiano). Por esto, en el presente trabajo, las unidades del Kimmeridgiano se tomaron como unidades de tiempo a partir de líneas hipotéticas, con base en los cambios de sedimentación que se reflejan en cambios de la respuesta de los registros geofísicos principalmente de rayos gamma, litodensidad y resistividad.

Siguiendo este criterio, y a partir del estudio de la columna geológica de los pozos se pudo establecer la estratigrafía del área en estudio, identificándose cuatro unidades estratigráficas, que son correlacionables con las propuestas por Angeles (1986), con cambios de facies no reportadas hasta ahora; sin embargo se decidió seguir utilizando la nomenclatura propuesta para dichas unidades. Para ésto se realizaron cinco secciones estratigráficas, dos con orientación SW-NE y tres NW-SE, (Fig.2); estas secciones muestran el comportamiento de las unidades estratigráficas, así como las diferentes facies sedimentarias identificadas (Anexo C).

El nivel de referencia de las secciones es la cima del Jurásico Superior Tithoniano. El límite superior de Jurásico Superior Kimmeridgiano se ha establecido con la asociación faunística de Rhaxella sorbyana, Nautiloculina oolítica y algas dascicladáceas.

Sin embargo, últimamente Ornelas (1992) definió la cima del Kimmeridgiano, en varios pozos del área marina, con base en algas dascicladáceas y codiáceas, principalmente.

**ESTRATIGRAFIA REGIONAL  
DE LA SONDA DE CAMPECHE**



Compilación. Autores Varios (1995)

Fig.3 Columna Geológica Regional

En general, en el área estudiada se ha penetrado una columna sedimentaria con un espesor máximo de 795 m del Jurásico Superior Kimmeridgiano; la cual consiste de una secuencia de rocas carbonatadas, dolomitizadas, con algunas intercalaciones de terrígenos y evaporitas.

A continuación se describirán cada una de las unidades, mostrando tanto las isopacas como los planos de facies, éstos últimos muestran la litología más abundante de cada unidad.

### **UNIDAD B**

Esta unidad fue identificada solamente en cuatro pozos: Ayin-1, Alux-1A, Kix-1A y Yum-401; su espesor máximo penetrado es de 400 m en el pozo Alux-1A y el mínimo de 77 m en el Kix-1A, (Fig.4).

Con base en datos estratigráficos regionales, se infiere que la unidad B es concordante con rocas del Jurásico Superior Oxfordiano; su contacto superior es concordante, en toda el área con la unidad C. Su relación estratigráfica inferior se desconoce

La distribución de sus litofacies, debido a la falta de datos, se propone en franjas burdamente orientadas SW-NE (ya que datos de pozos al noreste del área en estudio así lo indican) y una zona de mayor aporte de sedimentos y subsidencia en el área del pozo Alux-1A, (Fig.5). La franja mas oriental (pozo Yum-401) está constituida por una secuencia terrígena-evaporítica y en menor proporción carbonatada, formada por anhidritas blancas y mudstones gris claro con lutitas limo-arenosas café claras bentoníticas.

En la cima de esta secuencia existen algunos cuerpos delgados de arenisca de cuarzo cementada por anhidrita y sílice. En la base de la misma presenta escasos wackestone-packstone de ooides, intraclastos, y bioclastos calcificados indeterminados. Esta litofacies fue identificada en el pozo Yum-401 en el cual se penetró un espesor de 107 m (Anexo A, tabla 1). La franja más al poniente de la primera está constituida por una secuencia clástico-carbonatada formada de lutitas y areniscas gris claro y gris verdoso, con algunas intercalaciones de packstone de ooides y oolitas, el espesor cortado de esta litofacies en el pozo Kix-1A es de 77 m



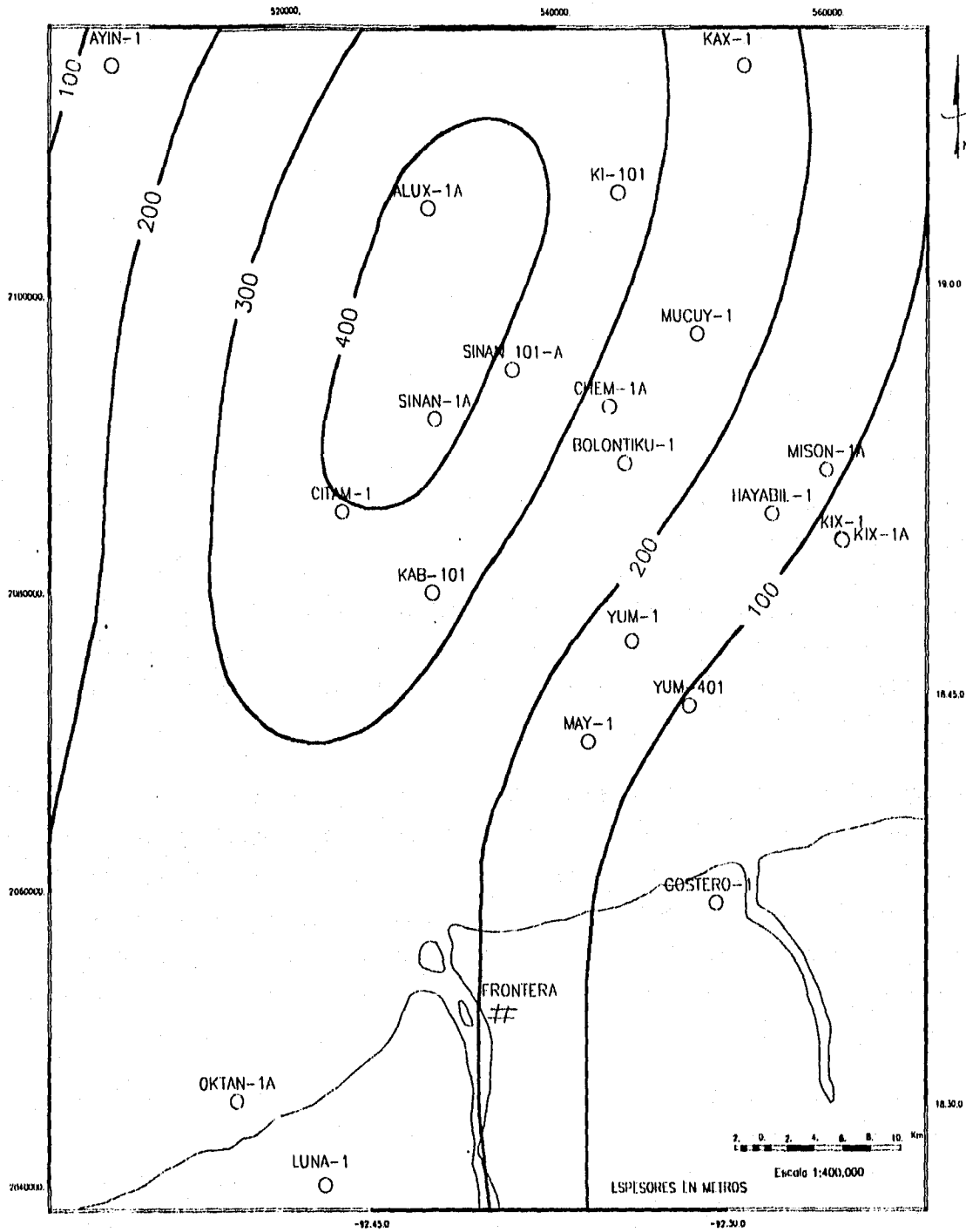


Fig.4 ISOPACAS. UNIDAD "B". JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

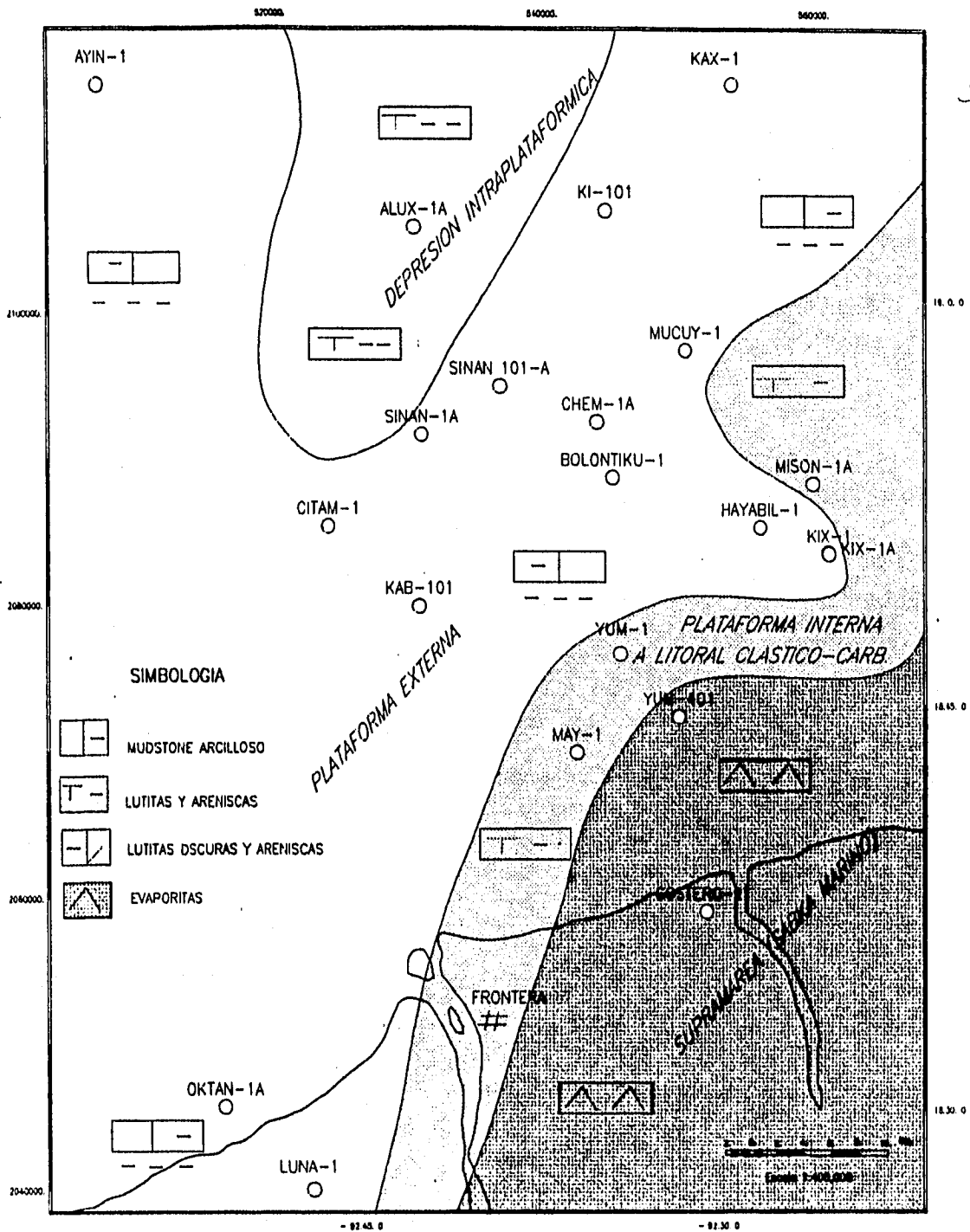


Fig.5 DISTRIBUCION DE FACIES DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

UNIDAD B

La parte central, la conforma una secuencia de mudstones arcillosos y lutitas, en partes con laminaciones de materia orgánica (Citam-1).

En la parte nor-central (pozo Alux-1A) esta unidad está representada por una secuencia de lutitas gris claro a oscura y arenisca de cuarzo gris claro con escasas calizas arcillosas.

Por último, el pozo Ayin-1, penetró 145 m de una secuencia de lutitas gris oscuro a negro, calcáreas, con escasas laminaciones de packstone de pellets y ooides gris claro dolomítico hacia la cima y escasas areniscas de cuarzo finas cementadas en material calcáreo con fracturas selladas con anhidrita y esporádicas brechas de clastos subangulosos de fragmentos de mudstone de 0.5 a 8 cm en la parte inferior y media. La fauna identificada en el núcleo 4 fue: Cadosina sp., saccocomas, foraminíferos bentónicos y probables algas piritizadas.

La porosidad promedio de esta unidad B es de 1-2%, principalmente en la litofacies carbonatadas, de tipo secundaria intercrystalina, asociada a la dolomitización y en fracturas, con pobre impregnación de aceite ligero.

### **UNIDAD C**

Esta unidad estratigráfica fue identificada en ocho pozos: Ayin-1, Alux-1A, Citam-1, Chem-1A, Kax-1, Kab-101, Kix-1A, May-1, Yum-1 y Yum-401.

Sin embargo, únicamente en cinco de los pozos mencionados, se logró conocer el espesor total de ésta unidad, los demás pozos sólo lograron penetrar algunos metros, por lo que las isopacas (Fig. 6) fueron configuradas de acuerdo a tendencias regionales conocidas y de las demás unidades suprayacentes y completado con información de pozos de tierra (Costero-1) y aquellos recientemente perforados Sinán-201. En el plano de isopacas se muestran los valores máximos conocidos, concentrándose en tres áreas principales, de los pozos: Yum-401, Sinán-201 y Alux-1A. Hacia los extremos NE Y SW así como en el área SE las isopacas se adelgazan.

Suprayace concordantemente a la unidad B y subyace de igual forma a la unidad D. Se distribuye ampliamente en toda el área y se puede dividir, para una mejor explicación, en cuatro zonas (Fig.7).

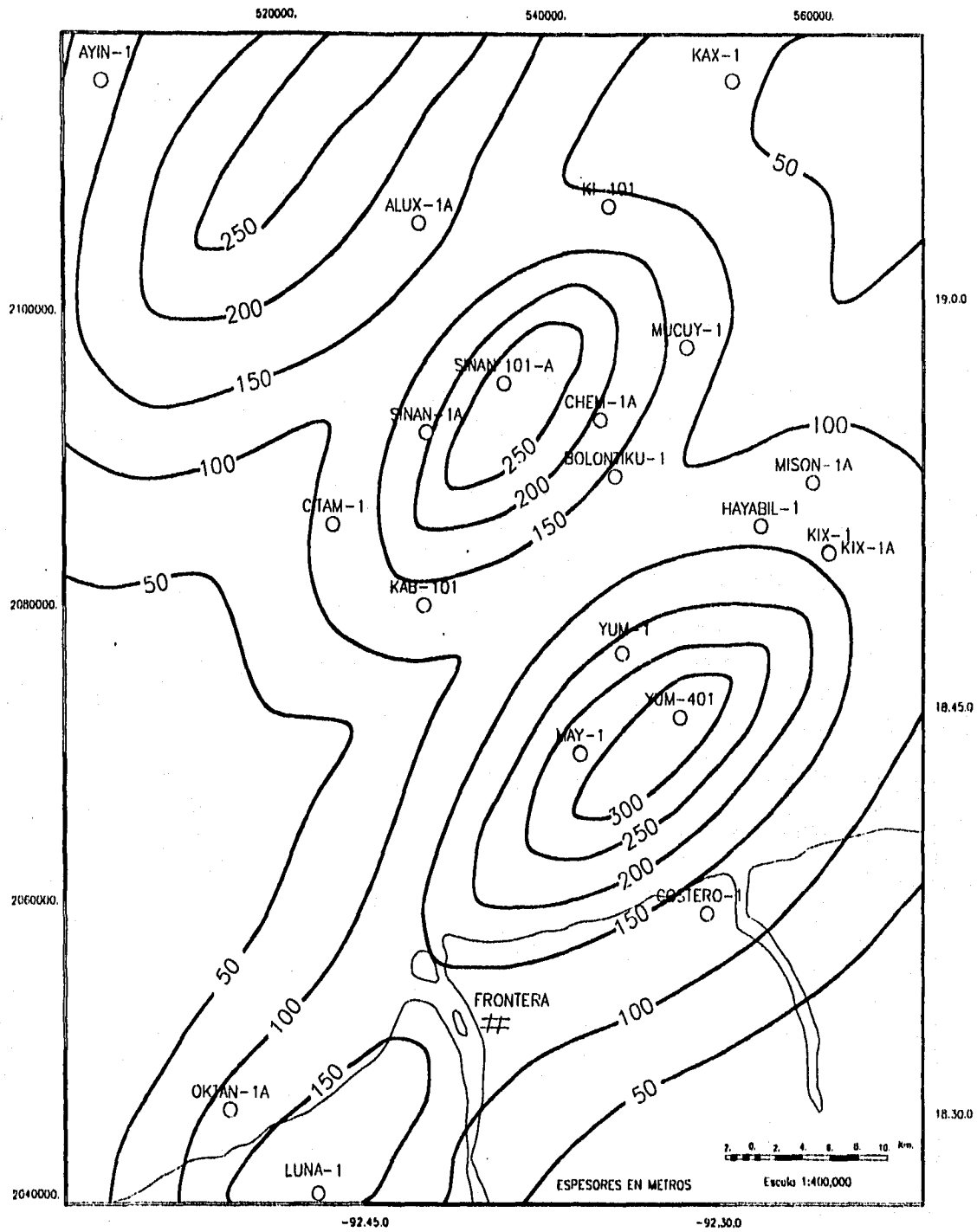


Fig.6 ISOPACAS. UNIDAD "C". JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

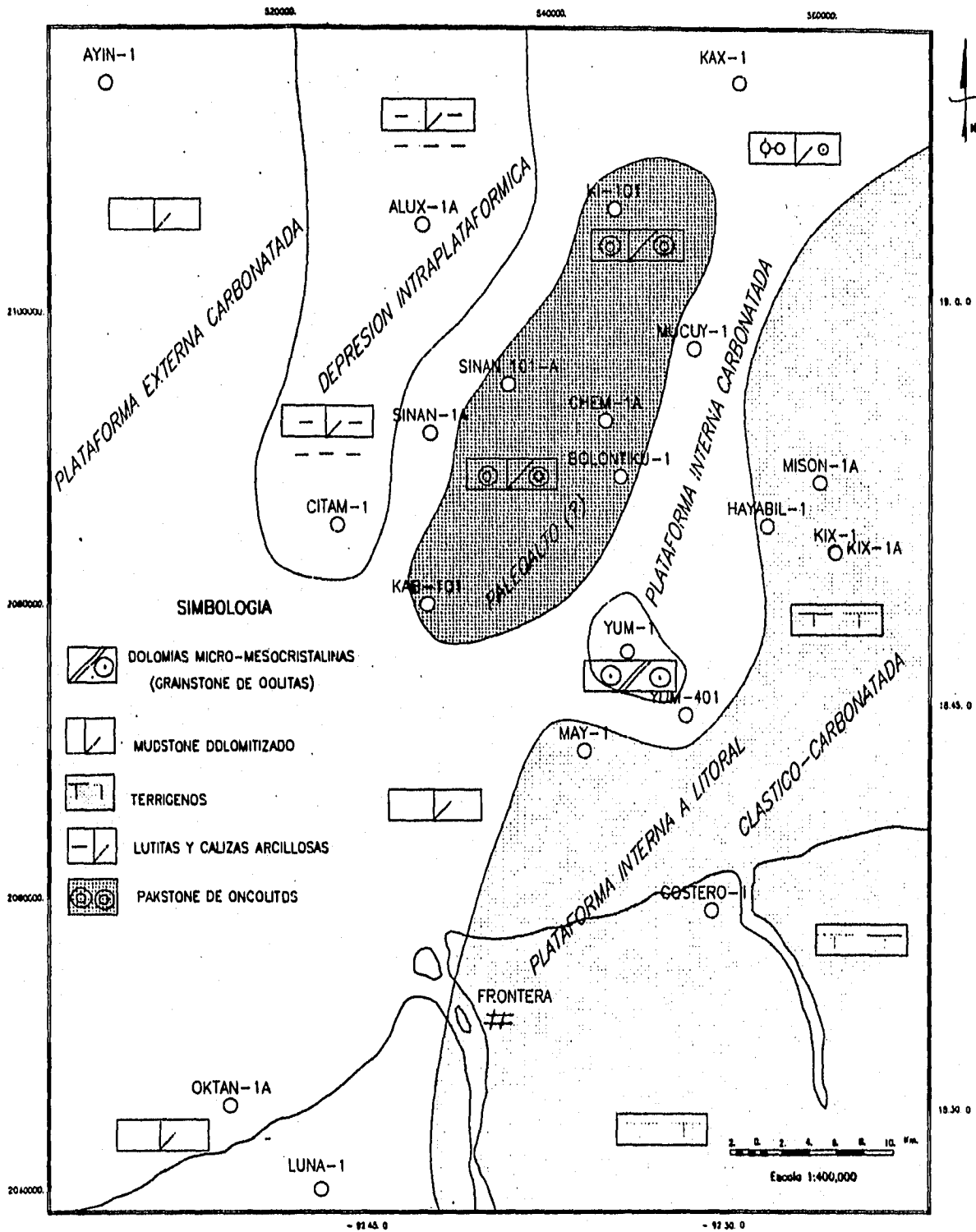


Fig. 7 DISTRIBUCION DE FACIES DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

UNIDAD C

La zona oriental (pozos May-1 y Kix-1A) está constituida por una secuencia, de 100 m en promedio, clástico-carbonatada que está formada principalmente por areniscas de cuarzo gris claro, de grano fino a medio subanguloso a subredondeado y mal clasificada, cementada en un 40% con dolomita y en menor grado con anhidrita (1%) y sílice (3%), la escasa matriz presente es arcillosa, en partes presenta algunas oolitas y ooides dispersos hasta en un 10%.

Por otro lado esta arenisca presenta bioturbación en forma de galerías (pozo May-1), y porosidad prácticamente nula. Se identificaron también (pozo Kix-1A), interestratificaciones de wackestones-packstones de oolitas, arenosos, con cementante carbonatado dolomitizado; las oolitas no presentan dolomitización y sus núcleos están constituidos de cuarzo detrítico del tamaño de la arena fina.

Algunas intercalaciones de dolomías micro-mesocristalinas arenosas se encuentran hacia la cima de esta unidad, con porosidad secundaria intercrystalina de 3 al 5%.

En la zona de los pozos Yum-1, Yum-401, esta unidad la representan 305 m, penetrados en el pozo Yum-401, de una secuencia carbonatada con influencia terrígena, que en la base la constituyen principalmente, wackestone-packstones de ooides, café claro en partes dolomítico, ligeramente arenoso con fragmentos de moluscos y algas (*Acicularia* sp.), valvas de ostrácodos, foraminíferos bentónicos y algunos bioclastos recristalizados y fracturados; con porosidad de 1-2%.

Estos carbonatos se intercalan con cuerpos de packstone a grainstones de ooides, oolitas, granos envueltos y fragmentos de algas, dolomíticos, con porosidad de 4-6%. Hacia la parte media de la columna del pozo Yum-401, se identificó una secuencia de mudstones dolomitizados café claro, en partes arenosos y escasos packstones de pellets dolomitizados con dolomías hasta con un 20% de arena de cuarzo y plagioclasas finas, subangulosas, con partes arcillosas. Algunas dolomías preservan su textura original de un packstone de pellets con porosidad del orden de 2-3%.

En toda esta secuencia se intercalan capas delgadas de lutitas calcáreas con materia orgánica (pozo Yum-401). En el pozo Yum-1 se identificó una secuencia de dolomías mesocristalinas gruesas (0.05-0.35 mm) café claro a café oscuro en parte arenosas que observadas al difusor se trata de un packstone-grainstone de ooides. Los ooides, son semiesféricos, redondeados y seleccionados de un tamaño promedio de 0.09 a 0.18 mm, bien empaquetados. La porosidad en éstas dolomías es principalmente intercrystalina y varían del 6-8%, con regular impregnación de aceite ligero y residual.

Hacia la cima esta unidad presenta intercalaciones de packstone de ooides y wackestone de pellets dolomitizado, con porosidad de 2-3%, localmente se presentan dolomías mesocristalinas y packstone-grainstone de ooides gris claro con fragmentos de moluscos, espinas de equinodermos, bioclastos indeterminados, porosidad de 6-8% y regular impregnación de aceite ligero en porosidad intercrystalina (pozo Chem-1A). En el pozo Ki-101 se identificó un grainstone de oolitas, granos envueltos, oncolitos, grapestones, pellets, intraclastos y algas.

La zona que comprende los pozos Alux-1A y Citam-1 está formada por un rango de espesores inferidos de 100 -250 m conformado por intercalaciones de mudstone café claro a oscuro en partes dolomítico y arenoso en un 5% y limo-arcilloso con Rhaxella sorbyana, valvas de ostrácodos y placas de equinodermos; presenta abundantes estiolitas y microlaminaciones arcillosas así como fracturas selladas por calcita y anhidrita e inclusiones de anhidrita (pozo Citam-1), este mudstone se intercala con lutitas gris verdosa a gris oscura de aspecto carbonoso con materia orgánica y pirita diseminada.

La parte central del área (pozos Kab-101, Chem-1A y probablemente Sinan 101A, Ki-101 y Mucuy-1), está constituida por un rango de espesores entre 100-250 m de una secuencia formada por wackestone-packstone de oolitas y pellets, dolomitizado, con intercalaciones de mudstone bentonítico, areniscas de cuarzo de grano fino, wackestone-packstone de bioclastos y grainstone de oolitas, bioclastos y fragmentos de algas (pozo Kab-101).

La zona sur del área (pozo Oktan-1A), probablemente esté constituida por una secuencia de mudstone, en partes bentonítico que hacia la porción noreste presentan dolomitización, con algunas oolitas dispersas.

Por último, la zona nor-occidental (pozo Ayin-1) se identificaron 132 m de una secuencia de lutitas gris oscuras con mudstone gris verdoso dolomítico y arcilloso con pobre impregnación de aceite pesado. Hacia la base se intercalan wackestone-packstones de pellets y ooides, donde las porosidades varían de 3 a 4%.

Resumiendo, esta unidad en general presenta porosidades de 1 a 2% a excepción de los cuerpos dolomitizados donde se identificaron porosidades visuales de hasta 8%, con impregnación de aceite ligero y residual (pozo Chem-1A y Yum-1).

## **UNIDAD D**

Esta unidad estratigráfica fue identificada en todos los pozos del área, a excepción del Kix-1. Los espesores máximos atravesados se localizan en el área de los pozos Citam-1 y Kab-101 con más de 170 m y en el pozo Kix-1A, con 187 m (Fig. 8).

Subyace concordantemente a la unidad E y está suprayaciendo concordantemente a la unidad C. Esta unidad se distribuye ampliamente en toda el área (Fig. 9).

En la zona oriental (pozos Kix-1A, Mison-1A y Chem-1A) la unidad D, está representada por espesores que oscilan entre 90 y 180 m de una secuencia terrigeno-carbonatada, constituida por areniscas de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca gris claro, de grano fino a muy fino, bien clasificada y pobremente cementada por calcita, dolomita, sílice y escasamente por anhidrita. Los cuarzos son monocristalinos y policristalinos, ígneos y metamórficos subangulosos a subredondeados y presentan contactos tangenciales, puntuales y cóncavo-convexos.

Estas areniscas presentan en ocasiones bioturbación por galerías (pozo Chem-1A). Alternan cuerpos de mudstone a wackestone y en ocasiones packstone (pozo Kix-1A) de pellets, oolitas y peloides micritizados, arenosos. Las oolitas son semiesféricas bien redondeadas, del tamaño de 0.12-0.20 mm. Los pellets y peloides están bien redondeados y en promedio miden 0.5 mm; la porosidad varía de 4 a 6%. Hacia la base y la parte media de esta unidad se intercalan cuerpos de dolomías micro-meso-cristalinas (pozo Chem-1A) limo-arenosas y arenosas las cuales presentan, en ocasiones, hasta un 40% de arena de cuarzo y feldespatos, subredondeada a subangulosa, bien seleccionada.

Estas dolomías en ocasiones presentan relictos ("fantasmas o sombras") de ooides con porosidades de 8-10% intercrystalina con buena impregnación de aceite ligero (pozo Chem-1A); presenta además estilolitas verticales.

En la zona nor-central (pozo Ki-101, Mucuy-1, Sinan-1A y Sinan-101A, Kax-1) esta unidad consiste de una secuencia carbonatada que varía de 80-160 m, constituida por potentes cuerpos de grainstone-packstone de oolitas y pellets, café claro a café oscuro en partes dolomitizados.

En los pozos Ki-101 y Sinan 101A estas rocas tiene características especiales, ya que están formadas por oolitas de diferentes tamaños. Un 60% de oolitas son "grandes" (0.8 a 2 mm), y el 40% restantes son oolitas y pellets mas pequeños (0.05 a 0.2 mm). Las oolitas grandes presentan fracturamiento y micritización, encontrándose



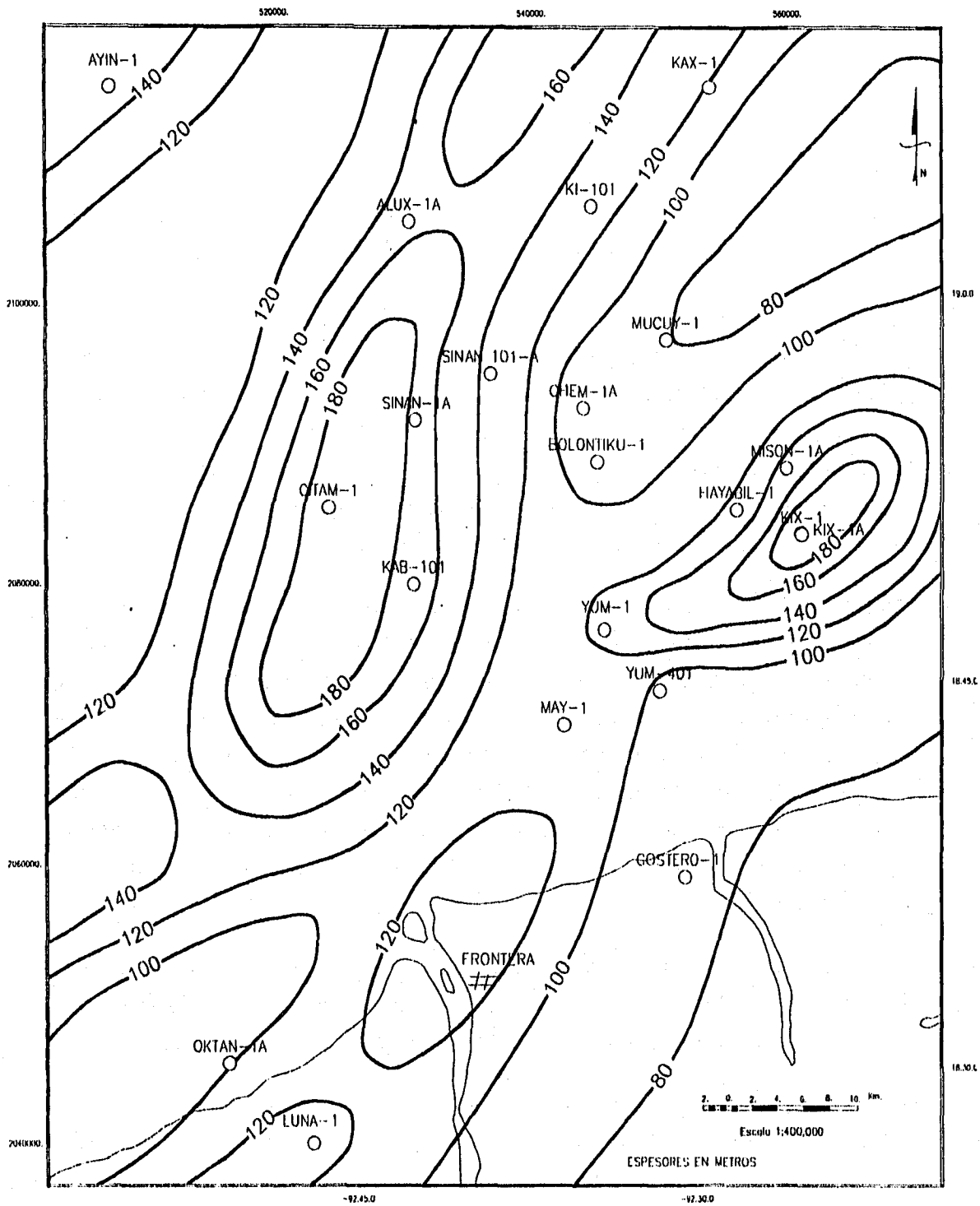


Fig.8 ISOPACAS. UNIDAD "D". JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

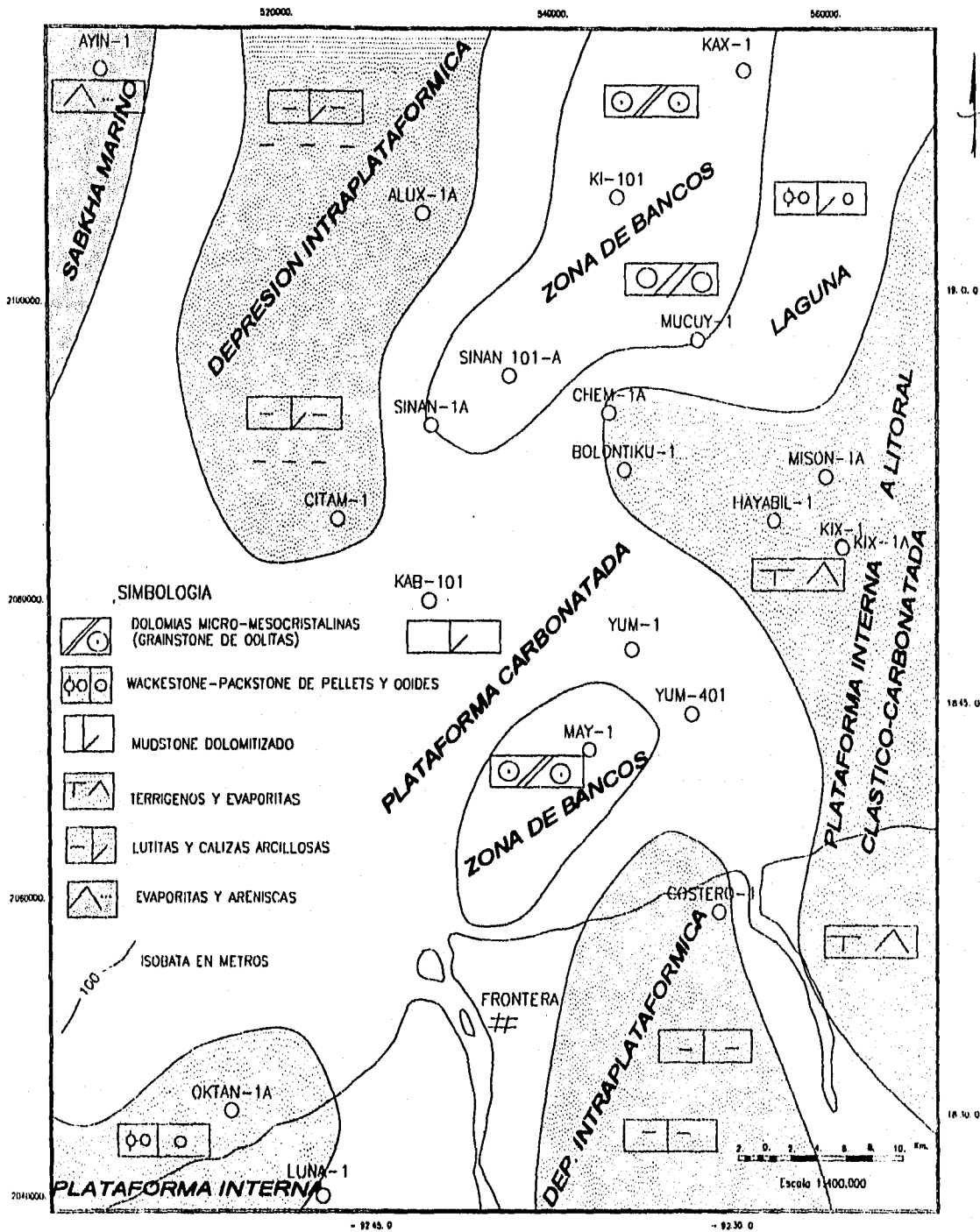


Fig. 9 DISTRIBUCION DE FACIES DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

UNIDAD D

generalmente hacia la cima; en general las oolitas son radiales y presentan diferentes constituyentes en sus núcleos (intraclastos, fragmentos de algas dasciudadáceas, bioclastos y fragmentos de moluscos). Los pellets en promedio miden 0.05 mm y son bien redondeados. Existe también un porcentaje de intraclastos, que en ocasiones llegan al 10% (pozo Sinan-101A), de hasta 2 mm de diámetro, subredondeados, constituidos por mudstone recristalizado.

La porosidad es secundaria por disolución e intrapartícula, varía de 6 a 8%; en menor proporción presenta porosidad intrafosilar con buena impregnación de aceite residual. La porosidad en el pozo Sinan-101A es mayor, se incrementa a valores del 12% con buena impregnación de aceite ligero, de tipo intercrystalina y en fracturas; se identificó aceite residual en estilolitas.

Hacia la parte inferior, de esta unidad, existe un grainstone café claro a gris claro de oolitas, granos envueltos, grapestone y oncolitos, con bioclastos, algas (*Cayeuxia* sp.) y placas de equinodermos. Los núcleos de las oolitas son en algunas ocasiones de intraclastos de otras oolitas. Existen fracturas selladas por calcita con impregnación de aceite ligero y un micro-fracturamiento con impregnación de aceite residual y en estilolitas.

En el pozo Sinan-101A, la cima de esta unidad está formada por un cuerpo de dolomías mesocrystalinas en su origen packstone-grainstone de oolitas (90%), de tamaños entre 0.08 y 0.18 mm y pellets (10%), con porosidad intercrystalina y por cavidades de disolución de 6-8% con pobre impregnación de aceite pesado. Se intercalan pequeños cuerpos de packstone-grainstone de pellets y peletoides gris claro recristalizado con porosidad casi nula (1%). En este pozo se identificaron flujos de oolitas "grandes".

Hacia el área del pozo Sinan-1A, estos packstones-grainstones de ooides se reducen en espesor, encontrándose solo en la base de este pozo y hacia la parte media. La unidad D está representada por una alternancia de 30 m aproximadamente de wackestone-packstone de ooides café claro con mudstone gris verdoso bentonítico y fauna bentónica característica del Kimmeridgiense: *Nautiloculina oolítica*, *Rhaxella sorbyana* y placas de equinodermos. Hacia la cima existe un cuerpo de 40 m aproximadamente de mudstone gris claro bentonítico, arenoso y recristalizado con un 10% de arena de cuarzo que se intercalan con pequeños cuerpos de wackestone de bioclastos.

En la zona sur-central (pozo May-1) la unidad está representada por 105 m, aproximadamente, de dolomías meso-microcristalinas café claro y gris claro que en su origen es un packstone-grainstone de oolitas y ooides; el cual está constituido por oolitas "grandes" 0.2 a 1 mm y oolitas mas pequeñas (0.01 mm), en partes arenosas donde los núcleos de las oolitas son de cuarzo detrítico del tamaño de limo. Las porosidades varían de 10-12% en la parte basal y de 8 a 10% en la parte superior, de tipo secundaria intercrystalina principalmente por dolomitización y por disolución de núcleos de oolitas formando una porosidad móldica. En toda la unidad se observa buena impregnación de aceite ligero.

Por otro lado, en la zona sur-oeste del área (pozo Oktan-1A), la unidad D está representada por mas de 80 m de wackestone-packstone de pellets y ooides dolomítico con porosidad de 3 a 4% donde se identificó Rhaxella sorbyana; con estilolitas verticales. En partes estas secuencias presentan mudstones recristalizados.

En la zona más al norte (pozos Citam-1 y Alux-1A) esta unidad está representada por una secuencia carbonatada de mudstone café claro limo-arcilloso, en partes bentonítico y micritizado, ligeramente dolomítico, con pirita diseminada y anhidrita como minerales accesorios, presenta fracturas selladas por calcita. Esta secuencia presenta algunas intercalaciones de lutita negra de aspecto carbonoso y materia orgánica diseminada y escasas areniscas de cuarzo de grano fino. La porosidad en estas rocas es pobre de 1 a 2% sin impregnación de hidrocarburos. Esta misma secuencia fué identificada en el pozo Costero-1, en la porción terrestre, con mayor porcentaje de lutitas oscuras.

En la parte central del área de estudio (pozo Kab-101), se identificó una secuencia de aproximadamente 171 m de packstone de intraclastos, pellets, oncolitos y bioclastos, intercalados con mudstone bentonítico y dolomítico.

Por último, en la parte más nor-occidental del área, el pozo Ayin-1 cortó una secuencia terrígena-evaporítica de 147 m; representada, en su base, por 40 m aproximadamente de anhidrita blanca a gris clara en partes arcillosa. La parte media se compone de una secuencia de 90 m de limolita café rojiza que en partes gradúa a arenisca de cuarzo gris claro de grano fino con cementante silíceo. Por último, la parte superior de ésta unidad está constituida por aproximadamente 13 m de anhidrita café oscura a gris clara.

## **UNIDAD E**

La unidad E conforma la parte más alta del Jurásico Superior Kimmeridgiano y fué identificada en todos los pozos del área estudiada con un espesor máximo de 114 m en el pozo Yum-401. Los espesores mínimos se presentan hacia la zona de los pozos Chem-1A , Mucuy-1 y Ayin-1 (Fig.10).

Esta unidad suprayace concordantemente a la unidad D y subyace concordantemente a su vez a las rocas de edad Jurásico Tardío Tithoniano.

Esta unidad se distribuye ampliamente en toda el área (Fig.11) y está constituida por diferentes litofacies, que se distribuyen de la siguiente manera.

En la parte oriental (pozos Kix y Mison-1A) esta unidad está representada por una secuencia carbonatada dolomitizada de aproximadamente 90 m, constituida por dolomías microcristalinas finas café oscuras en ocasiones con un 5% de cuarzo detrítico del tamaño del limo subredondeado a subanguloso, bien clasificado; con porosidades visuales de 6-8% y buena impregnación de aceite ligero. Estas dolomías están interestratificadas con dolomías mesocristalinas, como en el pozo Kix-1, que en su origen es un packstone-grainstone de oolitas, con porosidad móldica en microcavidades de disolución hasta un 14 a 16% con buena impregnación de aceite ligero; la porosidad intercristalina es de 4-5% en promedio. En esta secuencia se identificaron algunos intervalos de mudstone recristalizado y dolomítico.

En la parte centro-oriental (pozos Ki-101, Kax-1, Mucuy-1, Sinan-101A, Sinan-1A y Chem-1A), la unidad está representada por una secuencia carbonatada dolomitizada de aproximadamente 50 m en promedio.

Hacia los pozos Ki-101, Sinan-101A y Sinan-1A, consiste de packstone-grainstone café claro a gris claro, de ooides, intraclastos, pellets y granos envueltos; en el pozo Sinan-101A, incluso se identificaron packstones de grapestone de oolitas con algunos núcleos de oolitas más pequeñas. En el pozo Sinan-1A ésta secuencia presenta intercalaciones de mudstone café claro a oscuro con Rhaxella sp. y bioclastos indeterminados, micritizado, ligeramente limoso y algunas veces bentonítico.

Por otro lado, en las muestras de canal se observan abundantes oolitas sueltas de hasta 2 mm de diámetro; en general éstos packstone-grainstone presentan microcavidades de disolución. En la base de la secuencia, éstos cuerpos presentan oolitas de diferente tamaño con partes arenosas (cuarzo detrítico subanguloso del ta

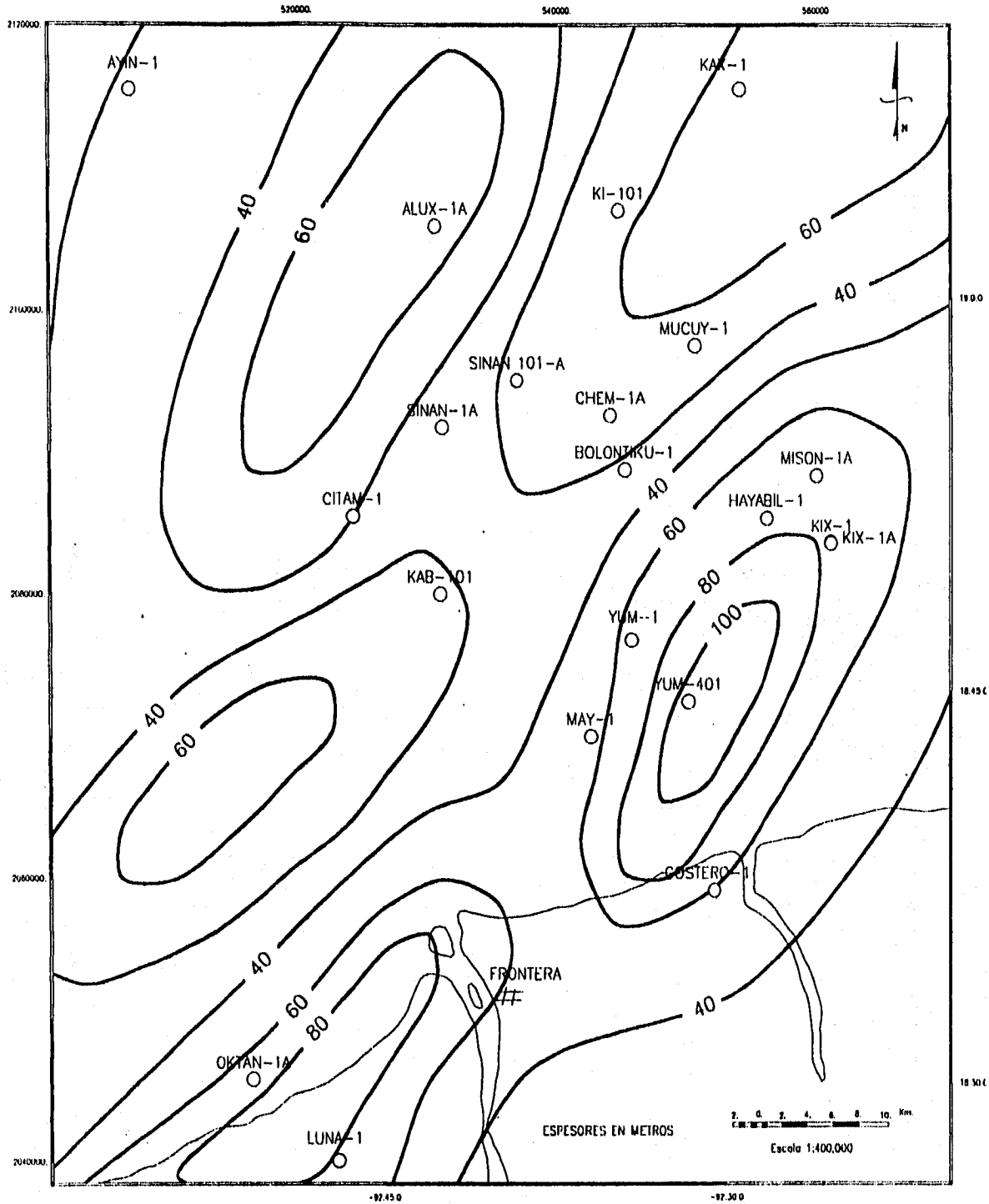


Fig.10 ISOPACAS. UNIDAD "E". JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

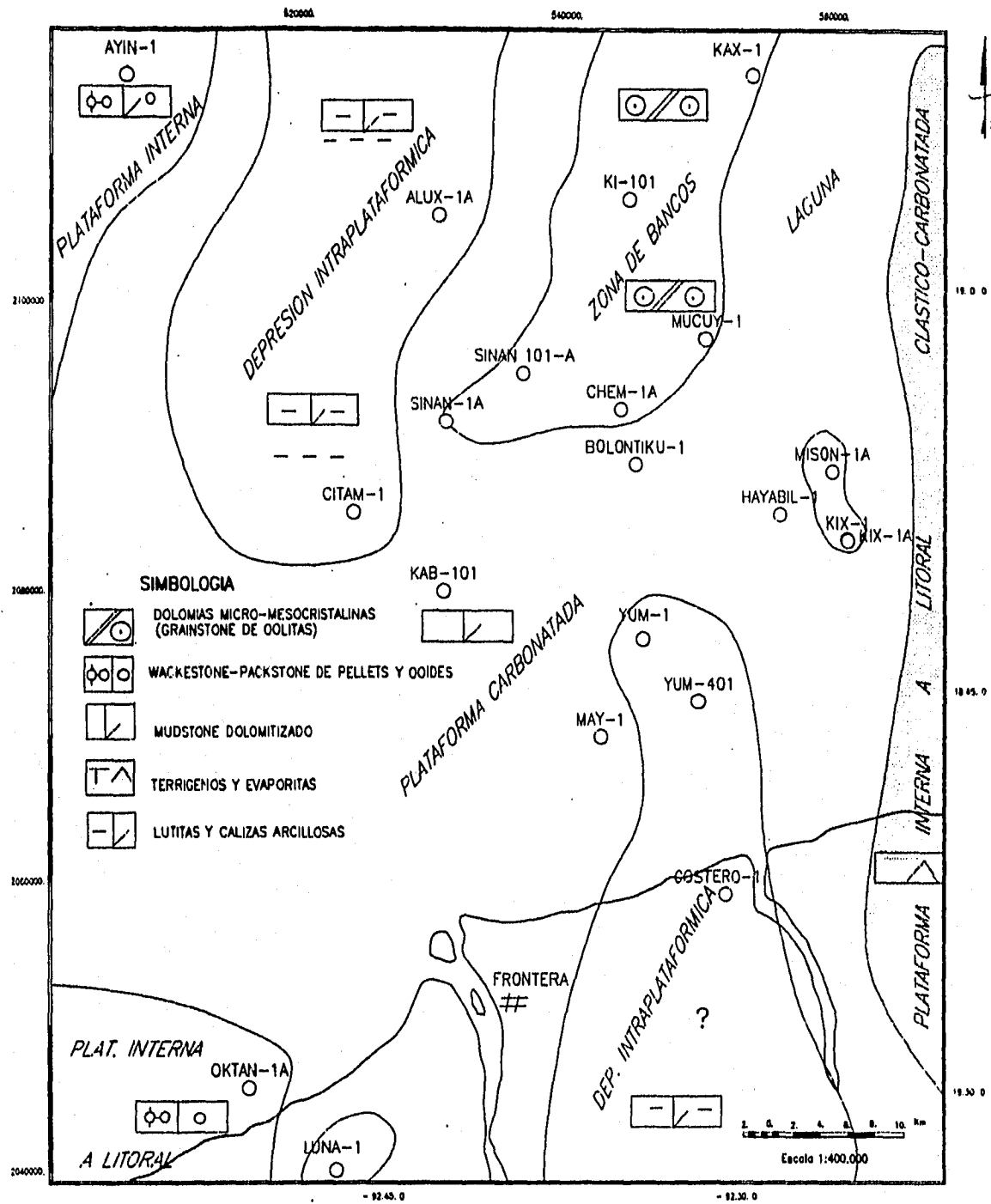


Fig. 11 DISTRIBUCION DE FACIES DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO  
UNIDAD E

maño de limo y arena fina), también algunas oolitas presentan núcleos de fragmentos de algas.

En el pozo Ki-101 se observan intraclastos de hasta 1 mm de diámetro, constituidos en un 65% por fragmentos de algas verdes (algalclastos), bien redondeados de 0.08-0.15 mm. Las oolitas son semiesféricas bien redondeadas de 0.15 a 0.38 mm de diámetro con contactos suturados y disolución parcial de sus bordes, llegando en ocasiones a estar disueltas casi por completo. La porosidad de estas rocas es intrapartícula, por disolución e intercrystalina por dolomitización, en ocasiones móldica, y en promedio varía de 8 a 10% con buena impregnación de aceite ligero. La porosidad intrapartícula es de 10-12% conformando un total de porosidad visual de 14 a 16%.

En algunas ocasiones se intercalan algunos packstones de pellets, intraclastos y oolitas café oscuro donde los pellets en promedio miden 0.1 mm, son ovalados, bien redondeados y clasificados; éstos presentan de un 15-20% de cuarzo detrítico (ígneo y metamórfico) del tamaño de la arena fina subredondeada y bien clasificada. Hacia la base se observa un grainstone de grapestone de oolitas, granos envueltos, intraclastos y pisolitas con un 5% de bioclastos indeterminados. Se identificaron algunos fragmentos de algas y de moluscos, Trocholina sp. y foraminíferos bentónicos. Esta secuencia presenta bioturbación por galerías.

Continuando, hacia la zona de los pozos Mucuy-1 y Chem-1A, los pellets y los mudstones se incrementan, aunque predominan las oolitas.

En la zona sur-central, (pozos Yum-1, Yum-401 y May-1), la parte media e inferior de ésta unidad, está compuesta de lutitas oscuras a gris oscuras y en menor proporción areniscas de cuarzo con intercalaciones de mudstone-wackestone y escasos packstone de pellets dolomíticos gris oscuro. Esta secuencia está más dolomitizada en el pozo Yum-401 donde se identificaron algunas dolomías mesocristalinas con "fantasmas" de ooides, limo-arenosas, que gradúan a una arenisca calcárea dolomitizada.

En el área de los pozos Yum ésta unidad está representada en la cima por 8 m aproximadamente de un cuerpo de wackestone-packstone de ooides dolomítico café a gris claro, arenoso y dolomías mesocristalinas con "fantasmas" de ooides, en la cual se reportaron Rhaxella sorbyana, Rhaxella sp., y Nautiloculina sp. En general la porosidad en éstos intervalos es pobre y en las partes dolomitizadas varía de 3 a 5%, con buena impregnación de aceite ligero.



En el pozo May-1, la unidad E está constituida por una secuencia carbonatada de 55 m de dolomías microcristalinas en partes arenosas y bentoníticas con Rhaxella sorbyana, que alternan con mudstone café claro bentonítico arenoso parcialmente recristalizado y dolomitizado.

En la zona sur-occidental, en el pozo Oktan-1A, se cortaron 69 m de una secuencia carbonatada constituida por packstone de ooides con fragmentos algas dasciudadáceas y codiáceas hasta en un 40% y bioclastos indeterminados; ésta secuencia se encuentra pobremente dolomitizada, fracturada y recristalizada, con porosidades del orden de 3 a 4%.

Hacia la zona nor-occidental media (pozos Alux-1A y Citam-1) esta unidad está constituida por mudstone café y gris claro en partes gris verdoso que en ocasiones presenta inclusiones de anhidrita y microlaminaciones onduladas; mudstone café claro en partes arcilloso con 3-4% de partículas de cuarzo del tamaño del limo angulosas a subangulosas; con inclusiones de anhidrita y pirita de hasta 0.5 mm de diámetro y pirita diseminada. Estos mudstone en partes se presentan bentoníticos con fracturas selladas por calcita y arcilla, con porosidades de 3-4% en fracturas y pobre impregnación de aceite pesado. En el núcleo uno del pozo Citam-1 fue identificada la siguiente fauna: Rhaxella sorbyana, placas de equinodermos, escasos ostrácodos, Cadosina sp. y moldes de amonitas de 1.5 cm de diámetro en promedio, con pirita en el centro. Hacia la cima del núcleo se identificó bioturbación, laminaciones onduladas, microfallas asociadas a las zonas arcillosas y laminaciones convolutas y cruzadas con estructuras de flujo.

En el extremo noroccidental, en el pozo Ayin-1, se identificó 21 m de una secuencia de packstone-grainstone de pellets y oolitas arenoso con intercalaciones de arenas de cuarzo y lutitas gris oscuro. En el núcleo dos de dicho pozo, se identificó la siguiente fauna: Salpingoporella sp., Griphoporella mínima y Nautiloculina oolítica con valvas de ostrácodos y fragmentos de equinodermos.

En la parte central del área (pozo Kab-101), la unidad E está representada por 56 m, en promedio, de una secuencia de wackestone-packstone de oolitas, intraclastos, y fragmentos de algas, en partes dolomitizada, intercaladas con mudstone bentonítico y dolomítico.

Por último, según los datos investigados por el pozos Luna-1, de tierra, esta unidad está representada por una secuencia de dolomías mesocristalinas con "sombras de ooides".

#### IV.- FACIES SEDIMENTARIAS E INTERPRETACION AMBIENTAL

En este capítulo se analizarán las diferentes facies sedimentarias identificadas, así como su interpretación ambiental; para ésto se sigue el criterio de Reading (1986) quien define una **facies** como un cuerpo de roca, con características específicas, el cual es definido con base en color, estratificación, composición, textura, fósiles y estructuras sedimentarias. El mismo autor menciona que una **biofacies** es una facies en la cual la primera consideración es en base a su contenido biológico.

En caso de que los fósiles estén ausentes o sean muy escasos y el énfasis sea en características químicas y físicas de las rocas, entonces el término **litofacies** es apropiado.

Por lo mencionado anteriormente para definir las facies sedimentarias de las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano, se realizó el estudio petrográfico a detalle, cada 5 m, de muestras de canal y de los núcleos cortados en cada pozo, identificando los cambios litológicos importantes y los diferentes intervalos que presenta cada columna geológica.

Por otro lado, para la determinación de facies sedimentarias se utilizó la clasificación planteada por Wilson (1975) para rocas carbonatadas (Fig.12). La distribución de facies fue generalizada en nueve cinturones estandar, de acuerdo a la experiencia del mencionado autor, en carbonatos antiguos; según esto un ejemplo no incluye los nueve cinturones necesariamente. Los factores como régimen tectónico, pendiente, niveles de energía en cuencas adyacentes y régimen climático son algunas de las variables que afectan el desarrollo de facies y su distribución.

De acuerdo al criterio antes mencionado, se reconocieron las facies sedimentarias: 2, 3-4, 6, 6-7, 7,8, 9 y una facies de bancos de arenas clásticas.

Por otra parte, las cuatro unidades cronoestratigráficas identificadas (ver capítulo III), B, C, D y E, corresponden en general a ambientes sedimentarios de plataforma carbonatada, localmente clástico-carbonatada, con algunas depresiones intraplatafórmicas. Por consiguiente, cada una de las unidades mencionadas puede involucrar una o mas facies sedimentarias. La relación entre las facies y las unidades se visualizan mejor en la figura 13 a y b, éstas son columnas sintéticas que pretenden resumir dicha relación.

A continuación se describirán cada una de las facies identificadas, así como su interpretación ambiental.

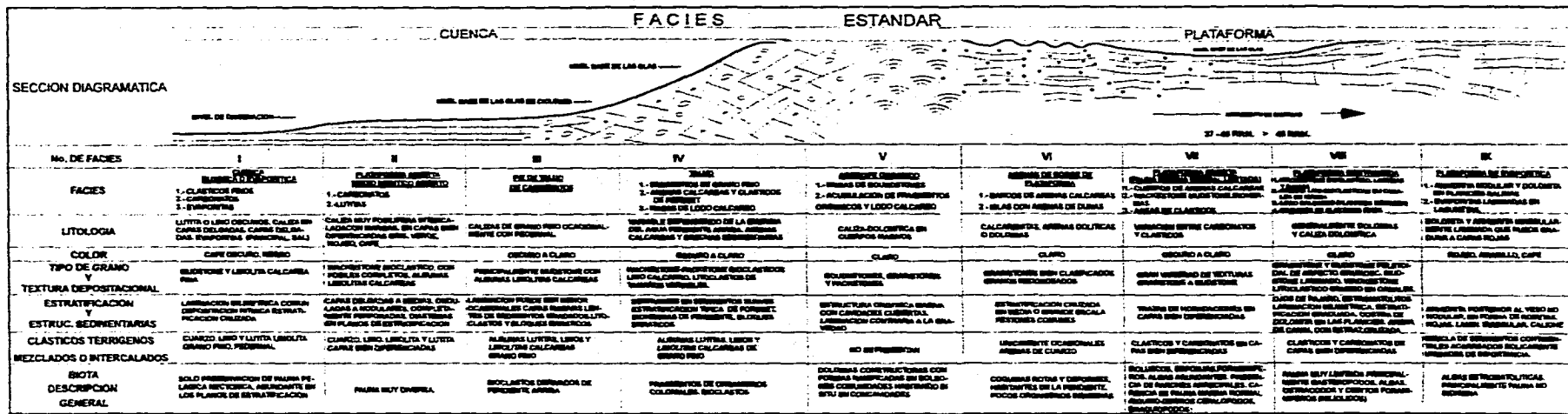


Fig. No. 12 Esquema general de Facies para rocas Carbonatadas

J.L. REYES (1970-74)

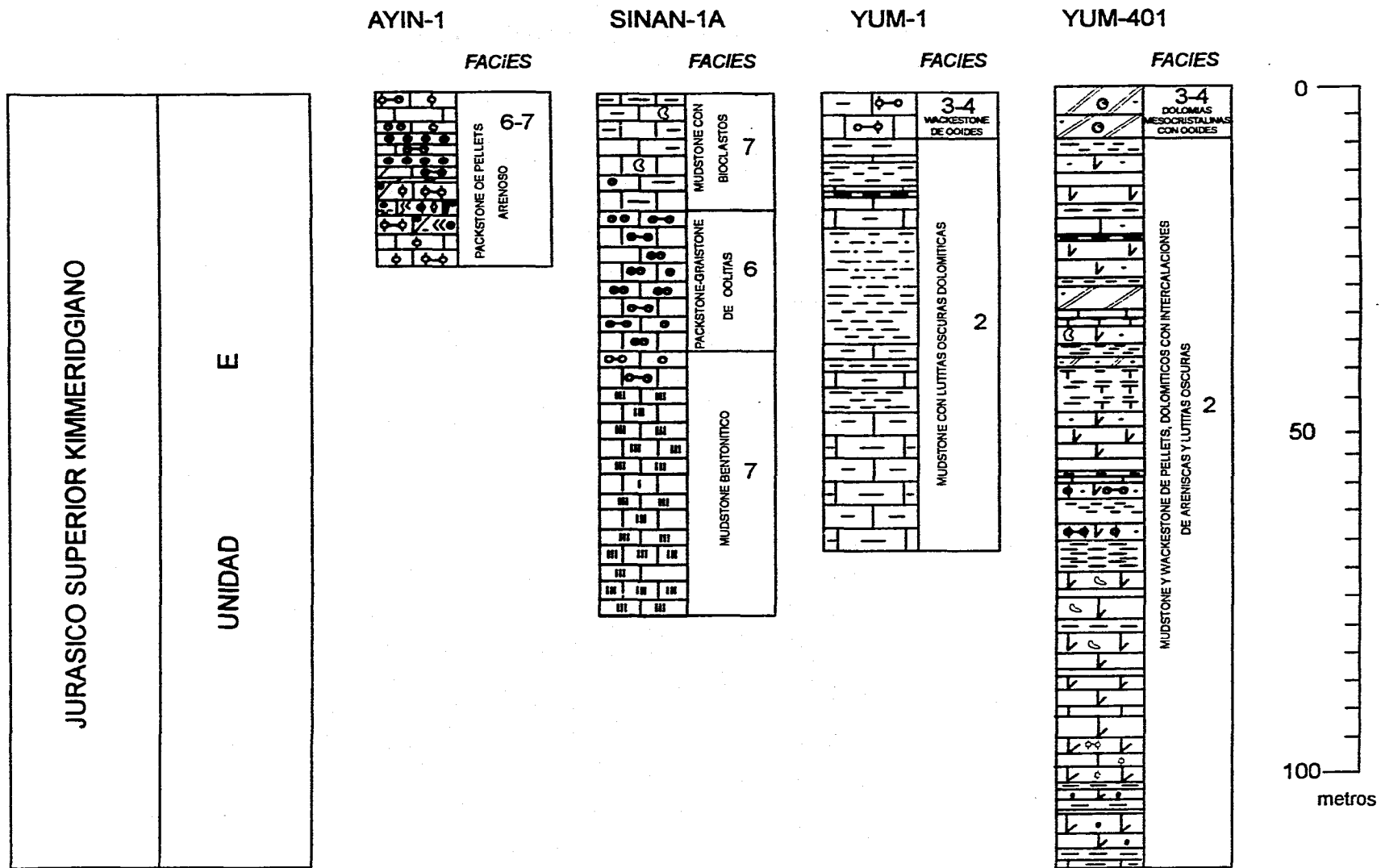


Fig. 13a Columnas Sintéticas de los pozos y sus Facies sedimentarias

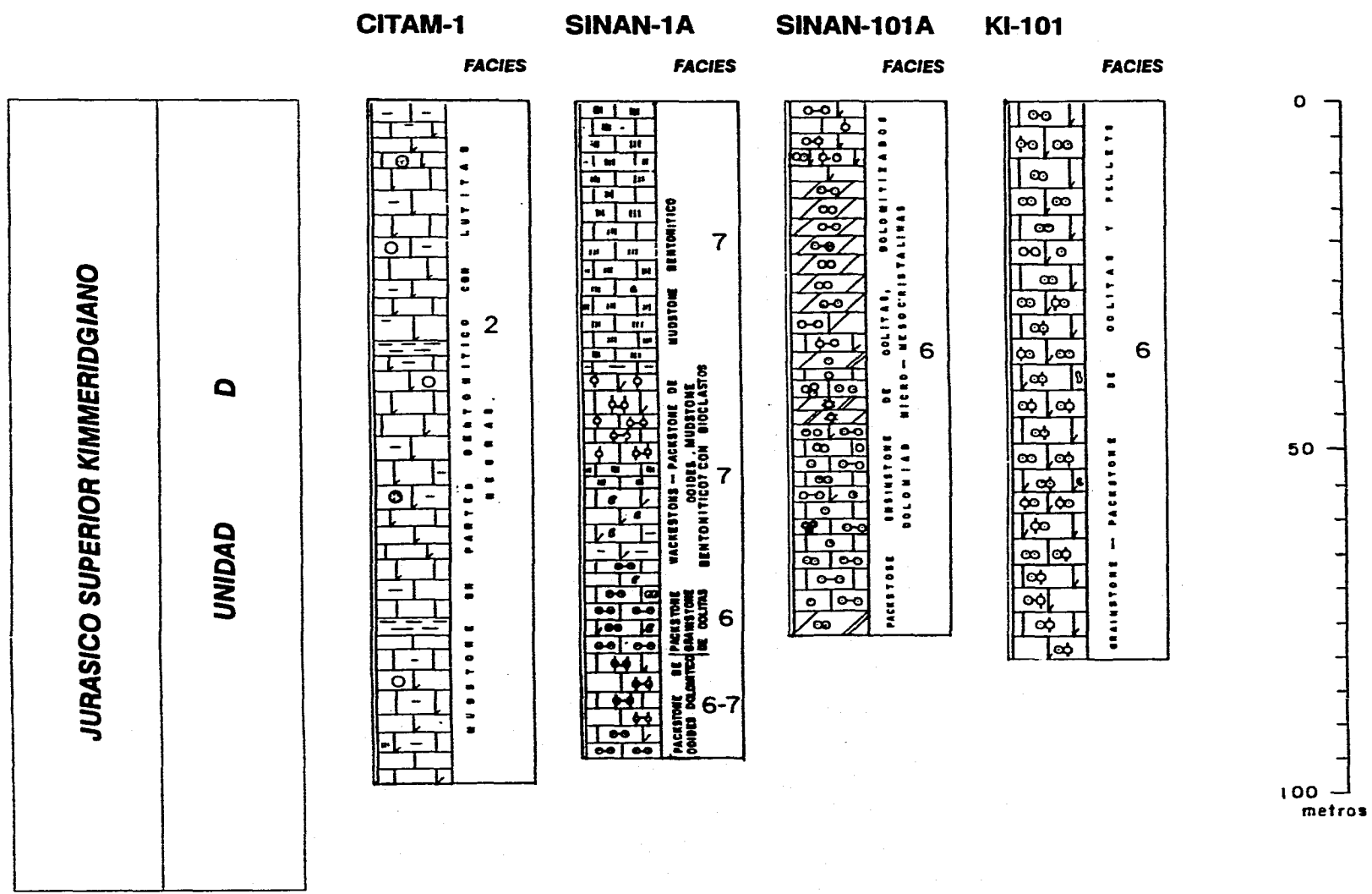


Fig. 13 b Columnas sintéticas de los pozos y sus facies sedimentarias

### **Facies 3-4 ("falsa")**

Está representada por wackestone-packstone de ooides, arcilloso. Los ooides se presentan micritizados y retrabajados (fracturados y rotos); con un 3-4% de cuarzo detrítico, subredondeado, mal clasificado y en partes fracturados. En algunas ocasiones éstas facies están representadas por dolomías micro-mesocristalinas con cuarzo detrítico del tamaño de limo y arena fina hasta en un 5%, con partes arcillosas.

Se identificó en la parte superior de la unidad E, en el área sur-central (pozos Yum-1 y Yum-401). Presenta algunos granos de cuarzo rotos y fracturados y ooides retrabajados. Lateralmente se interdigita con la facies 7 de plataforma "externa". Los espesores promedio de estas facies son de 8 m, las cuales por sus características como la arcillosidad los granos rotos, ooides retrabajados y su relación estratigráfica con la litología arriba y abajo, se infiere que los componentes de estas rocas tuvieron un cierto transporte por corrientes, depositándose a manera de pequeños flujos en una depresión (depresión intraplatafórmica), sin llegar a ser una verdadera facies 3-4 de talud como las que describe Wilson (1975).

### **Facies 2**

Esta facies se identificó en dos zonas del área de estudio: la zona centro-occidental (pozos Citam-1 y Alux-1A) y en el área sur-central (pozos Yum-401 y Yum-1). Estratigráficamente se identificó a nivel de la unidad E, sin embargo, es posible encontrarla en las unidades C y D.

En el área centro-occidental está representada por mudstones dolomíticos y bentoníticos, con bioclastos y abundantes Rhaxella sp. y Rhaxella sorbyana, valvas de ostrácodos, placas de equinodermos, Cadosina sp., escasas amonitas y piritita diseminada; intercaladas con éstos mudstones existen lutitas oscuras de aspecto "carbonoso" con materia orgánica diseminada, con un 5% de cuarzo detrítico. Estas secuencias pueden contener hasta un 10% de dolomías micro-mesocristalinas limo-arenosas y arenosas las cuales gradúan a una arenisca de cuarzo cementada por sílice y dolomita. El cuarzo es subanguloso y mal clasificado.

Por las características antes mencionada, así como la fauna identificada, se infiere para ésta facies un ambiente de baja energía en zonas de aguas moderadamente profundas, en una depresión intraplatafórmica. La depresión intraplatafórmica del área de los pozos Citam-1A y Alux-1A, puede ser una depresión con conexión al mar

abierto, por la fauna presente, y la depresión en el área del pozo Yum-1 parece ser una zona aislada es decir cerrada, aparentemente más profunda que la anterior, debido a la predominancia de los cuerpos arcillosos oscuros (Fig.11).

### **Facies 6**

Esta facies está representada por packstone-grainstone de oolitas y ooides; se identificó a diferentes niveles estratigráficos principalmente en las unidades D y E. Lateralmente ésta facies se interdigita con la facies 7. (lagunar o de plataforma externa ) y localmente con la facies de plataforma clástica-carbonatada. La mejor expresión de esta facies se encuentra en la zona nor-central (pozos Ki-101, Sinan-101A, Chem-1A y Mucuy-1) y en la zona sur-central (pozo May-1).

Algunas veces estos cuerpos de carbonatos, están completamente dolomitizados formando dolomías mesocristalinas. Estos cuerpos presentan características muy especiales; como oolitas "grandes" (1-2 mm), siendo en ocasiones verdaderos oncolitos (pozo Ki-101), oolitas pequeñas (0.15 a 0.38 mm en promedio), núcleos de oolitas de diferente composición: intraclastos (pozo Ki-101), cuarzo detrítico (pozo May-1), fragmentos de algas y otras oolitas (pozos Sinan-101A y Ki-101). Presentan también, disolución de sus núcleos y flujos de oolitas (pozos Sinan-101A, núcleo-2).

En general se presenta una mezcla de oolitas grandes y pequeñas hacia el extremo occidental (pozos Ki-101, Sinan-101A y Sinan-1A) con predominancia de oolitas "pequeñas" en el extremo oriental (pozos Chem-1A, Mucuy 1 y Yum-1).

De acuerdo a Bathurst (1971), el tamaño de las oolitas está inversamente relacionado a la cantidad de energía en el ambiente de depósito, así la mejor clasificación en un grainstone de oolitas está localizado en las zonas mas altas, los cuales por algunos periodos quedan en exposición subaérea.

Las características petrográficas y texturales que presentan éstas rocas, sugieren que los sedimentos fueron depositados en un ambiente de alta energía, donde se acumularon éstas partículas no clásticas, las cuales formaron pequeños bancos que en ocasiones quedaron expuestos subaéreamente, en zonas topográficamente altas.

Estos bancos se desarrollaron en un área preferencial, alineados burdamente NE-SW (Fig.10 y 12), siendo asimétricos, ya que se puede inferir que tenían una mayor pendiente hacia el extremo occidental (es decir hacia la plataforma "externa"), lugar

donde se identificó una mezcla de partículas grandes y pequeñas con algunos flujos de las primeras.

A partir de un análisis general, se observó que el tamaño de la oolitas en éstas facies varían de la base a la cima de la columna, decrecientemente; es decir, en la base existen oolitas más grandes que hacia la cima, incluso algunos oncolitos que se identificaron están presentes en las partes inferiores, abajo inmediato de los bancos carbonatados (pozos Ki-101 y Chem-1A). Por otro lado la clasificación es mejor hacia la cima (pozos Ki-101, Chem-1A y May-1) de la columna.

Esto apoya la interpretación arriba mencionada, ya que la facies presente abajo de los bancos (facies 8) está relacionada a altos paleogeográficos (Fig.7). La evidencia directa de partes con exposición subaérea de estos bancos se discute en el capítulo VI, donde se hace el análisis del estudio diagenético y la paragénesis general del área.

#### ***Facies 6-7***

Estas facies tienen características de una mezcla entre las facies 6 y 7, está representada por packstone-grainstone de oolitas e intraclastos intercaladas con wackestone y packstone de pellets, peloides, oolitas, intraclastos y granos envueltos, en ocasiones con un 15 a 20% de cuarzo detrítico del tamaño de arena fina, subredondeados y bien clasificados.

En orden de abundancia los pellets sobresalen hasta en un 50-57% (pozo Ki-101 y Ayin-1), con tamaño promedio de 0.1 mm, bien redondeados y clasificados. Los peloides están presentes hasta en un 44%, con tamaños promedio de 0.2 mm; las oolitas siguen en abundancia y sus tamaños son variables. Los intraclastos, así como los granos envueltos, son escasos. En algunas ocasiones se intercalan mudstones bentoníticos (pozo Sinan-101). Dichas facies se encuentran preferencialmente en las unidades estratigráficas D y E y con menor frecuencia en la unidad C (pozo Yum-1) (Figs. 7,9 y 11).

Por las características mencionadas, ésta facies se interpreta como zonas cercanas a los bancos, con mejor expresión hacia la zona lagunar y en zonas de interbancos. Lateralmente ésta facies se interdigita principalmente con la facies 7 lagunar. La presencia de pellets y peloides indican que los sedimentos de ésta facies fueron depositados en un ambiente con menor energía que las facies 6. La zona donde se



presentan dichas facies pueden ser zonas de generación de oolitas, ya que si bien no es una zona de alta energía si existe la suficiente para originar dichas partículas tomando el material (principalmente lodo calcáreo) de las zonas más cercanas a la facies 7 lagunar. Esto, aunado a que ésta facies presenta fragmentos de algas verdes principalmente Salpingoporella sp. y Griphoporella mínima (núcleo 2, pozo Ayin-1).

### **Facies 7**

Se identificó prácticamente en toda el área y a diferentes niveles estratigráficos. Está representada por mudstones dolomíticos, en partes bentoníticos y recristalizados con un máximo de 10% de cuarzo detrítico subanguloso y escasas plagioclasas (pozo Yum-1), del tamaño de limo-arena fina, mal clasificado. Esta facies presenta en algunas ocasiones, Raxhella sorbyana y Raxhella sp., bioclastos indeterminados y laminaciones arcillosas. En el pozo Sinan-1A, se identificaron algunas intercalaciones de wackestone de ooides y bioclastos, dolomitizado.

En ocasiones los mudstones bentoníticos se intercalan con wackestone-packstone de peloides micritizados y dolomitizados, con Rhaxella sorbyana, valvas de ostrácodos y placas de equinodermos. Por las características petrográficas y texturales que presentan ésta facies se interpreta como originadas a partir de dos ambientes distintos; esto es, donde abundan los mudstones en un 90% se infiere un ambiente de baja energía de una plataforma más profunda, que para diferenciarla se le llamará plataforma "externa" como en el área de los pozos Sinan-1A y May-1; y las zonas donde se identificaron varias intercalaciones de wackestone-packstone de peloides, son áreas de baja energía pero semirestringidas, condición necesaria para que los microfósiles y partículas mencionadas existan, esto es, un ambiente de plataforma interna lagunar (pozos Mucuy-1 y Kix-1A).

Esta facies 7, en general, tiene como característica principal que rodea a la facies 6 de bancos carbonatados y está depositada encima de dicha facies (pozos Ki-101, Sinan-1A y Mucuy-1). Por otro lado cuando ésta facies se desarrolla en un ambiente lagunar puede presentar un porcentaje alto de influencia clástica, es decir limo y arena hasta en un 50%, como sucede en el área de los pozos Yum-401 y Kix-1A donde se identificaron dolomías microcristalinas arenosas y limo-arenosas, intercaladas con wackestone de pellets y algunos horizontes de lutitas oscuras y arenisca de cuarzo.

### **Facies 8**

Esta facies fue identificada en las unidades C y E principalmente, su mejor representación es en el área sur-occidental (pozo Oktan-1A) y en menor grado en el área central (pozos Ki-101, Chem-1A y Sinan-1A). En el pozo Sinan-1A, ésta facies son delgados cuerpos interestratificados en las facies 6, de escasos 50 cm en promedio, el intervalo donde mejor se identificó ésta facies está a 5530 m (núcleo 2). En el pozo Kab-101, perforado recientemente, se identificó ésta facies a nivel de las unidades E y D.

Está representada por packstone-grainstone de grapestone y oolitas, granos envueltos, intraclastos (grainstone de oolitas), ooides, bioclastos, oncolitos y fragmentos de algas, en partes bioturbado. En orden de abundancia las partículas tienen las siguientes características.

Los grapestones, alcanzan hasta un 20% del total de la roca, están formados principalmente por oolitas y granos envueltos, con tamaño promedio de 0.45 mm, son alargados y de forma ovoide, bien redondeados. Las oolitas, están presentes hasta en un 80% (pozo Sinan-101A, núcleo 2), en ocasiones tienen sus núcleos formados por intraclastos de otras oolitas (pozo Ki-101).

Los fragmentos de algas, pueden estar presentes hasta en un 15% (pozos Sinan-101A y Oktan-1A) y son principalmente dasciadáceas (Acicularia jurásica, Acicularia sp., Macroporella sp.) y codiáceas (Cayeuxia piae) y Solenoporella sp. Los intraclastos pueden llegar a ser un 10% del total y son de diferentes tamaños subredondeados y están formados por un grainstone de ooides y oolitas (pozo Ki-101). Los granos envueltos pueden alcanzar hasta un 6% (pozo Ki-101), mientras que los oncolitos y otros ooides no exceden al 4% del total.

La presencia de oncolitos puede indicar un decremento en la energía a un nivel intolerable de éstas partículas debilmente consolidadas, donde su crecimiento excede a la abrasión (Gebelein, 1969 en Becher y Moore, 1973).

Esta facies, de acuerdo a sus características, se interpreta como depositada a profundidades cercanas al nivel base de olas, donde la agitación diaria parece ser bastante baja ya que permite a los organismos algáceos desarrollarse, en ocasiones en pequeñas colonias, sin embargo es bastante fuerte para mover todo el material del tamaño de lodo. Obviamente éstos sedimentos son propicios a quedar expuestos

subaéreamente y los procesos diagenéticos relacionados a ésta exposición son muy marcados.

Por lo tanto, el ambiente para ésta facies son ambientes someros, de inter y submarea, desarrolladas en altas topografías o hacia la línea de costa. Al parecer, en el área central donde fueron identificados ésta facies, se trata de paleoaltos topográficos locales (Fig.7) y hacia el área sur-occidental (pozo Oktan-1A) de ambiente somero, en zonas de inter y submarea con influencia lagunar (Fig.9).

De acuerdo a Ornelas (1991) las algas dascicladáceas habitaron en mares tropicales a subtropicales y su distribución en las aguas depende de las condiciones climáticas, principalmente de la temperatura del agua. Dichos organismos se desarrollan en las zonas de intermarea y submarea de las costas, casi siempre fijas a un soporte estable por lo que crecen adheridas a rocas, quedando así confinadas a continentes, islas o zonas marinas sublitorales en donde pueden fijarse y tener luz suficiente, de manera que son también indicadores batimétricos.

### ***Facies 9***

Esta facies solo fue identificada en los pozos Ayin-1 (zona nor-occidental) y Yum-401 (zona sur-central), sin embargo, es en el primero donde está mejor representada. Esta facies se localiza en los niveles estratigráficos B y D; probablemente se interdigita, lateralmente, con ambientes de plataforma interna a litoral, en el área del pozo Yum-401, y con posibles ambientes de plataforma externa en la zona del pozo Ayin-1 (Fig.9).

Consiste de una secuencia evaporítico-terrágena constituida por anhidritas de color gris claro y blanco, con arenisca de cuarzo café rojizas e intercalaciones de limolitas y lutitas café rojizas, esta facies se interdigita lateralmente con probables ambientes de plataforma interna.

Las características de éstas rocas son típicas de un ambiente de supramarea asociado a una plataforma carbonatada, en una planicie evaporítica (sabkha marino).

### ***Facies de Bancos de arenas siliciclásticas***

Se identificó en la parte oriental del área (pozos Kix-1A, Chem-1A y May-1), a diferentes niveles estratigráficos, principalmente en las unidades B y D y en menor grado en la unidad C.

Está representada por una secuencia clástico-carbonatada, constituida por areniscas, gris claro, de cuarzo y feldespatos, de grano fino a muy fino bien clasificada, regularmente cementada por calcita, dolomita y sílice, algunas veces por anhídrita (pozo Kix-1A). En ocasiones estas areniscas presentan oolitas sueltas. Las partículas son angulosas a subangulosas y presentan contactos tangenciales y cóncavo-convexos. Se intercalan algunos cuerpos de dolomías micro-mesocristalinas arenosas, con fantasmas de ooides, y escasas intercalaciones de lutitas negras. Los espesores de ésta secuencia varían desde 30 hasta 187 m. En la base del pozo May-1 se identificaron 23 m de arenisca café rojiza a gris claro, de grano medio, subredondeada, cementada por dolomita y en menor grado por sílice; presenta algunas oolitas y ooides dispersos hasta en un 10%.

Estas facies forman bancos de arenas clásticas, que se interdigitan hacia el occidente con facies lagunares y posiblemente hacia el oriente con facies litorales. Estos bancos se desarrollaron en una plataforma interna a litoral clástico-carbonatada con influencia continental, posiblemente por corrientes fluviales que transportaron el material terrígeno.

## V.- MODELO SEDIMENTARIO EVOLUTIVO

El modelo de depósito de las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano, del área de estudio, puede comprenderse teniendo una visión general de la evolución de dicha área, donde se localiza nuestro objetivo.

Por lo tanto, aquí se hace una breve descripción de las principales características tectónico-sedimentarias y tipo de plataforma existente, con base en la información obtenida.

Las reconstrucciones de la evolución del Golfo de México, varían ampliamente, dependiendo del autor (Smith *et al.*, 1973; Bullard *et al.*, 1965; Vander Voo *et al.*, 1976), pero todos sugieren que la Península de Yucatán tomó su lugar en el Golfo de México después del Pérmico y antes del Jurásico Medio. Si tomamos en cuenta esto, podemos partir de que las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano, para el área, se depositaron en un margen pasivo, tectónicamente hablando, relacionado a la apertura del Golfo de México.

Por otro lado, se sabe que las plataformas cambian en respuesta a las variaciones en sedimentación, subsidencia o elevaciones del nivel del mar y pueden formar secuencias evolutivas distintas. Los modelos de plataforma según Read (1985) son importantes para el entendimiento de la distribución de facies carbonatadas y también en un grado menor de la distribución de porosidad primaria, cuya preservación es función, en gran medida, de la historia diagenética.

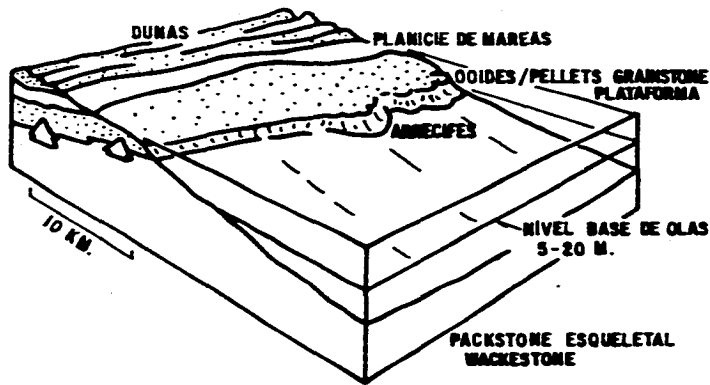
De acuerdo al criterio de Read (*op. cit.*), la plataforma carbonatada que se desarrolló en el Jurásico Tardío Kimmeridgiano en el área de estudio, queda clasificada como tipo **rampa con complejo de barrera "oolítica externa"** (Fig. 14).

Una plataforma carbonatada tipo rampa se caracteriza por una pendiente suave (menor a 1°) en la cual las facies someras de aguas agitadas de la zona de playa pasan a depósitos de agua profunda de baja energía (Ahr, 1973, en Read, 1985), sin una marcada rotura de pendiente.

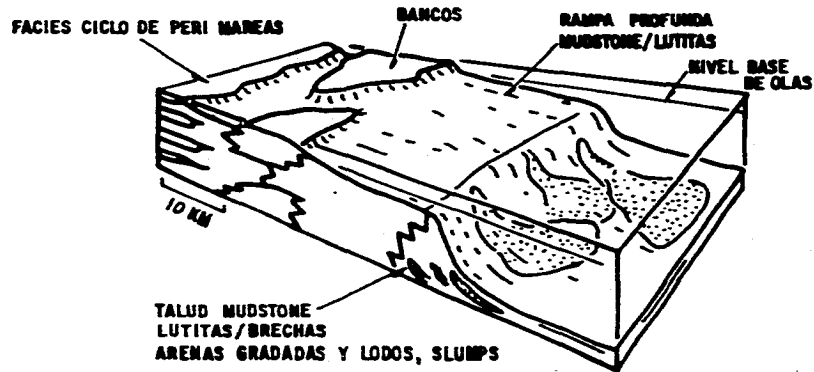
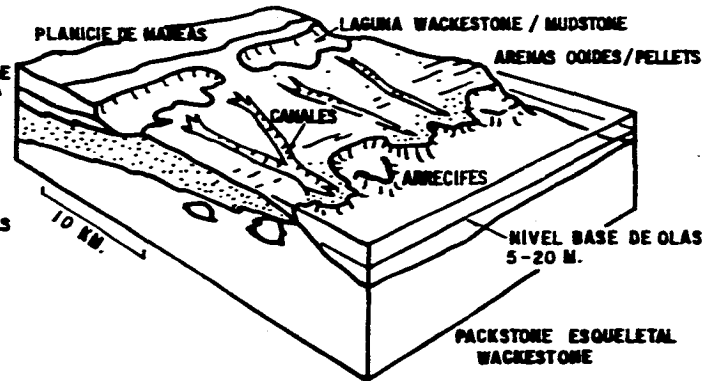
Las rampas con complejo de barrera oolítica externa se caracterizan por una barrera de bancos de arena de ooides y pellets.

Estos bancos son cortados por canales de 1 km más o menos de amplitud por 10 metros de profundidad. Los complejos oolíticos pueden estar localizados en paleoaltos. Los parches arrecifales pueden ocurrir en canales y en el frente del banco

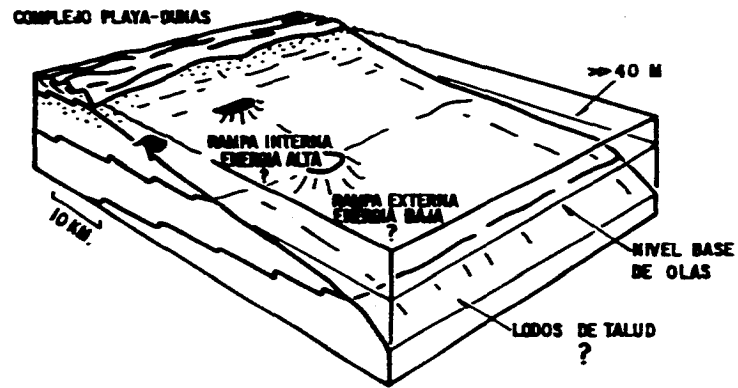
**RAMPA CON BANCO OOLITICO INTERNO**



**COMPLEJO DE BARRERA OOLITICA EXTERNA**



**RAMPA DISTALMENTE PRONUNCIADA**



**ELEVADA CON PRONUNCIAMIENTO DISTAL**

TOMADO DE READ (1985)

FIG-14 DIFERENTES TIPOS DE RAMPAS

y hacia mar adentro se pueden desarrollar cuerpos arrecifales más grandes, los cuales pueden estar localizados en domos salinos, o en altos topográficos (Read, op.cit).

Tomando en cuenta lo anterior, el modelo de depósito para el área de estudio, es una **plataforma clástico-carbonatada** que evolucionó a una **rampa carbonatada**, la cual tuvo, del lado oriental, una marcada **influencia terrígena**, con **complejos oolíticos** (aquí llamado **zona de bancos**), que consisten de varios bancos de arenas carbonatadas, separadas por canales de marea. Estos bancos se desarrollaron a partir de altos topográficos, como se puede ver en el modelo evolutivo sedimentológico (Fig.15 a,b,c d), en el cual se muestra un máximo desarrollo de éstos complejos en la unidad de tiempo D. Asimismo analizando las secciones estratigráficas (Anexo C), en particular la sección III-III', se observa una **progradación de los bancos oolíticos de SE a NW**, la Figura 16 muestra esquemáticamente este evento, entre los pozos Yum-401, Yum-1, Sinan-101A (proyectado) y Sinan-1A.

A continuación se comentarán los cambios verticales y laterales que sufrieron las diferentes facies así como su evolución sedimentológica ambiental por unidades estratigráficas, comenzando de la más antigua a la más reciente.

La **unidad B**, de las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano, es la menos conocida, debido a que pocos pozos atravesaron esta secuencia (Anexo A, tabla 1).

En la Figura 15a se muestra la distribución de facies para esta unidad. El área sur-central (pozo Yum-401), está formada por una secuencia de sedimentos posiblemente depositados en un ambiente de supramarea, asociada a una plataforma carbonatada (sabkha marino?, facies 9) donde la presencia de evaporitas indica que las condiciones climáticas para este tiempo eran las propicias para la precipitación de dichos minerales, principalmente altas temperaturas, en una zona de planicie de marea donde se depositaron probables paquetes de tormentitas (wackestone-packstone de ooides, pozo Yum-401) en tiempo de mareas altas; o bien es también posible que esta secuencia haya sido depositada en un ambiente lagunar. Esto no fué posible diferenciarlo ya que no se cuenta con núcleos, para un mejor control de esto. Lateralmente, hacia el oriente, cambia a un ambiente de moderada a alta energía (facies de plataforma interna a litoral clástico-carbonatada). Es probable que más al occidente cambie lateralmente a condiciones de mar abierto (facies 7) como en el pozo Ayin-1. Tomando en cuenta las facies identificadas en el pozo Alux-1A, a este

mismo nivel, se propone que ya existía una depresión intraplatafórmica en el área nor-occidental (Fig.15a).

Para el tiempo de depósito de la unidad C (Fig.15b), el área en cuestión sufrió un incremento en el nivel del mar, mismo que se refleja, en gran parte en el cambio de sedimentación, en general más carbonatada.

La facies de supramarea pasaron a conformar una zona clástico-carbonatada depositada en un ambiente de alta energía en una zona litoral, (facies de bancos de arenas clásticas), identificada en el pozo Kix-1A y en la base del pozo May-1. Por otro lado en el área del pozo Yum-1 se desarrolló un pequeño banco de arenas carbonatadas oolíticas (facies 6); esto propició un ambiente de baja energía hacia el oriente, es decir una zona lagunar protegida por dicho banco.

La facies 6, identificada en el pozo Yum-1, cambió hacia el occidente (mar adentro), a un ambiente de moderada a alta energía (facies 7) de plataforma "externa", identificada en el pozo Ayin-1, con algunas zonas de altos paleotopográficos donde se depositaron facies someras (facies 8), como en el área de los pozos Chem-1A y Ki-101. Por otro lado la depresión intraplatafórmica de los pozos Alux-1A y Citam-1 probablemente se profundizó un poco más, esto inferido por las facies presentes en esta zona, predominantemente de lutitas oscuras y en menor proporción mudstones arcillosos, con pirita diseminada.

Siguiendo la evolución para el tiempo en el que se depositó la unidad D, la plataforma carbonatada evolucionó a una rampa (Fig.15c). Aquí probablemente se presenta el movimiento de varios bloques, dando como consecuencia la diferente paleobatimetría presente en el área para esta edad. Así se identifica un bloque alto en el área nor-occidental (pozo Ayin-1), originando condiciones someras de depósito de sabkha, al igual que las condiciones de plataforma interna presentes en la porción sur-occidental (pozo Oktan-1A). Esto último puede deberse a movimientos locales tempranos de la sal.

Asimismo la franja clástico-carbonatada, al oriente del área de estudio, se redujo, aumentando el contenido de carbonatos debido, posiblemente, a un incremento en el nivel del mar. Esta facies de plataforma interna-litoral se identificó en los pozos Mison-1A y Kix-1A para este tiempo. Sin embargo, en el área del pozo May-1 se desarrolló una zona de bancos carbonatados oolíticos (facies 6) y hacia los pozos Yum una facies de baja energía de mar abierto (facies 7).



En el área central (pozos Ki-101, Sinan-101A y Sinan-1A) se desarrolló una gran zona de bancos de arenas carbonatadas de alta energía de fuertes espesores, generándose a su vez ambientes lagunares hacia la porción oriental (pozos Chem-1A, Mucuy-1). Por otra parte la depresión intraplatafórmica (facies 2) de los pozos Citam-1 y Alux-1A se siguió conservando.

De acuerdo a las facies presentes en el pozo Costero-1, de tierra, para este tiempo, se infiere que desde la porción sur-oriental del área comenzaba a profundizarse la región, posiblemente a través de otra depresión intraplatafórmica.

Por último, a finales del Jurásico Superior Kimmeridgiano, **unidad E** (Fig.15d), la zona en general se profundiza más, reduciéndose la facies 6 y aumentando las facies 2 de las depresiones intraplatafórmicas y la 7 de mar abierto ó "externa", (pozos Yum-1, Yum-401, Citam-1 y Alux-1A), en una franca transgresión. Las depresiones intraplatafórmicas, para este tiempo, se ampliaron. La zona litoral identificada en los pozos Kix y Mison-1A cambia a unas facies de alta a moderada energía (facies 6-7) mientras que la zona sur-occidental (pozo Oktan-1A) a una zona más somera de baja energía (facies 8), protegida tal vez por una zona de bancos que posiblemente se desarrolló hacia el occidente del área en cuestión.

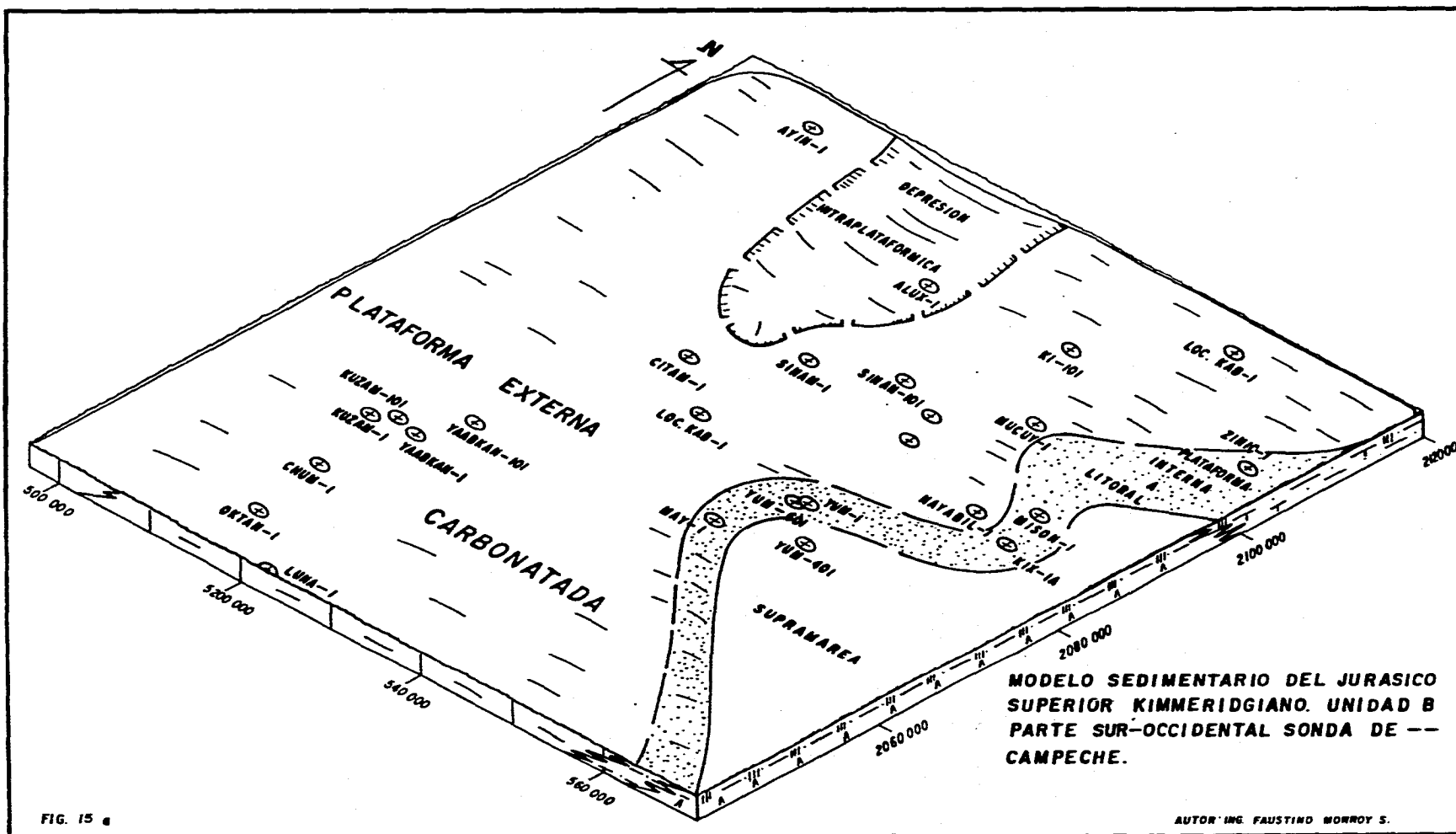
Asimismo, la zona del pozo Ayin-1 se hizo más carbonatada depositándose facies de plataforma interna (?), protegida posiblemente por algún desarrollo de una zona de bancos oolíticos (facies 6) o parches arrecifales, hacia el occidente de dicho pozo.

Resumiendo se puede decir que el área de estudio se comportó durante el Jurásico Tardío Kimmeridgiano como **una plataforma clástico-carbonatada, la cual evolucionó a una rampa, con influencia terrígena en la parte oriental**. En dicha plataforma se desarrollaron diferentes ambientes los cuales estuvieron gobernados principalmente por las condiciones paleobatimétricas, tanto locales como regionales, posiblemente debidos a tectonismo y/o movimientos tempranos de sal.

Las cuencas intraplatafórmicas propuestas, no se salen de la lógica, ya que según Read (*op. cit.*), dichas cuencas están asociadas a plataformas restringidas y a rampas. También, de acuerdo a ejemplos de sedimentación reciente como el Gran Banco de las Bahamas, controlado tectónicamente, y a ejemplos antiguos como la Formación Smackover del Jurásico en Texas-Louisiana-Arkansas, E.U., el Cámbrico Superior-Ordovícico Medio de los Apalaches, Virginia, E.U., el Triásico del sur de Alemania y el Carbonífero Inferior del Reino Unido, es posible que existan éstas zonas profundas.

Por otro lado, se infiere que la subsidencia de la zona fué relativamente fuerte y que estaba en equilibrio con la depositación de carbonatos. Cabe aclarar que es posible que la sedimentación estuviera gobernada por megaestructuras, ya que según Cal y Mayor (1988) "las características estructurales del pilar de Akal, la fosa de Macuspana y Comalcalco están directamente relacionadas con el fracturamiento del basamento, ocurrido durante el Triásico-Jurásico, cuyas fallas preexistentes al depósito fueron reactivadas durante los eventos tectónicos subsecuentes al Mesozoico".

Así, analizando la distribución regional de facies y los ambientes implicados, se infiere que la zona de bancos oolíticos dolomitizados se extiende hacia la porción sur, incluyendo el campo Luna, y que pueden existir otras zonas de bancos similares, hacia el área occidental del pozo Oktan-1A. También, hacia el occidente del pozo Ayin-1, es posible que se encuentren rocas depositadas en un ambiente somero e incluso desarrollo de bancos oolíticos, posiblemente dolomitizados.



MODELO SEDIMENTARIO DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO. UNIDAD B PARTE SUR-OCCIDENTAL SONDA DE -- CAMPECHE.

AUTOR ING. FAUSTINO MORROY S.

FIG. 15 a

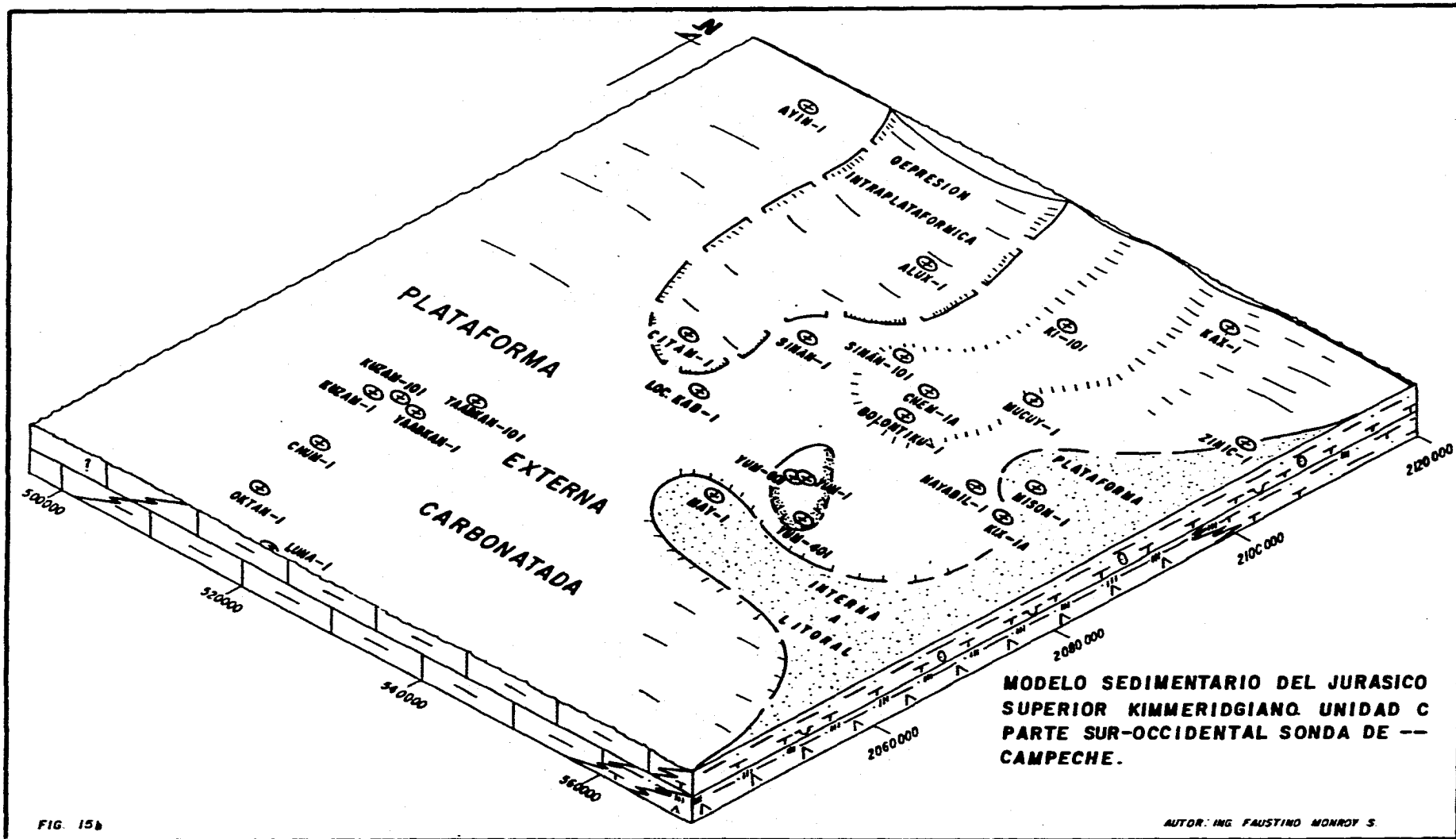


FIG. 15b

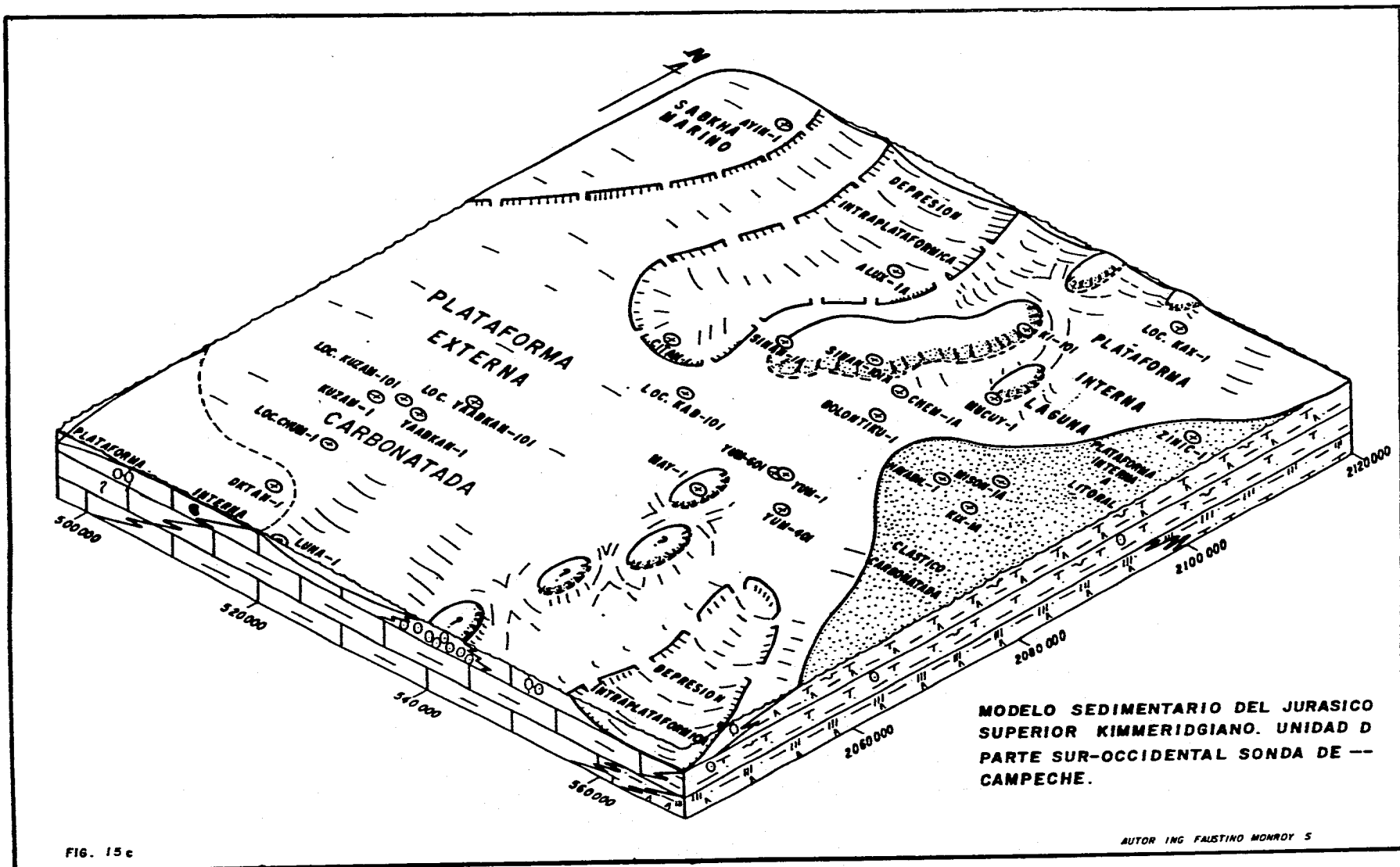


FIG. 15c

AUTOR ING FAUSTINO MONROY S

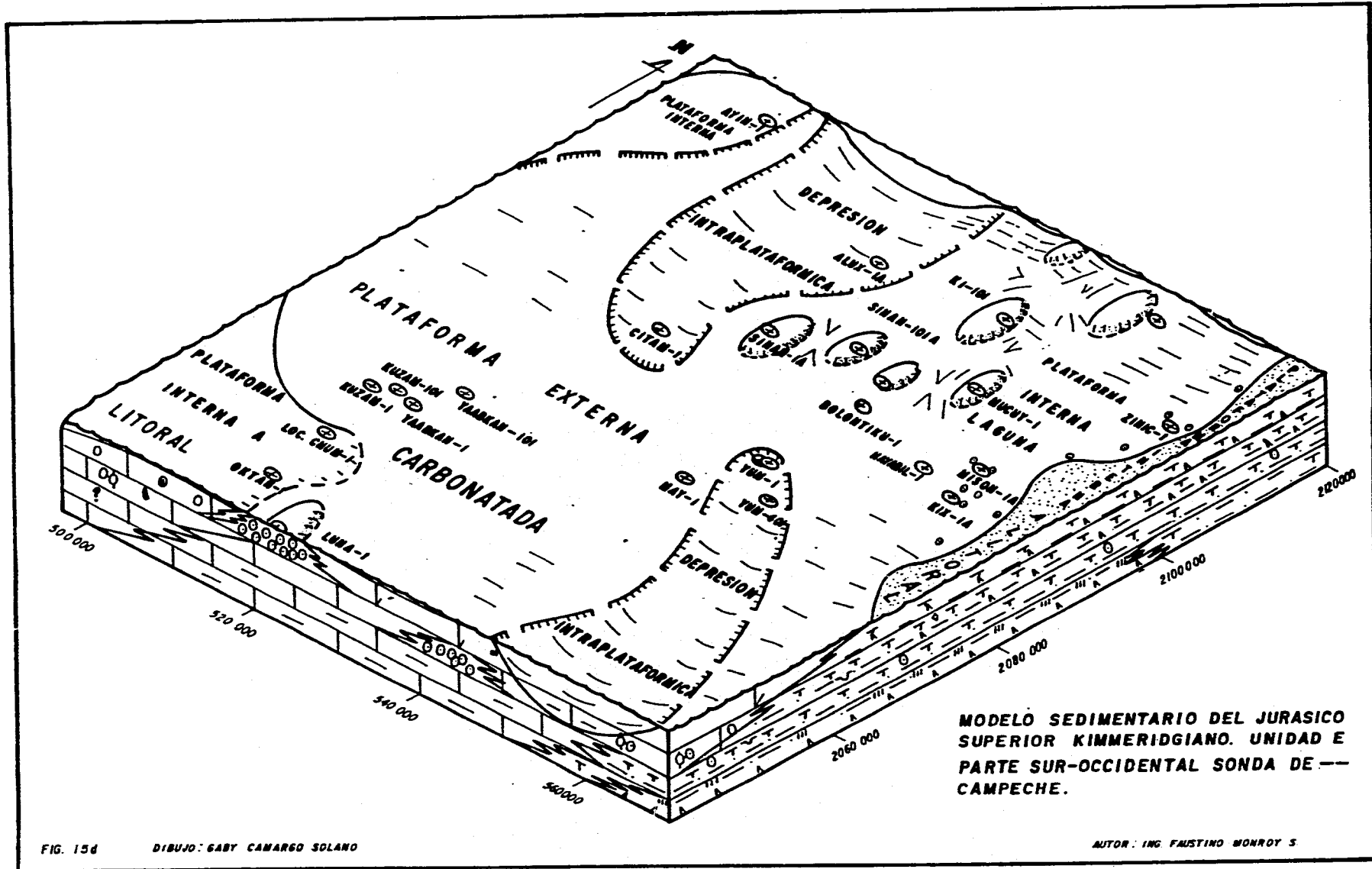
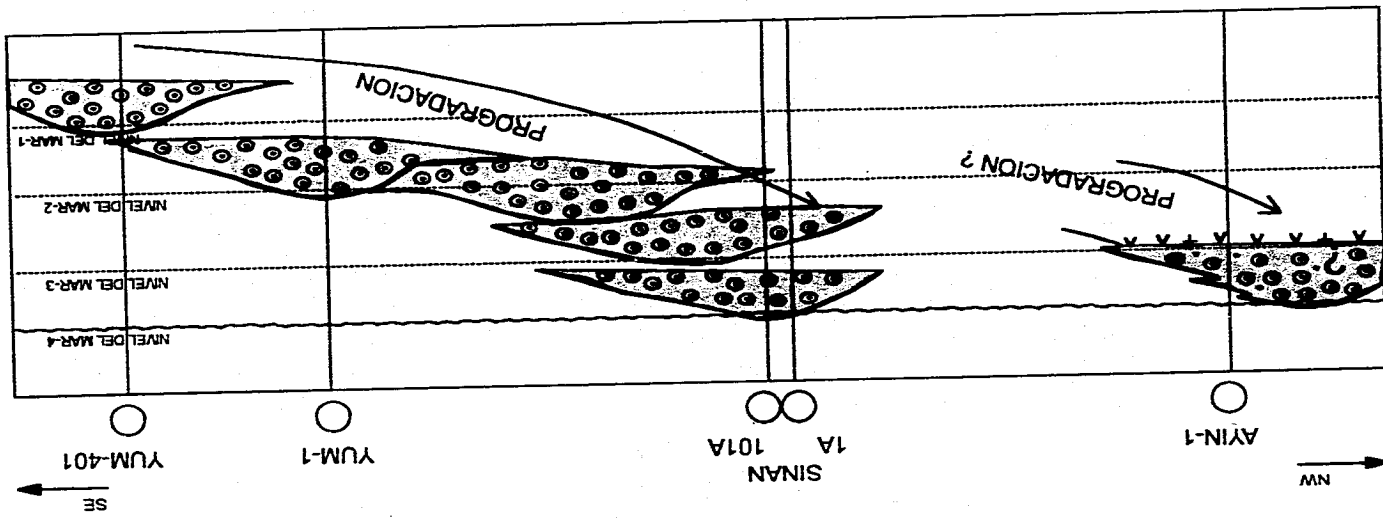


FIG. 156 DIBUJO: GABY CAMARGO SOLANO

Fig. 16 Sección esquemática, mostrando la progradación de Bancos Oolíticos durante el Jurásico Superior Kimmeridgiano



## VI.- DIAGENESIS

A manera de introducción, en este capítulo, primeramente se hará un breve bosquejo del nacimiento de la palabra *Diagénesis* y su significado; posteriormente se explicará cada uno de los *procesos diagenéticos* identificados en las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano, mencionando sus características principales, así como las facies en que se presentan, ubicándolos en los diferentes *ambientes* y *etapas diagenéticas*, por los cuales han pasado dichas rocas, utilizando los criterios de Folk (1974), Purdy (1968) y Choquette y Pray (1970).

Por último, se hará énfasis especial en aquellos procesos involucrados directamente en la *preservación, generación o reducción de la porosidad y permeabilidad* de las principales facies almacenadoras, ubicando con cierto grado de confiabilidad, *el momento relativo del emplazamiento de los hidrocarburos* y las posibles vías de migración. Todo esto, con el fin de dar una aplicación directa de este estudio y resaltar la importancia de la *diagénesis* en la *exploración petrolera* del área Marina.

Al término de este capítulo se incluyen tres láminas con seis microfotografías cada una, donde se muestran las principales facies sedimentarias y los procesos diagenéticos identificados. Los Anexos A y B incluyen además, la paragénesis de cada uno de los pozos y del área en general.

En el año de 1868, por primera vez, la bibliografía menciona el término "**diagénesis**" en un trabajo de Von Gümbel, (Dunoyer, 1968), este término fué acuñado por Walther (1893-1894). Por un error tipográfico este autor, en su tratado, dió el año de 1888 como el nacimiento de la palabra **diagénesis**, es por ésto que algunos trabajos subsecuentes lleven ese error (Dunoyer, 1968.). Por otra parte, el significado original de la palabra *diagénesis* de 1868, sólo tienen una remota relación con lo que nos referimos hoy en día.

El concepto de *diagénesis*, nació en Alemania, pero no fué fácilmente aceptado por los investigadores ingleses y americanos. En efecto es posible distinguir cuatro períodos en la evolución de palabras e ideas (Dunoyer, *op. cit*):

- (1) Un período temprano, antes de la Primera Guerra Mundial, en el cual las transformaciones post-sedimentarias eran poco conocidas y pobremente interpretadas.
- (2) Un período transicional, entre las dos Guerras Mundiales, cuando muchas facies de evolución sedimentaria son descritas.



(3) El año de 1932, cuando se publicó el tratado de Twenhofel (1926). Esta es la primera referencia americana de diagénesis en el sentido europeo de la palabra.

(4) El período moderno, cuando se publica el artículo fundamental de Krumbein (1942), y durante el cual algunas tendencias toman forma.

Hablando de diagénesis de rocas carbonatadas los primeros trabajos publicados fueron los de Ginsburg (1957), Friedman (1964) y Bathurst (1975).

Por otra parte, el estudio de la diagénesis es básicamente un estudio de estabilidad mineral relativa, reaccionando a procesos mecánicos (físicos) y/o químicos. El rango de condiciones fisico-químicas de la diagénesis es de 0 a 200 °C y de 1 a 2000 Kg/cm<sup>2</sup> y aguas con salinidades desde dulces hasta salmueras concentradas. Así el rango de la diagénesis es bastante grande. Por lo tanto la diagénesis puede ocurrir en marcos depositacionales o post-depositacionales en el cual un sedimento o roca puede ser afectada por procesos sedimentarios o tectónicos. Por ejemplo, una secuencia carbonatada puede pasar por un medio ambiente meteórico vadoso, vadoso marino, freático marino (submarino) o zonas de mezclas freática (meteórico y marino), después puede pasar a un medio diagenético intermedio a tardío a profundidades de sepultamiento profundo y volver nuevamente a un medio cercano a la superficie debido al levantamiento y erosión, (Mc Ilreath, 1982).

De manera general **diagénesis** se puede entender como todos aquellos cambios físicos, químicos y bioquímicos que suceden en un depósito sedimentario desde su acumulación original hasta el comienzo del metamorfismo o bien hasta el inicio del intemperismo (Vera y Torres, 1987).

Los procesos involucrados en la diagénesis se clasifican en *físicos, químicos y fisico-químicos*.

Los *procesos físicos* son principalmente el resultado de la compactación debido al sepultamiento. Mientras que *los procesos químicos* incluyen a la solución y cementación debido al movimiento de agua entre el sedimento. *Los procesos fisico-químicos* resultan de la presión-solución. Todos éstos procesos afectan no sólo a los constituyentes de los sedimentos/roca, sino también modifica la porosidad y permeabilidad. Este último aspecto es muy importante en el desarrollo de la porosidad de las rocas almacenadoras de hidrocarburos (Mc Ilreath, 1982.)

Un mismo **proceso diagenético** (cementación, dolomitización, etc.), puede presentarse en más de una ocasión en la historia diagenética de una roca, en cuyo

caso se le denomina como **evento diagenético**. Cuando éstos eventos diagenéticos se ordenan en forma evolutiva, se utiliza el término de **paragénesis**, para denotar la historia diagenética.

Al mismo tiempo gran parte de los autores consideran seis procesos como los más representativos de este fenómeno, dentro de los aproximadamente 30 procesos diagenéticos reportados en la literatura (Krumbein, 1942). Estos seis procesos son: *compactación, cementación, recristalización, reemplazamiento, disolución y autigénesis* (Bello y Aguayo, 1989).

#### VI.A.- PROCESOS DIAGENETICOS IDENTIFICADOS

A continuación se definirán en forma general cada uno de los procesos diagenéticos identificados en la secuencia estudiada, haciendo énfasis en las características que presentan, así como su relación con las facies sedimentarias existentes, (Anexo A, tabla 2).

##### Bioturbación.

La bioturbación, en este trabajo, se consideró como un evento que modifica y cambia la textura y el sedimento mismo; es en sí una estructura sedimentaria biogénica (Collinson, *et al.*, 1987). Existe una variedad de clasificaciones para estas estructuras, tanto por su modo de preservación, taxonómicas, comportamiento (formas), etc. Se identificó principalmente en las siguientes facies: facies 2, 7(lagunar), 8 y en las facies de plataforma clástico-carbonatada, de los pozos Citam-1, Kix-1A, Ki-101 y May-1. Se observó principalmente en forma de galerías (Lámina I, Microf. a y b).

##### Micritización

Los micro-organismos que atacan y perforan la superficie de bioclastos y otras partículas producen, especialmente en zonas marinas someras, pequeños huecos, los cuales son rellenados por (precipitado bacteriamente?) *micrita* después de que los organismos mueren. Estos pequeños huecos, tienen un efecto mas allá de los granos,

alcanzando la destrucción mecánica. Por repetidas horadaciones, seguido por vaciados del hueco y rellenado de micrita, los granos de carbonato son gradualmente reemplazados por micrita. Bathurst (1966, en Bathurst,1971) ha referido este proceso como *micritización*.

En ocasiones cuando el ataque bioquímico de algas (generalmente verde-azules y verdes ), se restringue a las orillas de los granos, se forma una "envolvente micrítica" cuya estructura original es difícil de reconocer (Kendall y Skipwith 1969; en James y Choquette,1983). Esta envolvente micrítica consiste de aragonita o calcita magnesiana en partículas recientes.

Los procesos completos de micritización consisten en aflojar la superficie, condensando y redondeando las partículas y más tarde formando peloides micríticos (Flügel, 1982).

La micritización como proceso diagenético, se identificó regionalmente encontrándose en prácticamente todos los pozos y facies, pero es más notable en las facies someras (Lámina I, Microf. d, e y f), donde se identificó una variedad de algas principalmente dasciadáceas; este proceso se observa principalmente en aloquímicos: ooides, oolitas etc. y en ocasiones puede observarse envolventes micríticas en bioclastos y aloquímicos.

### Cementación

La cementación es uno de los procesos diagenéticos más comunes en los carbonatos. Se efectúa cuando se precipita cementante en los intersticios de los sedimentos. El cementante puede derivarse de la roca misma o de las soluciones que pasan a través de ella, y puede ser contemporánea o posterior al depósito. En ocasiones la cementación es función de una recristalización simultánea. Como resultado de este proceso también se reduce la porosidad y el mineral precipitado que cementa a los granos entre sí es posterior a los mismos. Los principales minerales que actúan como cementantes son la calcita (cemento espático) y el sílice (en forma de cuarzo). Otros minerales menos comunes son la dolomita, siderita, hematita, goethita, limolita, calcedonia, ópalo, zeolitas, feldespatos, anhidrita, yeso, barita, celestita, halita y minerales arcillosos.

En la secuencia carbonatada del J.S. Kimmeridgiano se indentificaron dos tipos de cementantes: sílice y calcita.

### Cementación de sílice

La precipitación de sílice en solución puede ser ocasionada de varias maneras: por evaporación, por enfriamiento, neutralización de una solución fuertemente alcalina, por reacción con cationes, por absorción y por procesos biológicos, (Krauskopf, 1959).

El sílice como cementante en la secuencia del Kimmeridgiano, es poco significativo por su abundancia, en ocasiones menor del 1%. Se identificó principalmente en las facies de plataforma clástico-carbonatada y en menor proporción en las facies 6, 7 y 8; se presenta como un cementante limpio entre los granos de cuarzo, en los pozos Chem-1A, Ki-101, Yum-401 y May-1, (Lámina I, Microf. c).

### Cementación de calcita

Por otro lado se pudo diferenciar cuatro períodos de cementación de calcita. Una primera constituida por cementante en anillo y/o en palizada (Lámina I, Microf. d). La segunda, tercera y cuarta como calcita en bloque (Lámina I, Microf. e). Estos cementantes se identificaron principalmente en las facies someras 6, 6-7, 7(lagunar), 8 y en las facies de plataforma clástico-carbonatada. El cementante en palizada se identificó en los pozos May-1, Sinan-1A y Ayin-1; por otra parte el cementante en anillo en los pozos Kix-1 y Sinan-101A. Los cementantes en bloque se identificaron en los siguientes pozos: Chem-1A, Kix-1, May-1, Mucuy-1 y Sinan-1A y Sinan-101A.

### Disolución.

Se identificaron dos períodos de disolución, el segundo más intenso que el primero. El primer evento se manifiesta como una disolución que afecta parcialmente a la primera cementación de calcita (en anillo), y que posteriormente fué obturada por una cementación en bloque. Fué identificada únicamente en las facies oolíticas 6 y 6-7 en los pozos Ki-101, Kix-1, y Sinan-101A, (Lámina I, Microf. e).

La disolución más intensa, afectó en general a toda la roca, disolviendo algunos núcleos de oolitas (Lámina III, Microf. b), a excepción de aquellas en que sus núcleos están constituidos por cuarzo detrítico (zona oriental). También esta disolución, en ocasiones, creó porosidad móldica e intrafosilar principalmente en las facies 8, disolviendo algunos bioclastos (Lámina II, Microf. a y b.); aunque se identificó regionalmente también en las facies 6, 6-7, 7(lagunar), en prácticamente toda el área, a excepción de los pozos Yum-401 y Citam-1.

### Compactación

La compactación de sedimentos es una reducción de su volumen expresado como una reducción de la porosidad original del sedimento. Entre los procesos mecánicos que disminuyen el volumen de la roca se incluyen: los que disminuyen el volumen de un grano simple (deformación de grano); los que producen un empaquetamiento más cerrado de éstos (reorientación) y los de presión-solución que disminuyen los volúmenes de los granos y de los minerales del cemento.

Quizá la causa principal de la compactación sea el peso de los sedimentos sobreyacentes a la capa compactada. La magnitud del efecto es una función de la porosidad, del contenido de agua original del sedimento, de la forma, tamaño, composición y textura de sus partículas, de la velocidad del depósito, así como del espesor de los estratos sobreyacentes y del tiempo.

En las rocas del Jurásico Superior Kimmerdigiano se identificó un proceso de compactación, expresada como reorientación y deformación de aloquímicos principalmente, observándose ooides, oolitas, pellets, etc. deformados (Lámina I, Microf. e y f) y en algunos casos se identificaron contactos cóncavo-convexos entre dichos ooides. Este proceso de compactación se identificó en toda el área de estudio y prácticamente en todas las facies.

### Dolomitización

El problema del origen de la dolomita se remonta al año de 1791, cuando el naturalista francés Déodat de Dolomie, describió la roca dolomía (Zenger y Dunham, 1980).

El interés de estudiar los procesos de dolomitización no sólo son de nivel científico, sino por la importancia de tipo económico que los cuerpos dolomitizados tienen, principalmente como reservorios de hidrocarburos.

A partir de varios estudios se ha visto que se tiene una variedad de tipos de dolomías en la naturaleza y que un simple proceso de dolomitización no existe como modelo único para explicar toda la variedad de estas dolomías.

El descubrimiento de dolomita Holocénica (en el sur de Australia), estimuló una polémica entre dolomita primaria contra secundaria, remplazamiento de dolomita, síntesis en laboratorio de dolomita, modelos geológicamente razonables y su fuente,

así como la discrepancia entre las grandes masas de dolomita Proterozoica y Paleozoica Temprana contra la escasez de dolomita en secuencias carbonatadas Cenozoicas.

La reacción química para la dolomitización es comúnmente dada como se muestra en seguida: (1)  $2\text{CaCO}_3 + \text{Mg}^{2+} \rightleftharpoons \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + \text{Ca}^{2+}$ , en la cual un mol de dolomita reemplaza dos moles de calcita. Una reacción alternativa (2)  $\text{CaCO}_3 + \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  fué propuesta por Lippman, 1973, (en Morrow, 1982), por las ventajas de una alta concentración de  $\text{CO}_3^{2-}$  en solución.

Ambas ecuaciones involucran considerables cambios de volumen. Una pérdida de volumen del 6% al 13% (reemplazamiento de calcita o aragonita) acompaña la dolomitización de acuerdo a la primera ecuación. Mientras tanto, la dolomitización de acuerdo a la ecuación (2), si se aplica literalmente, implican una tremenda ganancia de volúmen del 75% hasta el 88%.

Según Morrow (*op.cit.*) existen tres parámetros que son probablemente de mayor importancia en los procesos de dolomitización: a) proporción de la solución Mg/Ca, b) salinidad de la solución, y c) proporción de  $\text{CO}_3/\text{Ca}$  en la solución; un factor más es la temperatura.

Por otro lado, se ha propuesto con base en los estudios de ejemplos recientes y antiguos, diferentes modelos para explicar la dolomitización de grandes volúmenes de roca. De acuerdo al orden histórico de aparición éstos son: *Lagunas Hipersalinas y Modelo de Reflujo, Modelo de Compactación por Sepultamiento, Modelo de Solución por Canibalismo, Modelo Coorong, Modelo de Sabkha y Mezclas de Aguas (Dorag) o Modelo de Disolución*. Los modelos de Sabkha y Coorong (Laguna de Coorong, Australia) son ambientes específicos bien definidos, los otros modelos son mas generales y enfatizan aspectos particulares de los procesos de dolomitización que pueden estar actuando en una variedad de ambientes sedimentarios.

A pesar de la gran variedad de modelos, todos ellos cumplen con ciertas condiciones para desarrollarse: 1) La cantidad de  $\text{Mg}^{2+}$  disponible (fuente de  $\text{Mg}^{2+}$ ), 2) Un mecanismo de transporte de este  $\text{Mg}^{2+}$  y 3) El sitio de la dolomitización.

No se pretende discutir aquí los diferentes modelos conocidos; por lo consiguiente, a continuación se mencionarán las principales características de la dolomitización presente en las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano observadas al microscopio

petrográfico, en muestras de canal y núcleos, tratando de relacionarlos a algún tipo o modelo de dolomitización.

De acuerdo a las observaciones realizadas, en el área de estudio, sucedieron dos procesos de dolomitización, donde el primero se presenta en forma regional y es más intenso e importante que el segundo.

El primer período de dolomitización afectó prácticamente toda el área, aunque en la zona noreste y norcentral fué más intensa, perdiéndose prácticamente hacia los pozos Citam-1 y Alux-1A. Este proceso diagenético se identificó en todas las facies, sin embargo fueron las facies 6, 6-7, 7 (lagunar) y 8 las más afectadas.

En las facies oolíticas 6 y 6-7, se encuentra principalmente como una dolomitización con textura mesocristalina (Lámina III, Microf. b y c), en partes como verdaderos mosaicos de cristales de dolomita que en ocasiones enmascaran completamente la textura original de la roca, en otras con texturas microcristalinas sobre todo en las facies 6-7 y lagunares. Por último, en las facies someras (8) se presentan como parches, algunas veces aislados, de dolomita mesocristalina. En las demás facies, esta dolomitización está presente en forma de cristales euhedrales individuales de dolomita microcristalina que afecta a la matriz principalmente, aunque a veces también a los aloquímicos (Lámina III, Microf. d).

El proceso de dolomitización, para el área de estudio, puede ser explicado a partir de un *modelo de mezcla de aguas meteóricas con marinas*, (Fig. 17). Como se observa en el modelo, al quedar expuesto un banco oolítico, las aguas meteóricas percolan, originando los ambientes meteórico (vadoso y freático), y formando también, una zona de mezcla, donde se lleva a cabo la dolomitización. Asimismo es posible que otro tipo de modelo pueda funcionar, como el *modelo de reflujos*, donde la fuente del  $Mg^{2+}$  estaría en las secuencias evaporíticas identificadas, tanto en la parte oriental como noroccidental del área. Para discernir sobre éstos modelos, es necesario realizar estudios geoquímicos especializados como el de isótopos de oxígeno.

El segundo período de dolomitización es muy local y menos intenso que el primero. Se identificó en los pozos Oktan-1A y Kab-101, se presenta como cristales individuales euhedrales mesocristalinos asociados a estilolitas, principalmente en las facies 8 someras, (Lámina III, Microf. e y f). Este proceso puede tener su origen en un *modelo de solución por canibalismo*, debido a su gran relación con superficies estilolíticas.

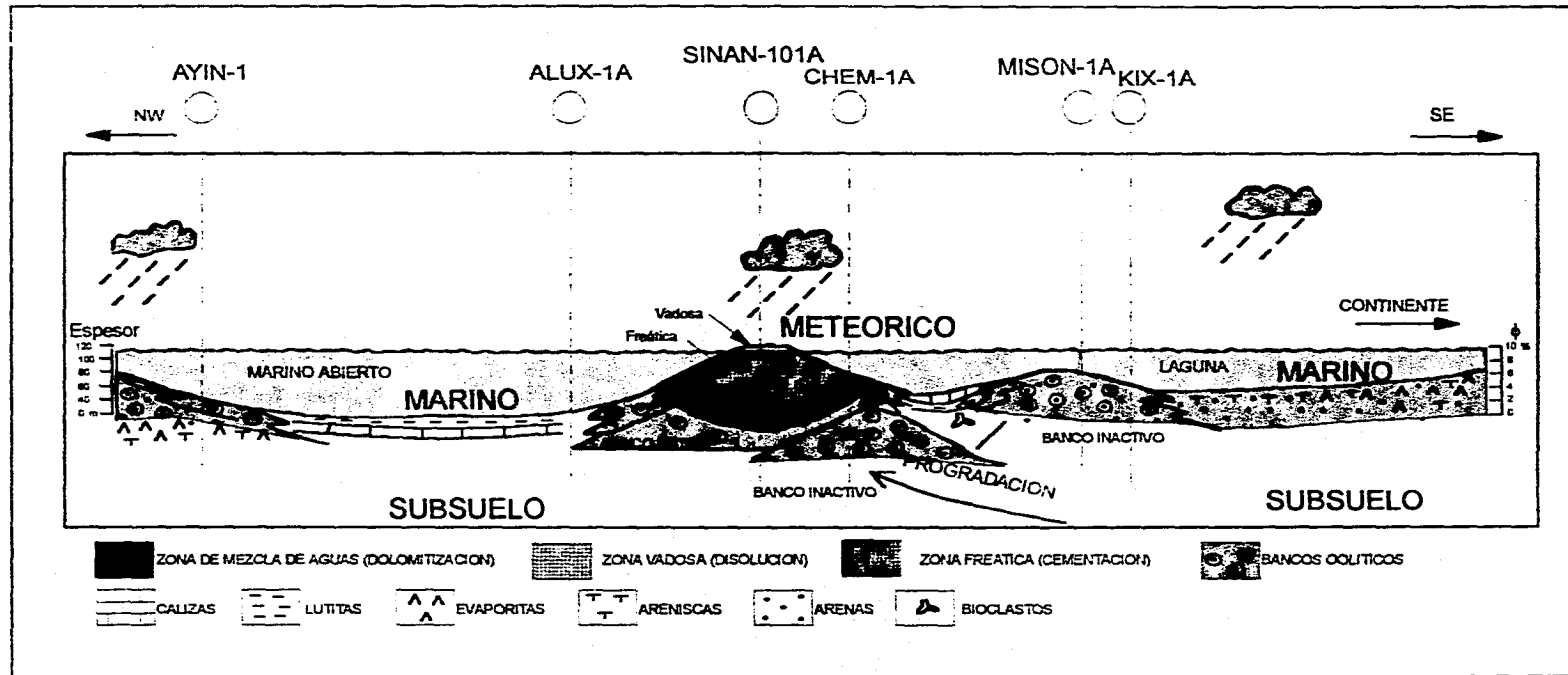


Fig.17 Modelo Sedimentológico-Diagenético durante el Jurásico Superior Kimmeridgiano



### Presión-Solución

El proceso de presión-solución incluye aquellos fenómenos fisicoquímicos que se efectúan bajo una presión dirigida, es decir, estudia los cambios químicos-mineralógicos y estructurales de un sistema no consolidado que se encuentra bajo el efecto de una carga. Algunos de los procesos involucrados son: disolución diferencial, precipitación preferencial y formación de estilolitas (Vera y Torres, 1987).

El resultado de la presión-solución grano a grano es más claramente visto en las oolitas ya que la estructura de ellas es bastante simétrica. Durante la acción de la presión-solución, los puntos de contacto entre los granos cambian a superficies de contacto y ésta permiten medir la intensidad del proceso. Dicho proceso se lleva a cabo durante la compactación, visto anteriormente.

Por otro lado, las estilolitas son superficies de presión-solución, la cual es un contacto complejo entre dos masas de una roca. Las estilolitas difieren de los contactos suturados grano a grano solamente en escala, involucran mas bien a la roca total que a granos aislados. Comúnmente la superficie estilolítica es una película de material residual no-carbonático rica en arcilla.

El crecimiento de estilolitas es obviamente la causa de pérdidas enormes de volumen y compactación en una sucesión de carbonatos.

La presión-disolución es considerada comunmente como un proceso diagenético de sepultamiento, pero los contactos suturados en las rocas oolíticas denominadas Shoofly, al sureste de Idaho, USA, demuestra que la presión disolución intergranular en grainstones sin cementar requiere poca profundidad (30 metros), temperatura y poco tiempo para suceder (Railsback, 1993).

De acuerdo al estudio diagenético, la secuencia carbonatada y clástico-carbonatada del Jurásico Superior Kimmeridgiano en el área de estudio, fué afectada por lo menos por cinco eventos de presión-solución. El primer evento, se presenta como superficies estilolíticas horizontales irregulares suaves, paralelas y anastomasadas formando en ocasiones estructuras estilonodulares. El segundo, tercero, cuarto y quinto eventos de presión-solución se presentan como estilolitas horizontales y verticales fuertes, con picos de amplitud alta, formando estructuras estilomoteadas con relleno de calcita y/o dolomita, (Lámina II, Microf. e y f).

Los últimos tres eventos están asociados con períodos de fracturamiento que en ocasiones presentan rellenos de calcita, dolomita o evaporitas (Lámina II, Microf. c).

Es probable que estos tres últimos eventos tengan un *origen tectónico*, relacionado a la evolución de la cuenca, de la cual es parte el área en estudio. Posiblemente, algunos de ellos, estén relacionados a movimientos tectónicos locales, por acción de la sal.

Estos eventos de presión-solución y fracturamiento fueron identificados prácticamente en toda el área y en la mayoría de las facies.

### Recristalización

Folk (1965) propuso el término *neomorfismo* para abarcar todas las transformaciones de un mineral a un polimorfo e involucra dos procesos: a) transformación polimórfica (*inversión*) y b) *recristalización*.

Cuando un mineral sufre "*recristalización*", significa que los cristales originales de un tamaño de partícula y morfología son convertidos a unidades de cristales con diferentes tamaños de granos y morfologías diferentes, pero la especie mineral es la misma antes y después del fenómeno. La *recristalización* es realmente un caso especial de *metasomatismo* en el cual el mineral original y "reemplazado" son mineralógicamente idénticos, si bien difieren en tamaño de grano, morfología y orientación.

Es muy común que la conversión de aragonita inestable a calcita sea mal llamada *recristalización*; este proceso debe ser propiamente llamado *inversión*, puesto que éstos dos minerales no son el mismo, difieren de sistema cristalino, densidad y arreglo iónico. Aunque mineralógicamente hablando la expresión más correcta es *transformación polimórfica*.

Como el proceso de *recristalización* involucra cualquier cambio de la textura de un mineral o sedimento monomineral, el mineral es el mismo antes y después de la reacción. Así puede efectuarse tres posibles cambios involucrando: (1) volumen del cristal, (2) forma del cristal y (3) orientación de la estructura del cristal.

Según Folk (1959), existen cuatro tipos de *recristalización* e *inversión*: a) *inversión* de fósiles originalmente aragoníticos a calcita, b) *recristalización* (o *inversión*) de una matriz de lodo de calcita microcristalina original o aragonita a microspatita, c) *recristalización* de aloquímicos y d) *recristalización* de una matriz de lodo original a espatita gruesa, dejando aloquímicos sin afectar.

Este proceso de recristalización, prácticamente regional, fué identificado principalmente en las facies someras 6-7, 7 y 8; aunque las facies 2 y 9 también fueron afectadas. La recristalización identificada en las facies del Jurásico Superior Kimmeridgiano se presenta en forma de microespatita la cual reemplaza a una matriz micrítica y recristalización de fragmentos de equinodermos, (Lámina II, Microf. b) , y de otros bioclastos.

### Silicificación

La silicificación es otro proceso de la diagénesis de carbonatos muy frecuente en lodos calcáreos, y de escasa importancia (Corrales et. al., 1977), que puede ser favorecido por un bajo pH y saturación de sílice en el agua intersticial. A veces puede ser altamente selectiva para determinados granos o tipos de restos fósiles.

Este proceso fué el último evento en la historia diagenética y fué identificado en prácticamente toda el área, a excepción del pozo May-1, sin embargo es muy incipiente, con porcentajes que no rebasan el 1% en las láminas estudiadas, además que se trata de un evento tardío. Se presenta en ocasiones reemplazando a cristales de dolomita, pero principalmente a placas de equinodermos y algunos otros organismos.

### VI.B.- AMBIENTES DIAGENETICOS IMPLICADOS

Folk (1974) considera que las calizas ocurren naturalmente bajo tres dominios químicos básicos: *meteórico*, con bajas cantidades de Mg y Na, que ocasiona la precipitación de calcita espática (freática) y calcita micrítica (vadosa); *marino*, caracterizado por alto Mg y Na, el cual provoca la precipitación de aragonita y calcita magnesiana en la forma de micrita y fibras; y finalmente el *subsuelo*, con bajo Mg y alto Na, caracterizado por la precipitación de calcita espática.

Dado que la interacción roca-agua es la fuerza conductora principal en la diagénesis de carbonatos, el factor clave en la ecuación diagenética es la composición de los fluidos de la superficie y del subsuelo. Las aguas en contacto con sedimentos y rocas carbonatadas más comunes son de origen marino, meteórica o del subsuelo profundo.

Cada región, caracterizado por aguas de diferente composición, pueden verse también como un *medio ambiente diagenético* por separado (Purdy, 1968, en James y Choquette, 1983).

Así se reconocen en forma general tres ambientes diagenéticos principales: (1).- El *suelo marino* y debajo el freático marino somero, caracterizado por aguas marinas, junto con la línea de costa inundada con aguas dulces y mixtas. (2).-El *metéorico* distinguido por el agua dulce vadosa y la zona freática somera de aguas mixtas marinas y dulces, y (3) El *subsuelo profundo* donde los poros son llenados con aguas que originalmente fueron aguas marinas pero que han sido moderada o drásticamente modificadas por diagénesis de sepultamiento.

Las características generales de cada medio diagenético se mencionan a continuación:

#### El medio ambiente Marino

La precipitación de carbonatos (aragonita y calcita magnesiana), si bien no está en todas partes, es el proceso diagenético predominante en el actual piso marino. Esto se manifiesta en la formación de granos, (p.e. ooides), endurecimiento de granos blandos por precipitación intergranular (p.e. peloides) y la litificación de sedimentos carbonatados sueltos para formar calizas de fondo marino; la calcita magnesiana ocurre como circungranular, o costras fibrosas. Las costras pueden ser de 70 a 80  $\mu\text{m}$  y compuestas de *crisales con arreglo en palizada*. El cementante marino aragonítico ocurre como costras de cementantes en *agujas fibrosas*, como sobrecrecimientos de agujas aragoníticas en estructuras de corales y *asociados a pellets*.

En contraste, el principal proceso biológico en operación es la *bioturbación* por una variedad de macro y "microendolitos" de los cuales el último producto es la destrucción de mucha de la fábrica deposicional.

Ambos procesos, *la bioturbación y la precipitación*, toman lugar en el piso marino tropical somero. Con el incremento de la profundidad, se incrementa la presión y decrece la temperatura, combinación que resulta en algunos casos en *neomorfismo* y más tarde en *disolución completa*.

Generalmente la diagénesis en el dominio marino se enfoca a las aguas someras, restringido por la zona de intermarea, plataforma continental y se extiende hasta el talud superior.

De los procesos identificados en la secuencia estudiada podemos ubicar los siguientes, *bioturbación, micritización, cementación 1 (SiO<sub>2</sub>), cementación 2 (CaCO<sub>3</sub>, en anillo y/o palizada)*, como originados en este **ambiente diagenético marino**, (Fig.17).

#### El medio ambiente Meteorico

Si los sedimentos compuestos de una variedad de precipitados minerales del agua de mar son, a través de *levantamiento, fluctuaciones eustáticas del nivel del mar o por simple exposición por acumulación*, invadidos así por aguas meteóricas, ocurren cambios mineralógicos en todas las escalas.

El medio meteórico *incluye condiciones de exposición subaérea* extendiéndose hasta el subsuelo somero donde los fluidos de poros son predominantemente de origen meteórico. El dominio meteórico consiste de dos subambientes; *el vadoso*, arriba del nivel freático y *el freático* abajo de dicho nivel (Fig.17). Las aguas meteóricas son usualmente deficientes en Na<sup>+1</sup> y Mg<sup>+2</sup> aunque pueden estar enriquecidas de Ca<sup>+2</sup>. La dolomita y la calcita de bajo magnesio son los minerales más comúnmente precipitados.

Bajo muchas condiciones de agua meteórica, *la aragonita se disuelve y la calcita magnesiana es transformada a calcita de bajo magnesio*. Los cementantes, sin importar la mineralogía, son generalmente *claros, iguales, rómbicos o complejos polihédricos*.

La diferenciación entre cementantes vadosos y freáticos consisten en su morfología principalmente. En la *zona vadosa* los cementantes más comunes reflejan crecimiento hacia afuera de la interfase agua-aire de poros rellenados parcialmente y tienen formas de *menisco o colgantes*. Los cristales en este medio raramente tienen buenas terminaciones. Los cementación en *meniscos y las formas colgantes* son buenos criterios de precipitación vadosa, pero si el cementante es prolongado y los poros están llenos, estas formas características a menudo son destruidas. Los poros en la *zona freática*, a diferencia de los vadosos, son siempre rellenados con agua y también pueden crecer sin impedimento excepto por la competencia intercrystalina. Los

cementantes formados aquí, son *láminas isopacas* bien desarrolladas de cristales de calcita alrededor de las paredes del poro o *calcita en bloque*. Como regla general, los cristales son mas grandes que en la zona vadosa y el crecimiento sintaxial en partículas de equinodermos es más rápido.

Las aguas meteóricas pueden efectuar cambios importantes en la cantidad, tipo y distribución de la porosidad en las secuencias carbonatadas. Estos cambios pueden ser por *disolución* de sedimento y componentes de la roca y/o precipitación de cementantes en la porosidad deposicional original, y/o en porosidad de disolución secundaria. *La porosidad móldica* es característicamente creada por aguas meteóricas. Al mismo tiempo, es en este medio ambiente del acuífero cercano a la superficie, que la *cementación ocurre ampliamente*, por lo cual los minerales originales tienden a disolverse o transformarse, y el mineral más estable, la calcita de bajo magnesio, comienza a formarse.

Si los sedimentos quedan en este marco después de que todos los minerales metaestables han sido alterados a calcita de bajo magnesio, o si las calizas antiguas son levantadas y expuestas, resulta una variedad de rasgos cársticos. La proporción en la cual las transformaciones, *disolución*, *cementación temprana* y la formación de rasgos cársticos ocurren, son fuertemente influenciados por la temperatura y las lluvias en la superficie.

Por lo mencionado con anterioridad, los siguientes eventos: *disolución 1*, *cementación 3 (calcita en bloque)*, *compactación*, *cementación 4 (calcita en bloque)*, *disolución 2 (porosidad móldica)*, *cementación 5 (calcita en bloque)*, *presión-solución 1*, *fracturamiento-1, (muy incipiente)*, *presión-solución 2* y *dolomitización 1 (por reflujo)*, se desarrollaron en un **ambiente diagenético meteórico** (Fig.17).

#### El medio ambiente del Subsuelo Profundo

Cuando los sedimentos son enterrados progresivamente y son sujetos a incrementos en la presión y temperatura durante y después de la litificación, ellos atraviesan por una variedad de modificaciones. Los cambios importantes que ocurren incluyen *compactación química y mecánica*; durante la cual las porosidades pueden ser reducidas drásticamente por: *cementación por carbonato*, sulfato y *minerales de sílice*.

La cuestión básica concerniente a la diagénesis del subsuelo se centra en el *potencial de los procesos diagenéticos y sus relaciones con la porosidad*. La compactación

mecánica, como un proceso significativo de reducción de porosidad, parece estar restringido a *sedimentos de grano fino* y únicamente durante el estado de expulsión del agua. Los *sedimentos de grano grueso*, particularmente aquellos soportados por granos, muestran menores rasgos de compactación.

La competencia mecánica de una secuencia de grano grueso es altamente aumentada por cementación temprana antes o durante el sepultamiento muy temprano. La solución en contactos de granos bajo carga litostática, ha sido reconocido como una consecuencia significativa del sepultamiento progresivo de una secuencia sedimentaria, bajo algunas condiciones la porosidad puede ser creada nuevamente durante la diagénesis de soterramiento por disolución de granos y cementante. Esto último puede ser provocado por la producción de CO<sub>2</sub> por compuestos orgánicos bajo reacciones termo-bioquímicas en la presencia de otros fluidos de poros.

Sin embargo, muchos autores *niegan la posibilidad de una precipitación de cementante* significativo en el subsuelo (Bathurst, 1971). Por otro lado, la porosidad tanto primaria como secundaria, puede preservarse bajo condiciones de un sepultamiento relativamente profundo por una combinación de presión de poro elevada y cementación temprana en la estructura.

De esta manera los siguientes eventos: *presión-solución 3 (tectónico), fracturamiento 2, presión-solución 4 (tectónico), emplazamiento de hidrocarburos 1, fracturamiento 3, presión-solución 5 (tectónico), recristalización, dolomitización 2 (por canibalismo), presión-solución 6 (tectónico), presencia de hidrocarburos 2 (residual) y silicificación*, tuvieron su origen en un **ambiente de subsuelo** (Fig. 17).

#### VI.C.- RELACIONES FACIES-PROCESOS DIAGENÉTICOS

La tabla no. 2 muestra la relación que existe entre los eventos diagénéticos con la facies sedimentarias existentes. En esta tabla se puede observar que **la facies 6 fue mayormente afectada, diagénéticamente hablando, junto con la facies 8, 7 y 6-7**. En menor proporción están afectadas las **facies 9 y 2**, siendo las facies de **plataforma clástica y la 3-4 (falsa)** las menos afectadas. Esto implica la gran relación que existe entre los diferentes ambientes de depósito y los procesos diagénéticos.

Por otro lado, analizando la misma tabla, se observa que algunos eventos diagenéticos son de **distribución local**: *bioturbación, cementación de sílice, disolución 1, fracturamiento 1*; y otros **regionales**: *micritización, presión-solución 1, dolomitización 1, recristalización y silicificación*. Es importante hacer notar que **la presencia de hidrocarburos es un evento regional** y que se presentan **dos emplazamientos diferentes**. En forma general, los **hidrocarburos 1 son ligeros** y los **hidrocarburos 2 son residuales**.

Asimismo, podemos observar que los principales **eventos a favor del emplazamiento de hidrocarburos**, es decir aquellos que *favorecieron* y *crearon la porosidad necesaria* para dicho emplazamiento, en las facies almacenadoras, fueron la **disolución 2 y la dolomitización 1**. El primero creó principalmente *porosidad móldica*, en los pozos Chem-1A, Ki-101, Kab-101, May-1, Sinan-1A, Sinan-101A y Yum-1, relacionadas directamente a exposición subaérea y posiblemente a percolación de aguas meteóricas. La dolomitización 1, por su parte, creó porosidad secundaria intercrystalina en prácticamente toda el área.

Por último, los principales **eventos que obstruyeron la porosidad** fueron las diferentes generaciones de **cementantes de carbonato de calcio y sílice y en menor proporción los fenómenos de compactación y presión solución**. Las cementaciones se relacionan a una *etapa diagenética temprana*, siendo las primeras cuatro *antes del proceso de disolución fuerte (disolución 2)*, por lo que se explica de ésta forma *la preservación de la porosidad* debido a esta disolución, e incremento de la misma al dolomitizarse prácticamente toda la secuencia. Por último se observa que los fenómenos de compactación y presión solución, afectaron poco a las facies almacenadoras, posiblemente debido a sus texturas originales gruesas y a las texturas mesocrystalinas secundarias, que resultaron después de la dolomitización.

#### VI.D.- PARAGENESIS GENERAL Y ETAPAS DIAGENETICAS

De acuerdo al estudio realizado en el área, las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano fueron afectadas por *ocho procesos diagenéticos*: **bioturbación, micritización, cementación, disolución, dolomitización, presión-solución, recristalización y silicificación**, junto a los cuales se pudieron diferenciar **tres eventos de fracturamiento** y **dos períodos de emplazamiento de hidrocarburos**.



Algunos de los procesos se presentan en más de una ocasión dentro de la *historia diagenética*, totalizando **19 eventos diagenéticos** (Anexo A, tabla 3).

La tabla número 3 resume la **paragénesis general del área de estudio**, la relación de éstos con los eventos de fracturamiento, así como con los periodos de emplazamiento de hidrocarburos.

En forma general, los cuatro primeros procesos: *bioturbación*, *micritización*, *cementación 1* ( $\text{SiO}_2$ ), *cementación 2* ( $\text{CaCO}_3$ , en anillo y/o palizada), están ligados a un *ambiente diagenético marino*, sindeposicional. En este se involucran los procesos desde el momento de depósito hasta los inicios del sepultamiento de los sedimentos. Esto corresponde a la **etapa predeposicional y deposicional** de Choquette y Pray (1970).

Los eventos de: *disolución 1*, *cementación 3* (*calcita en bloque*), *presión-solución 1* (*compactación*), *cementación 4* (*calcita en bloque*), *disolución 2* (*porosidad móldica*), *cementación 5* (*calcita en bloque*), *fracturamiento 1*, *presión-solución 2* y *dolomitización 1* (*por reflujo*), se desarrollaron en un **ambiente diagenético meteórico**, que es la zona que se encuentra entre la superficie del terreno y el nivel freático; la parte superior corresponde a la zona de disolución y la inferior a la de precipitación. En general, los subambientes implicados en ésta zona corresponden a la **etapa Eogenética** de Choquette y Pray (op.cit.).

Los eventos posteriores: *presión-solución 3* (*tectónico*), *fracturamiento 2*, *presión-solución 4* (*tectónico*), *emplazamiento de hidrocarburos 1*, *fracturamiento 3*, *presión-solución 5* (*tectónico*), *recristalización*, *dolomitización 2* (*por canibalismo*), *presión-solución 6* (*tectónico*), *presencia de hidrocarburos 2* (*residual*) y *silicificación*, se dieron lugar en un **ambiente de subsuelo**, en el cual el límite superior es transicional con los otros ambientes y el inferior lo marca las primeras etapas de metamorfismo. Este ambiente en general corresponde a la **etapa mesogenética** de Choquette y Pray (op.cit.). Cabe aclarar que no se encontraron evidencias de una **etapa telogenética**, es decir de levantamiento, por lo que se puede inferir que la cuenca en general tuvo una subsidencia constante.

También, en la tabla general de paragenésis, se muestra que el **primer periodo de emplazamiento de hidrocarburos**, y el más importante, se dió después del primer evento de dolomitización y del segundo de fracturamiento.

Por otra parte, según los estudios geoquímicos realizados (ver Capítulo VII), la principal roca generadora de edad Jurásico Tardío Tithoniano comenzó a generar hace 5-10 ma., ésto es, entre el *Mioceno Temprano* y *Mioceno Tardío* (Anexo A, tabla 4), si consideramos entonces, que el petróleo comienza a migrar inmediatamente, podemos inferir que todos los procesos identificados después del primer período de **emplazamiento de hidrocarburos, tuvieron lugar entre el *Mioceno al Reciente***. Así, dicho emplazamiento se dió en una **etapa del subsuelo profundo utilizando como posibles vías de migración las fallas, fracturas y zonas permeables existentes.**

La paragénesis general identificada en el área de estudio, concuerda con los datos publicados, de la paragénesis para el campo Luna y pozos vecinos, hacia el sur del área de estudio, por Sánchez (1992), en su estudio sobre el fracturamiento natural y su relación con los hidrocarburos.

## LAMINA I

### Fotomicrografia.-a

Mudstone arcilloso, mostrando pseudolaminaciones y galerías por bioturbación, obsérvese la presencia de cuarzo detrítico.

Objetivo: 2.5 X; Luz Paralela; c/cond.  
Facies: 2 (depresión intraplatafórmica)

Pozo: Citam-1

Profundidad: 6406 m.

Núcleo: 2; Caja 9

### Fotomicrografia.-b

Mudstone dolomitizado mostrando galerías por bioturbación.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles Cruzados.  
Facies: 2 (depresión intraplatafórmica)

Pozo: Yum-401  
Núcleo:2; Frag. 2

Profundidad: 5303 m.

### Fotomicrografia.-c

Packstone-grainstone de ooides y oolitas, en partes dolomitizado y recristalizado, presentando cementante de calcita y sílice.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles Cruzados.  
Facies: 6 (bancos oolíticos)

Pozo: Yum-401  
muestra de canal

Profundidad: 5695 m.

### Fotomicrografia.-d

Packstone de pellets y ooides en partes dolomitizado, con fragmentos de algalclastos, mostrando cementante de calcita en palizada y micritización en las oolitas y ooides. Obsérvese la impregnación de hidrocarburos en porosidad secundaria intercristalina en la dolomita.

Objetivo: 10 X; Nícoles Cruzados.  
Facies: 6-7 (bancos oolíticos-laguna)

Pozo: Ayin-1  
Núcleo:2; caja 4

Profundidad: 5303 m.

### Fotomicrografia.-e

Grainstone de oolitas y granos envueltos mostrando contactos suturados por compactación entre los aloquímicos. Obsérvese además disolución de las oolitas y el cementante de calcita en bloque. Los granos presentan micritización.

Objetivo: 10 X; Nícoles Cruzados.  
Facies: 8 (plataforma interna- laguna)

Pozo: Chem-1A  
muestra de canal

Profundidad: 5750-62 m.

### Fotomicrografia.-f

Packstone a grainstone de oolitas y ooides dolomitizado, presentando materia orgánica algácea en capas concéntricas. Obsérvese los rasgos de compactación y la micritización de las oolitas, así como el cementante de calcita.

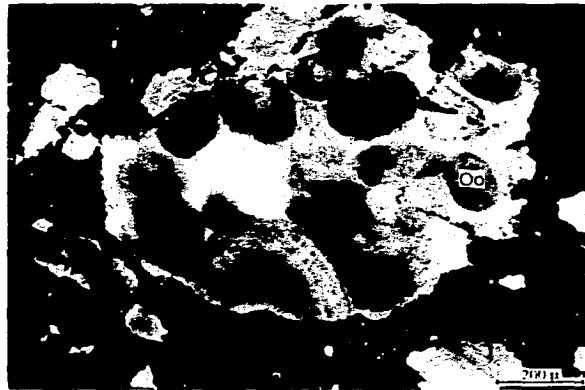
Objetivo: 10 X; Luz Paralela.  
Facies: 6 (bancos oolíticos)

Pozo: Sinan-101A  
Núcleo:2

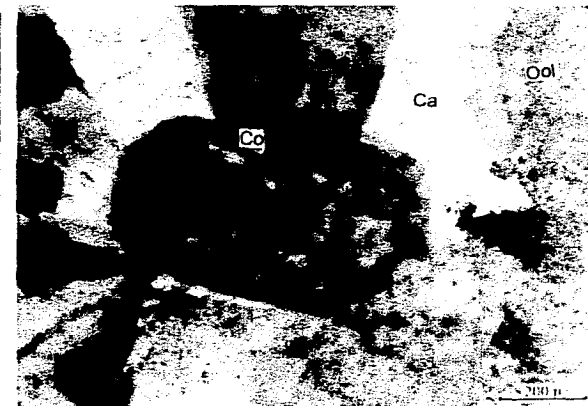
Profundidad: 5530 m.



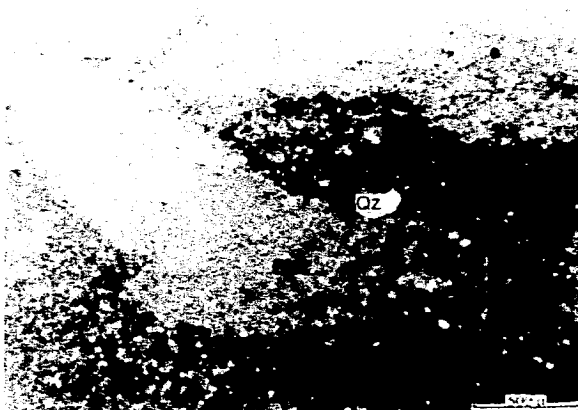
a



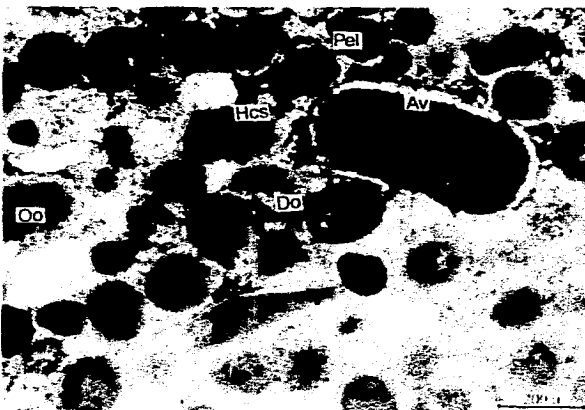
c



e



b



d



f

Anh = Anhidrita  
 Av= Algas Verdes  
 Bio = Bioclastos  
 Biot=Bioturbación  
 Ca = Cementante calcífico  
 Co=Compactación  
 Do = Dolomita  
 Mr=Micritización

Hcs = Hidrocarburos  
 Int=Intraclastos  
 Oo = Ooides  
 Ool = Oolitas  
 Pel = Pellets  
 Pi = Pirita  
 Peq = Placas de Equinodermos  
 Ps=Presión-solución

Psd = Porosidad Secundaria por disolución  
 Psi = Porosidad secundaria intercrystalina  
 Qz = Cuarzo  
 St = Estilolitas

## LAMINA II

### Fotomicrografía.-a

Packstone de ooides dolomítico con placas de equinodermos, bioclastos y cuarzo autígeno. Se observa porosidad móldica (disolución de bioclastos) y en cavidades de disolución, la cual afecta tanto a los aloquímicos como a la matriz.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles Cruzados.

Facies: 6 (Banco oolíticos)

Pozo: Sinán-101A

Núcleo: 2; Parte Media

Profundidad: 5530 m.

### Fotomicrografía.-b

Packstone de intraclastos, oolitas y ooides con fragmentos de algas codiáceas del género *Cayeuxia* s.p. Obsérvese la porosidad por disolución (intrafosilar) y el crecimiento sintaxial de cementante a partir de placas de equinodermos.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles Cruzados.

Facies: 8 (Plataforma interna)

Pozo: Sinan-101A

Núcleo: 2; Parte Inferior

Profundidad: 5330 m.

### Fotomicrografía.-c

Mudstone-wackestone con cuarzo detrítico e inclusiones de anhidrita. Obsérvese el fracturamiento sellado por anhidrita.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles Cruzados.

Facies: 7

Pozo: Citam-1

Núcleo: 1; caja 3

Profundidad: 6226 m.

### Fotomicrografía.-d

Mudstone dolomítico, recristalizado, mostrando dos etapas de fracturamiento sellados por calcita. Se observan algunos bioclastos piritizados.

Objetivo: 2.5 X; Luz paralela.

Facies: 7 ("Profunda")

Pozo: Yum 401

Núcleo: 2

Profundidad: 5302 m.

### Fotomicrografía.-e

Mudstone dolomítico mostrando superficies estilolíticas y fracturamiento sellado por calcita.

Objetivo: 2.5 X; Luz paralela.

Facies: 7 ("Profunda")

Pozo: Yum 401

Núcleo: 2

Profundidad: 5296 m.

### Fotomicrografía.-f

Dolomía microcristalina mostrando estilolitas verticales posteriores al fracturamiento sellado por calcita. Obsérvese la impregnación de hidrocarburos residuales en porosidad intercristalina.

Objetivo: 10 X; Luz paralela.

Facies: 6-7 (bancos oolíticos)

Pozo: Ayin-1

Núcleo: 4; caja 4; Frag. 20

Profundidad: 6603 m.



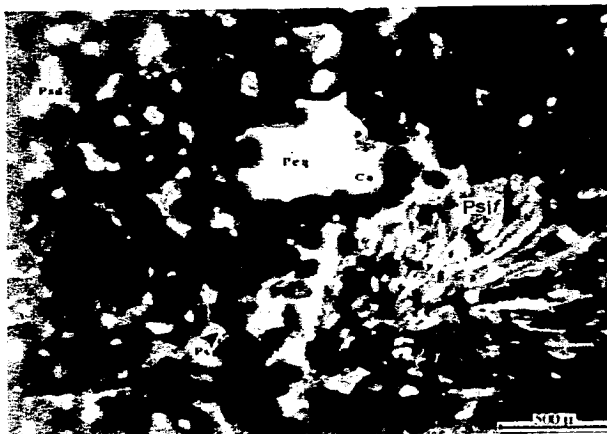
a



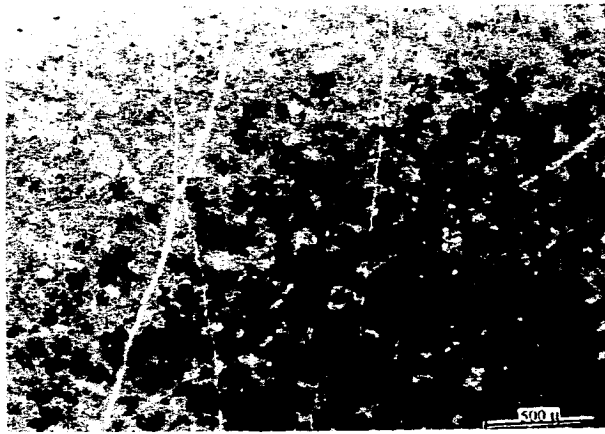
c



e



b



d



f

Anh= Anhidrita  
 Av= Algas Verdes  
 Bio= Bioclastos  
 Biot= Bioturbación

Ca= Cementante de calcita  
 Co= Compactación  
 Do= Dolomita  
 Fr= Fracturas

Hcs= Hidrocarburos  
 Int= Intraclastos  
 Oo= Ooides  
 Oolitas = Ool

Pel= Pellets  
 Pi= Pirita  
 Peq= Placas de Equinodermos  
 Ps= Presión-solución

Psif = Porosidad Secundaria intrafosilar  
 Psd= Porosidad secundaria por disolución  
 Psi= Porosidad secundaria intercrystalina  
 Qz= Cuarzo  
 St= Estilolitas

### **LAMINA III**

#### **Fotomicrografia.-a**

Packstone de ooides dolomitizado, con impregnación de hidrocarburos en porosidad intercrystalina.

Objetivo: 10 X; Luz paralela c/cond.

Facies: 6-7 (Banco oolíticos)

Pozo: Ayin-1

Profundidad: 6268 m.

Núcleo: 2; Caja 4; Fag. 24

#### **Fotomicrografia.-b**

Dolomia mesocrystalina, en su origen packstone-grainstone de oolitas, con impregnación de hidrocarburos en porosidad secundaria por disolución e intercrystalina por dolomitización.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles Cruzados c/ cond.

Facies: 6 (bancos oolíticos)

Pozo: Mucuy-1  
muestra de canal

Profundidad: 5619 m.

#### **Fotomicrografia.-c**

Dolomia mesocrystalina, en su origen grainstone de oolitas; obsérvese la impregnación de hidrocarburos en porosidad secundaria intercrystalina.

Objetivo: 2.5 X; Luz paralela.

Facies: 6-7 (bancos oolíticos)  
m.

Pozo: May-1

Profundidad: 5698

Núcleo: 3; caja 6; Frag. 23

#### **Fotomicrografia.-d**

Mesodolomia arenosa con relictos (sombras) de ooides. Obsérvese la influencia terrígena, por la presencia de cuarzo detrítico.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles cruzados.

Facies: 7-8

Pozo: Kix-1A

Profundidad: 5302 m.

Núcleo: 4; Frag. 28

#### **Fotomicrografia.-e**

Dolomitización por canibalismo asociada a presión-solución.

Objetivo: 2.5 X; Nícoles cruzados.

Facies: 8

Pozo: Kab-101

Profundidad: 5798 m.

Núcleo: 4; Caja 4; Frag. 20

#### **Fotomicrografia.-f**

Proceso de presión-solución (tectónico), posterior a la dolomitización. Obsérvese la disolución parcial de la dolomita en la estilolita.

Objetivo: 10 X; Luz paralela.

Facies: 8

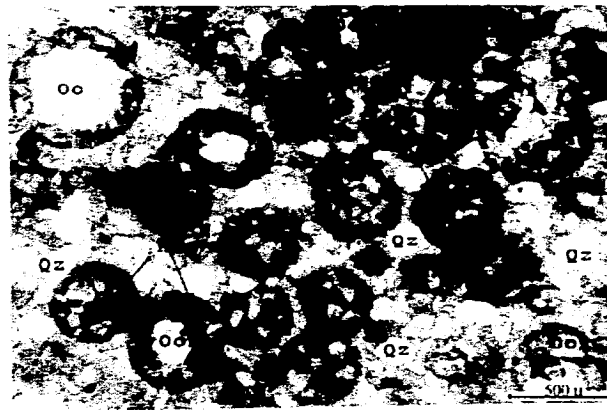
Pozo: Kab-101

Profundidad: 5657 m.

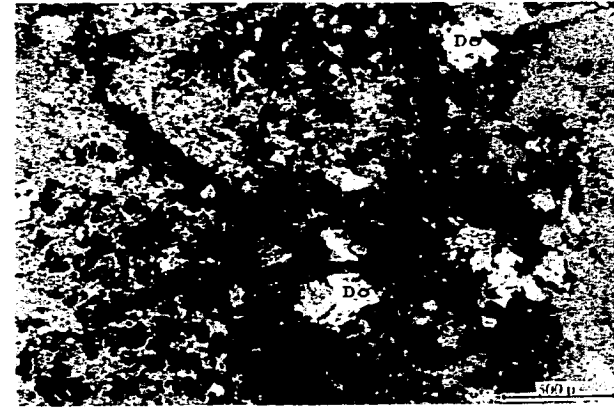
Núcleo: 3; Frag. 14



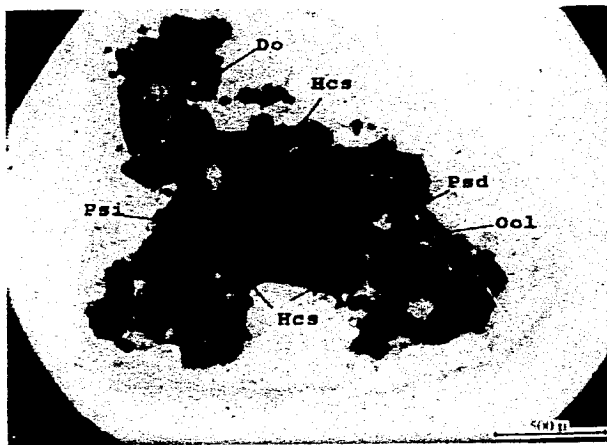
a



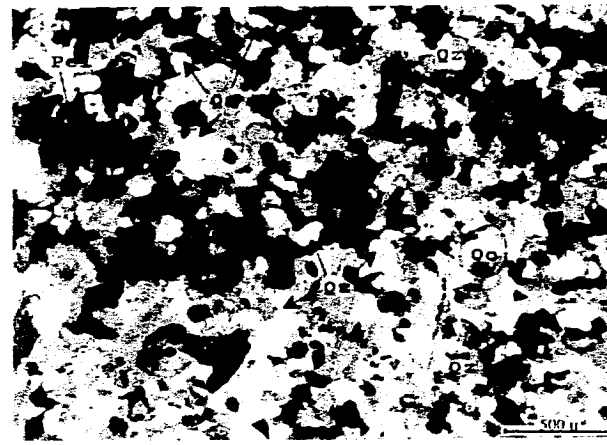
c



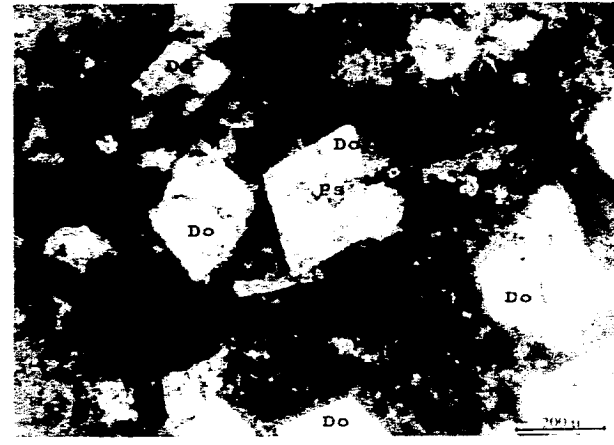
e



b



d



f

Anh= Anhidrita  
 Av= Algas Verdes  
 Bio= Bioclastos  
 Biot= Bioturbación

Ca= Cementante de calcita  
 Co= Compactación  
 Do= Dolomita  
 Fr= Fracturas

Hcs= Hidrocarburos  
 Int= Intraclastos  
 Oo= Ooides  
 Ool= Oolitas

Pel= Pellets  
 Pi= Pirita  
 Peq= Placas de Equinodermos  
 Ps= Presión-solución

Psd= Porosidad secundaria por disolución  
 Psi= Porosidad secundaria intercrystalina  
 Qz= Cuarzo  
 St= Estilolitas



## VII- ASPECTOS ECONOMICOS

En los aspectos económicos-petroleros que a continuación se mencionan, se resalta la importancia del conocimiento *sedimentológico-diagenético* de un área, para diferenciar, caracterizar y predecir el comportamiento de las principales rocas almacenadoras de hidrocarburos en una etapa exploratoria; es decir, se enfoca a las *características de las facies almacenadoras* y a su *posible continuación hacia áreas no conocidas o poco perforadas*, mencionando los resultados que se han obtenido en dichas rocas, así como su aplicación en *la exploración de este recurso*.

### VII.A.- RESULTADO DE POZOS

De acuerdo a las pruebas de producción realizadas en los pozos exploratorios, perforados hasta ahora en el área de estudio, ocho de ellos han resultado productores en rocas de Jurásico Superior Kimmeridgiano. Los intervalos productores corresponden *principalmente a facies oolíticas (6 y 6-7), así como facies someras de inter y submarea (8)*. Los demás pozos no son productores debido a otros factores, principalmente estructurales, ya que cuatro de ellos han resultado invadidos de agua salada, y otros han sufrido accidentes mecánicos, durante la perforación o en las pruebas de producción.

### VII.B.- ROCAS ALMACENADORAS

De acuerdo a los resultados que se han obtenido en los pozos exploratorios del área, a las características de las diferentes facies y tomando en cuenta principalmente porosidades promedio y procesos diagenéticos identificados, las rocas almacenadoras de Jurásico Superior Kimmeridgiano son principalmente las facies 6, 6-7 y 8, es decir, aquellas desarrolladas en las *zonas de bancos, interbanco, paleoaltos o bien lagunares-costeras* (Figs.15 c y d), correspondiendo principalmente a packstone-grainstone de oolitas y ooides, packstone-grainstone de oolitas e intraclastos y en menor proporción wackestone-packstone de pellets,

peloides, oolitas y otras partículas. **Las porosidades de dichas rocas son principalmente secundarias por dolomitización y disolución.** En general dichas facies fueron afectadas por un mayor número de procesos diagenéticos relacionados a paleoaltos topográficos, cuyas exposiciones subaéreas periódicas, acentuaron los mencionados procesos (Fig. 17).

Estas facies almacenadoras varían en **espesores netos de 20 a 131 m** (Anexo A, tabla 5, Fig.18) y su distribución se muestra en las figuras 9 y 11. Por otro lado, las porosidades promedio fueron calculados a partir de los datos petrográficos-visuales determinados, registros eléctricos, registros computados y de los análisis de contenidos de fluidos de núcleos. Por lo dicho anteriormente, la figura 18, muestra **los espesores netos porosos.**

Las porosidades en estas facies varían de **3 a 10%** (Anexo A, tabla 6, Fig.19), cuyos mejores valores se concentran en las áreas: nor-occidental (pozo Ayin-1), nor-central (pozos Ki-101, Sinan-101A y Chem-1A) y sur-central (May-1). Cabe aclarar que se determinaron porosidades locales, es decir de pequeños intervalos, de hasta 20% de porosidad secundaria por disolución y dolomitización.

**Las facies lagunares** siguen en importancia como rocas almacenadoras. Estas facies tienen porosidades atractivas, del orden de **3-6%**, como en los pozos Mucuy-1 y May-1, solo que el contenido e impregnación de aceite es pobre en ambos pozos.

Por otro lado, **la facies 8** tienen buenas porosidades del orden de **2-8%** (pozos Ki-101 y Chem-1A), sólo que los espesores son muy reducidos y las porosidades más altas se deben principalmente a disolución. En donde estas facies tienen mayor espesor (pozo Oktan-1A), la porosidad es baja del orden 3-4%, ya que los procesos diagenéticos no están bien desarrollados en esta zona. Es importante resaltar aquí, *que si la dolomitización es fuerte en estas facies, resultan porosidades entre 6% y 8%* (pozo Kab-101), aumentando la permeabilidad y por consiguiente su atractivo como roca almacén.

Todas las demás facies tienen poco interés económico desde el punto de vista de roca almacén.

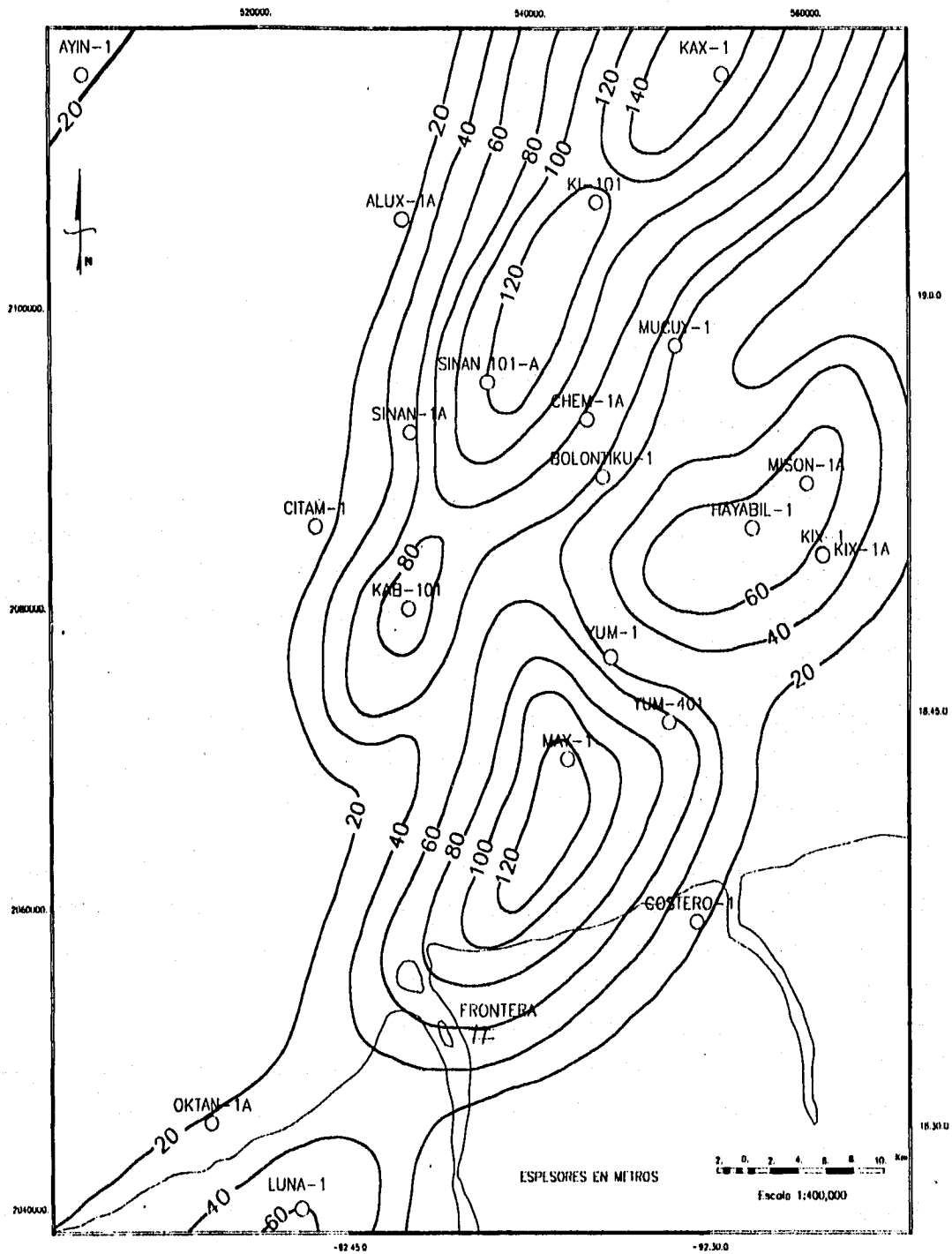


Fig.18 ESPESORES NETOS POROSOS DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

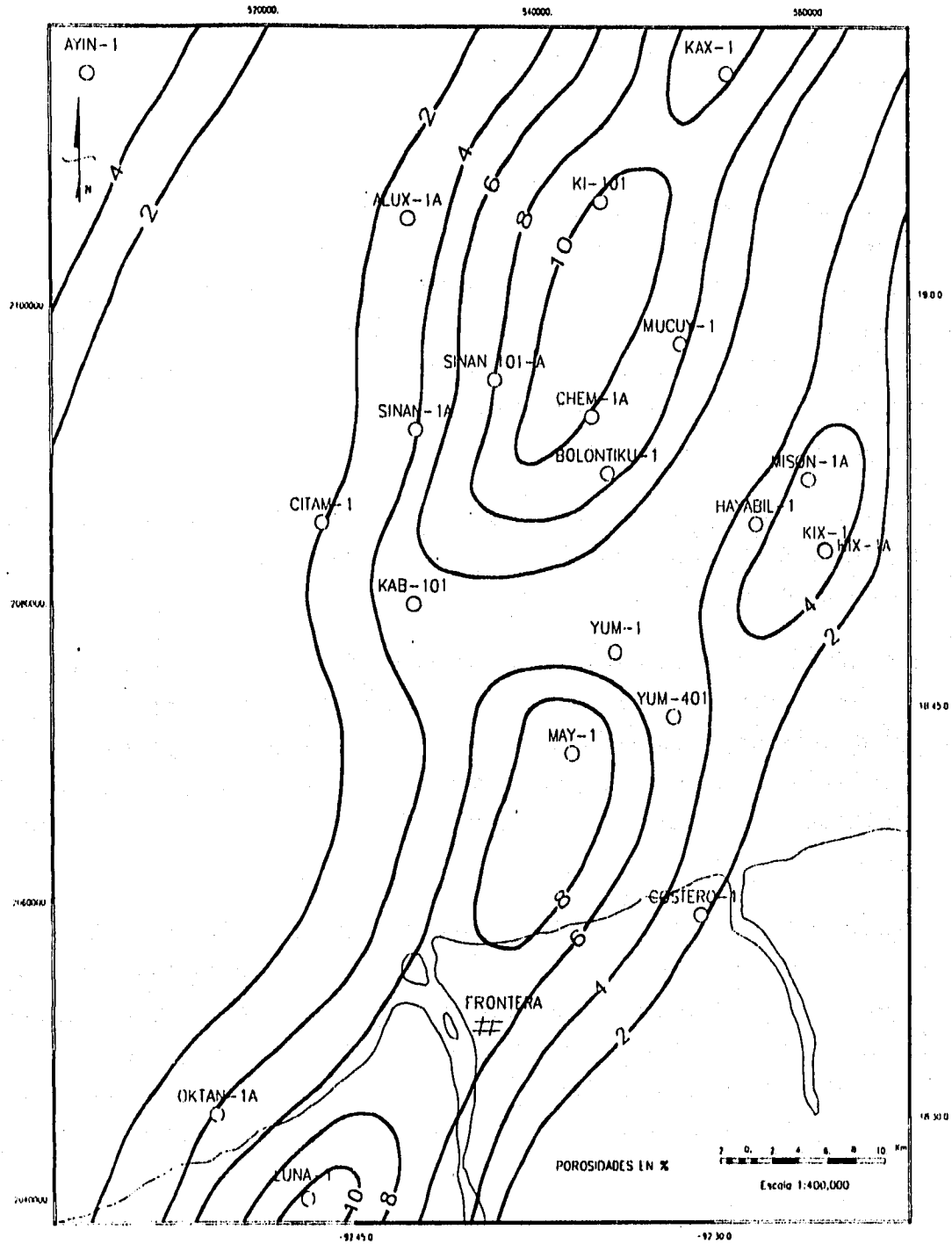


Fig.19 ISOPOROSIDADES, PROMEDIO DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERDIGIANO

### VII.C.- ROCA GENERADORA Y SELLO

De acuerdo a los estudios geoquímicos realizados (Medrano,1994), la principal roca generadora en el área de estudio, está constituida por una secuencia de lutitas bituminosas y calizas arcillosas de edad Jurásico Tardío Tithoniano que en ocasiones alcanza parte del Kimmeridgiano Tardío y del Berriasiano Temprano (Anexo A, tabla 4), la cual presenta las siguientes características: un espesor neto generador que varía de 130 a 310 m, con una distribución regional, la riqueza orgánica del carbono orgánico total varía de 1-5 % es decir de muy bueno a excelente con un potencial generador de 2000-5000 ppm (regular a bueno), y el tipo de kerogeno está clasificado químicamente como de tipo II, generador principalmente de aceite, el tipo de materia orgánica es amorfa fluorescente y se presenta de madura a fuertemente madura, generando aceites ligeros y superligeros.

Estas rocas, en toda el área marina, están en contacto directo con las del Jurásico Superior Kimmeridgiano y es evidente que también es uno de los mejores **sellos regionales** para el área de estudio.

Sin embargo, como resultado de este estudio, de acuerdo a las características observadas bajo el microscopio, las facies del Jurásico Superior Kimmeridgiano con **mayor contenido de materia orgánica** y con posibilidades de ser **generadoras**, son la **facies 2**, en depresiones intraplatafórmicas, donde se identificaron lutitas oscuras con abundante materia orgánica dispersa y la **facies 9**, por las presencia de **materia algácea**.

También, de acuerdo a las características petrofísicas observadas, **las facies 9, 2 y 7** son las rocas con mejores características de **sello**, ya que tienen grandes desarrollos de evaporitas con terrígenos y/o mudstones bentoníticos, siempre y cuando no exista un fracturamiento considerable. Estos sellos, en algunas ocasiones, están separando las facies almacenadoras, por lo que para el cálculo de espesores netos impregnados y por lo tanto para el de las reservas, se deben de tomar en consideración estas intercalaciones.

#### VII.D.- TIPOS DE TRAMPA

Con base en la información geológica y sísmica-estructural se tienen evidencias de que la formación de las trampas está relacionada a la compresión del Mioceno Temprano y/o diapirismo salino del Mioceno Medio al Pleistoceno, (Anexo A, tabla 4).

Asimismo, de acuerdo a las configuraciones estructurales de los campos (Fig.20), se puede definir que las trampas existentes para ésta área son de **tipo estructural**. Estas en su mayoría son anticlinales con orientación NW-SE, limitados por sus flancos NE y SW por fallas inversas paralelas al eje de la estructura, perpendicular a dicho eje existen algunas fallas normales. Sin embargo, de acuerdo al análisis y a los resultados obtenidos en este trabajo, es lógico pensar en la existencia de **trampas estratigráficas**, las cuales estarían compuestas por las facies oolíticas (facies 6), rodeadas de facies 7 ó bien 6-7 rodeadas de facies 7 y/o de facies de plataforma clástico-carbonatada.

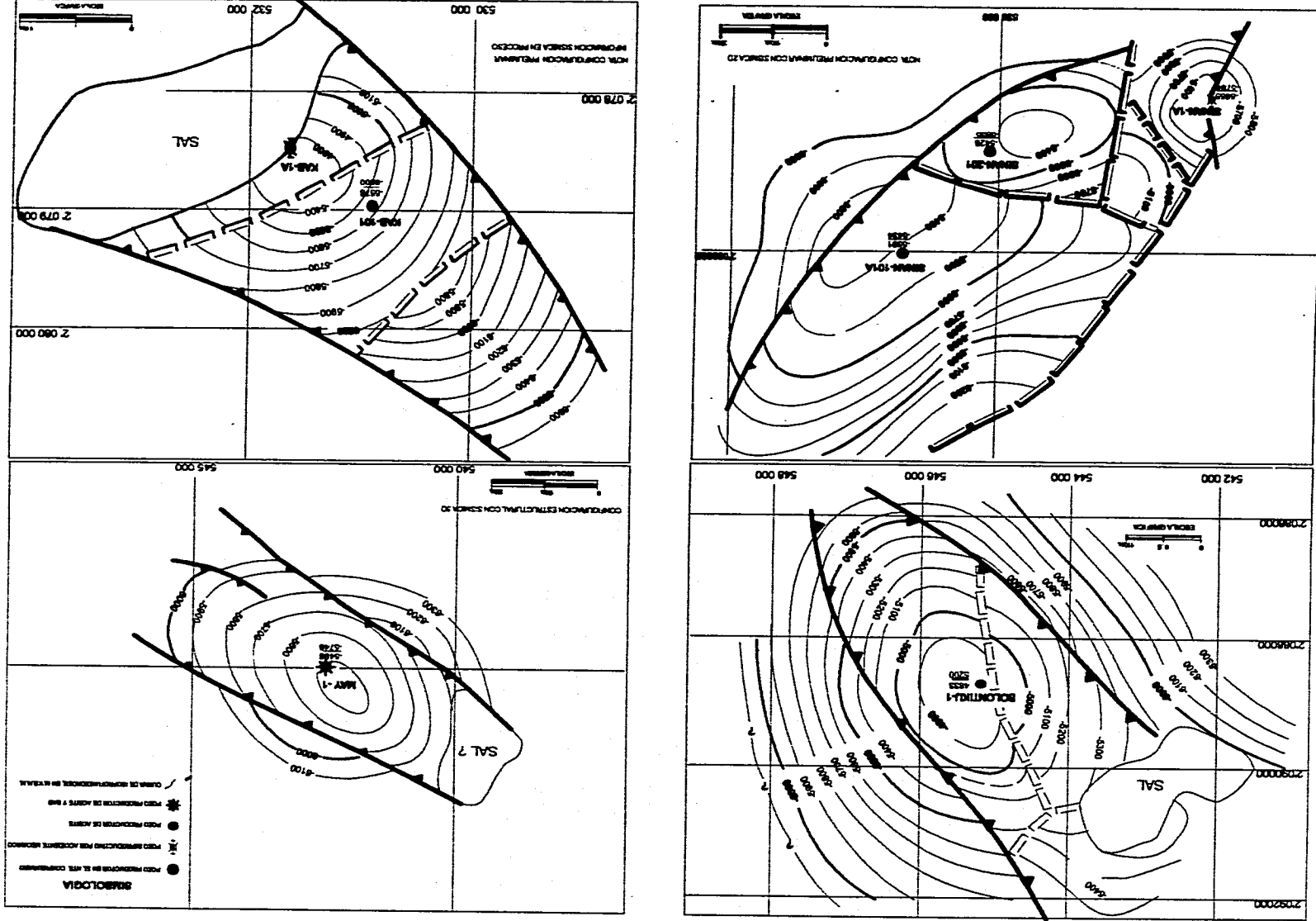
Por otro lado, pueden existir **trampas diagenéticas**, ya que el desarrollo de porosidad de las rocas almacenadoras está íntimamente asociado a altos paleogeográficos, y a zonas de exposición subaérea, donde la influencia del agua meteórica captada en los bancos oolíticos se extiende a otras facies, y se lleva a efecto la disolución. También existe una zona de mezcla de aguas, donde la dolomitización ocurre (Fig. 17).

Por lo tanto, una mayor posibilidad es la existencia de trampas combinadas, donde confluyan aspectos **estratigráfico-estructurales**.

#### VII.E.- SINCRONIA Y MIGRACION

Si las trampas fueron formadas durante el Mioceno y por otra parte según los estudios geoquímicos realizados, la generación de hidrocarburos inició durante este mismo período y continúa generando en el Reciente, entonces se puede deducir que existe buena sincronización entre la formación de la trampa y el tiempo de migración de los aceites, (Anexo A, tabla 4). También, por lo que respecta a las rutas de migración, las trampas estructurales se ubican muy próximas o sobre el foco de generación, el cual se ha definido tomando en cuenta los tiempos de ingreso, de la base del Tithoniano, a la ventana de generación, el estilo de migración es vertical y lateral ascendente y

Fig. 20 Configuraciones Estructurales. Cimas del Jurásico Superior Kimmeridgiense



descendente, con base a las correlaciones del I.T.T. y las densidades de aceites analizados. Asimismo los hidrocarburos han migrado a través de fallas, fracturas y zonas permeables (Medrano, 1994).

Por otro lado, de acuerdo a este estudio se observó que tanto las *fracturas* como las *superficies estilolíticas* contienen impregnación de hidrocarburos; por lo que aunado a las diferentes configuraciones estructurales así como a las trampas mostradas (Fig. 20), y en general a los estilos estructurales existentes en el área marina, se confirma que las rutas de migración fueron las fallas existentes que conforman dichas trampas y las fracturas relacionadas a ellas, con una migración vertical principalmente, aunque no debe de descartarse la posibilidad de migraciones laterales locales.

#### VII.F.- SELECCION DE AREAS

La selección y jerarquización de **áreas de interés económico-petrolero** se muestra en la figura 21, donde se numeran las sub-áreas en orden de importancia. Dicha figura resultó de sobreponer, los planos de distribución de facies, planos de espesores netos porosos e isoporosidades (Figs.9,11,18 y 19).

Así, el **área prioritaria I** (1er. orden) es aquella donde se identificaron las facies 6 y/o 6-7 con las mejores porosidades y espesores. Esta área corresponde a la zona central, y se dividió en dos partes: área de los pozos Kax, Ki-101, Sinan-101A, Sinan-1A, Chem-1A y Mucuy-1; y el del pozo May-1, la cual puede continuar hasta el campo Luna en tierra.

El **área II** resultó de la misma manera, donde se identificaron las facies 6-7 con las mejores porosidades. Esta corresponde a la zonas aledañas al pozo Ayin-1 (zona nor-occidental) y a la zona centro-oriente en los pozos Kix y Mison-1A, Yum-1 y Yum-401, con prolongación, probablemente, hacia el NE.

El **área III**, es especulativa, donde posiblemente existan las facies 6, 6-7 u 8 con buena porosidad, similares a la identificadas en las áreas **I y II**. Corresponden a las prolongaciones de éstas áreas y sus alrededores, hacia la parte occidental, en la zona de los pozos Kab-1, Kuzam y Yaabkan.



El **área IV** es de poco interés económico-petrolero; corresponde prácticamente a ambientes de plataforma interna-litoral y a depresiones intraplatafórmicas.

Resumiendo, se debe dar mayor importancia a todas las localizaciones propuestas que se encuentren dentro de las áreas prioritarias **I y II**, y aquellas que se encuentren en el **área III** deben de llevar como objetivo las rocas del Jurásico Superior Kimmeridgiano, pudiéndose encontrar las facies almacenadoras a diferentes niveles estratigráficos.

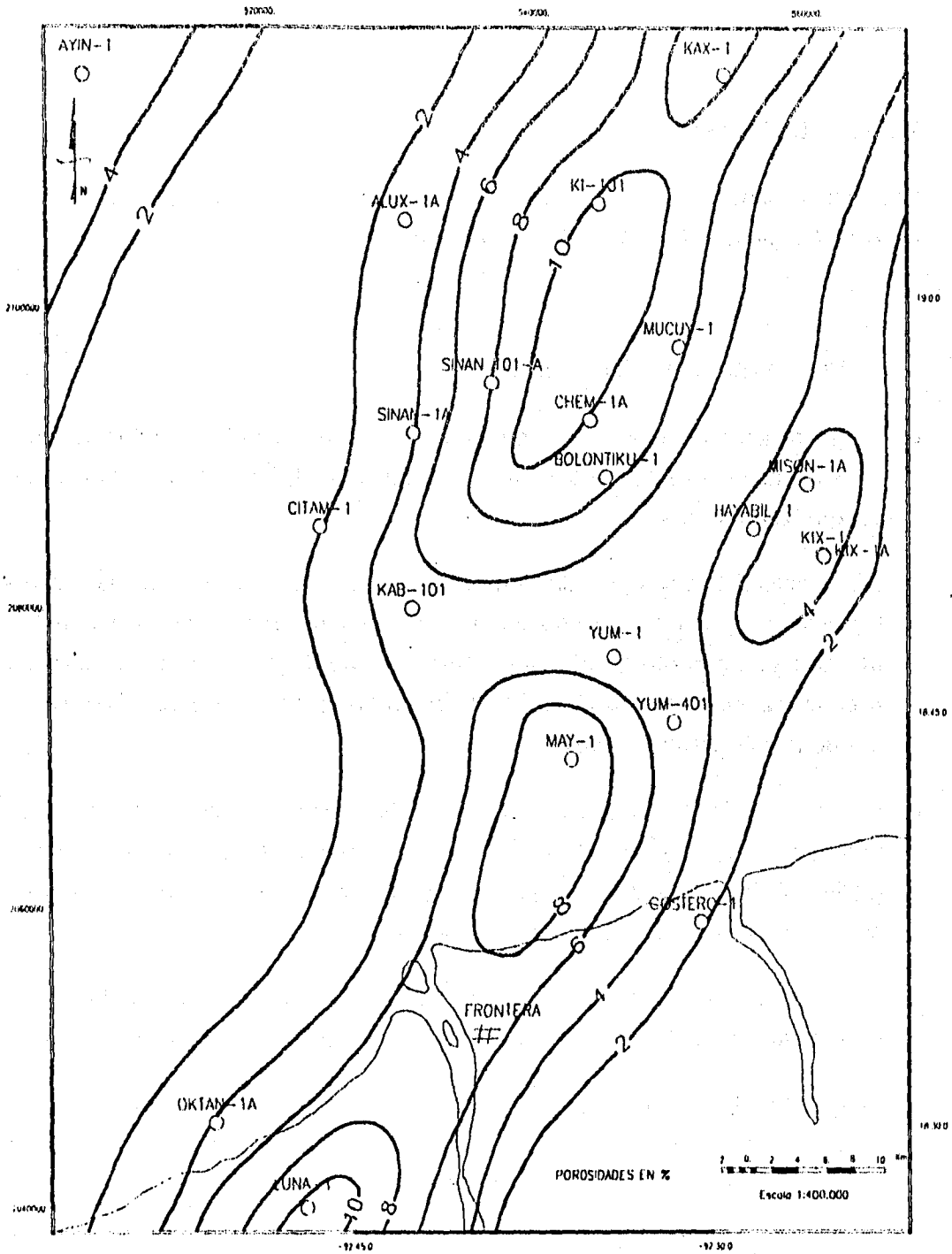


Fig.19 ISOPOROSIDADES PROMEDIO DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERDIGIANO

## VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VIII.A.- CONCLUSIONES

Las conclusiones a la que se llegaron en este estudio se dividieron en: *Sedimentológicas, Diagenéticas y Económicas.*

#### VIII.A.1.-SEDIMENTOLOGICAS

- Se identificaron **cuatro unidades estratigráficas** correlacionables a las propuestas anteriormente para el área marina, para las rocas de edad **Jurásico Tardío Kimmeridgiano**.
- Se estableció la existencia de **ocho facies sedimentarias**, las cuales definieron los siguientes ambientes: **supramarea (sabkha marino), plataforma interna a litoral clástico-carbonatada, plataforma interna (laguna), zonas de bancos de arenas carbonatadas, plataforma "externa" o rampa profunda carbonatada y cuencas intraplatafórmicas.**
- Las facies identificadas se encuentran distribuidas a diferentes niveles estratigráficos. El máximo desarrollo de los **bancos de arenas carbonatadas** (oolíticos) fue durante el **depósito de la unidad D**; sin embargo, existen prácticamente en todos los niveles estratigráficos.
- Se propone usar el término **"zona de bancos"** al área donde se desarrollaron dichos bancos, ya que es el término más apropiado de acuerdo a su distribución.
- En esta "zona de bancos" se distribuyen **pequeños y grandes bancos** los cuales presentan una progradación, en forma general de SE a NW, llegando a traslaparse uno con otro, e incluso desarrollarse unos arriba de otros.
- Las zonas de bancos se desarrollaron en zonas de **altos topográficos**, lo cual está evidenciado por facies muy someras (facies 8), debajo inmediato a dichos bancos.

- Se propone la existencia de **dos cuencas intraplatafórmicas** que tuvieron su máximo desarrollo a finales del Jurásico Tardío Kimmeridgiano, así como una **área somera (lagunar?)** en el área del pozo Oktan-1A.
- El ambiente de sabkha marino se reconoció en los pozos Ayin-1 y posiblemente y en menor proporción en el Yum-401.

#### VIII.A.2.-DIAGENETICAS

- Se identificaron **ocho procesos diagenéticos: bioturbación, micritización, cementación, disolución, presión-solución, dolomitización, recristalización y silicificación; tres eventos de fracturamiento y dos periodos de emplazamiento de hidrocarburos, uno de tipo ligero y otro residual.**
- Algunos de los procesos mencionados se presentaron en más de una ocasión dentro de la historia diagenética, sumando **19 eventos diagenéticos en total.**
- Se diferenciaron los procesos locales de los regionales.
- Se identificaron las etapas diagenéticas: **Deposicional, Eogenética y Mesogenética.**
- Las facies sedimentarias **más afectadas diagenéticamente** hablando son las facies **6, 6-7 y 8.**
- **La facies 8 somera**, asociada a los bancos y a **altos topográficos**, evidencian procesos diagenéticos como la disolución y en menor grado dolomitización, relacionados a la **percolación y captación de agua metéorica** en periodos de exposición subaérea.
- Los principales procesos que favorecieron la porosidad fueron la **disolución (porosidad móldica y en microcavidades) y la dolomitización (porosidad intercrystalina)**, ambos procesos se dieron en una *etapa Eogenética*, siendo la dolomitización el último proceso en dicha etapa.
- El proceso principal de **dolomitización** puede ser explicado a partir de un **modelo de mezcla de aguas metéoricas con marinas y/o un modelo de reflujo.**

- **El principal emplazamiento de hidrocarburos se dió en una etapa de subsuelo profundo (mesogenética), utilizando como posibles vías de migración las fallas, fracturas y zonas permeables existentes. Este emplazamiento es un evento regional.**

#### VIII.A.3.-ECONOMICAS.

- **Las facies 6, 6-7 y en menor proporción la 8, son las principales rocas almacenadoras; éstas han sido probadas en varios pozos exploratorios del área con resultados satisfactorios. Los espesores varían de 20 a 131 m con porosidades entre 3 y 10 %, observándose localmente valores hasta del 20%.**
- **Las facies almacenadoras se encuentran distribuidas en diferentes niveles estratigráficos, y su máximo desarrollo se encuentra en la *Unidad D***
- **Existe una estrecha relación entre las facies 6, 6-7 y 8, con los procesos diagenéticos, principalmente con la *disolución y dolomitización*, los cuales son los principales responsables del incremento en la porosidad y permeabilidad de las rocas.**
- **Las facies almacenadoras están distribuidas preferencialmente en cuatro áreas, como se muestran en la figura 21.**
- **Las facies 7 (lagunar) es potencialmente almacenadora, debido a que fué afectada por fracturamiento y localmente por disolución y dolomitización.**
- **Es posible encontrar facies almacenadoras al occidente de los pozos Oktan-1A y Ayin-1, así como en dirección hacia el campo Luna en tierra, ya que las facies identificadas en estos pozos están íntimamente relacionadas a los bancos oolíticos.**
- **Las rocas con posibilidades de ser *generadoras*, por su contenido orgánico, son las pertenecientes a las *facies 2* desarrolladas en depresiones intraplatafórmicas y en menor grado *la facies 9* asociada a sabkhas marinos.**
- **El tipo de trampa conocido hasta la fecha en el área, es de tipo estructural, sin embargo se propone la existencia de trampas estratigráficas las cuales quedarían conformadas por facies 6 y/o 6-7 rodeadas de facies 7 y/o de facies de plataforma clástico-carbonatada.**

- Existe una gran posibilidad de que existan **trampas combinadas: estratigráficas-estructurales y diagenéticas.**
- Las rocas con mejores características de **sello** son las pertenecientes a las **facies 9, 2 y 7.** Estos sellos, en algunas ocasiones, **están separando las facies almacenadoras,** por lo que para el **cálculo de espesores netos impregnados y por lo tanto para el de las reservas, se deben de tomar en consideración estas intercalaciones.**
- De acuerdo a los diferentes estudios geoquímicos realizados, se considera como rocas generadoras las del Jurásico Tardío Tithoniano y tomando en cuenta las configuraciones estructurales de las trampas, así como a las evidencias petrográficas, se infiere que **la migración fue principalmente a través de fallas y fracturas.**
- En la **figura 21 se muestran las áreas con mayor interés petrolero y su jerarquización.**

#### **VIII.B.- RECOMENDACIONES.**

- \* Dar prioridad a las localizaciones propuestas con que se cuentan o en su caso generar nuevas localizaciones, que estén dentro de las áreas con mayor interés económico, de acuerdo a la figura 21.
- \* Relacionar los procesos diagenéticos con los eventos tectónicos regionales.
- \* Debido a que la porosidad, y por lo tanto la permeabilidad, está íntimamente ligada a los eventos diagenéticos, se recomienda realizar en la etapa del desarrollo de los campos, un estudio diagenético a detalle, utilizando otras metodologías, como es la microscopía electrónica, dando énfasis en la investigación de la distribución de microporosidad, identificación de arcillas intersticiales y el reconocimiento de minerales que podrían reaccionar con los fluidos de perforación.
- \* Debido a la carencia de datos petrofísicos, se recomienda el muestreo continuo del yacimiento, en pozos delimitadores y/o de desarrollo, para estar en

posibilidades de dividir al yacimiento en zonas con mejores características petrofísicas y obtener la relación que guardan con las diferentes facies sedimentarias determinadas y así obtener un modelo litológico, calibrando los registros geofísicos de Rayos Gamma, Resistividad, Densidad Neutrón y Sónico con los resultados de laboratorio. Esto es fundamental para la etapa de caracterización y el óptimo desarrollo de los campos.

- \* Realizar trabajos de interpretación sísmica tridimensional a detalle, para apoyar la distribución de facies, con auxilio de atributos sísmicos; tratando de definir posibles trampas estratigráficas y/o combinadas, en las áreas prioritarias.
- \* Estudiar desde el punto de vista geoquímico, las rocas de las depresiones intraplatafórmicas propuestas, para determinar principalmente el tipo, cantidad y el estado de madurez de la materia orgánica, para evaluar su potencial generador.

## BIBLIOGRAFIA

ANGELES, F. 1986. Estudio Estratigráfico Sedimentológico del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche, Prospecto Jurásico. Petróleos Mexicanos. Inédito. 48p

----- 1988, Estudio Estratigráfico Sedimentológico del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. Asociación de Ingenieros Petroleros de México. A.C. Vol. XXVIII, No. 1. p.p. 45 - 55.

ANGELES, F. y GARCIA J, 1989. Prospecto Ceeh-Chuc. Petróleos Mexicanos. Inédito.

BATHURST, R. G. C. 1971, Carbonate Sediments and their Diagenesis. Development in Sedimentology 12. Elsevier Scientific Publishing Company. 2o. Edition.

BATHURST, R. G. C. 1975, Carbonate Sediments and their Diagenesis. New York, Elsevier, 658 p.

BASAÑEZ M. y BRITO M. 1988, Estudio Diagenético del Jurásico Superior en pozos de la Zona Marina de Campeche. Proyecto C-3043. Instituto Mexicano del Petróleo. 59 p.

BECHER W.J. y More H. C. 1973, The Walker Creak Field. A. Smackover Diagenetic Trap.

BERTRAND, C. C. 1981, Estudio Geoquímico de aceites de la Sonda de Campeche. Proyecto C-1126. Inédito. Instituto Mexicano del Petróleo.

BULLARD et al., 1965, Fit of Continents around the Atlantic, in A Symposium on Continental Drift P.M.S. Blackett, E.C. Bullard, and K.S. Runcord (Eds.), Rog.Soc. (London) Trans. Phil.Ser.A,258,47-75.

CAL Y MAYOR, C. J. 1988, Prospecto Secciones Regionales I. Petróleos Mexicanos. Inédito. 52 p.

CHOQUETTE W.P.y JAMES N.P., 1984. Diagénesis #12. Limestones 3.-The deep burial environment. Geoscience Canada, Vol. 14, #1, pag.3-35.



CHOQUETTE, P. W. y PRAY, C. L. 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates; A.A.P.G. Bull. V. 52. No. 4, p.p. 207-250.

DUNHOYER DE S. 1969, The Birth and Development of the Concept of Diagenesis. Earth Sci. Rev. 4. p.p. 153-201.

DUNHAM, J. R. 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture; A. A. P. G., Mem. 1. p.p. 108 - 121.

FRIEDMAN, G.M., 1964, Early Diagenesis and lithification in carbonate sediments: Jour. Sed. Petrology, v. 34, p.p. 777-813.

FOLK, R. L., 1959, Practical Petrographic Classification of Limestones; Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists Vol. 43, No., pp. 1-38

FOLK, R. L., 1965, Petrology and sedimentary rocks. Hemplill's Book. Co. Austin, Texas. 151 p.

FOLK, R. L., 1974, The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity. Journal of Sedimentary Petrology, v. 44, p.40-53.

FLORES, B. R., 1987, Análisis Estratigráfico Sedimentológico del Jurásico Superior de la Sonda de Campeche. Petróleos Mexicanos. Inédito. 39 p.

FLUGÜEL, 1982, Microfacies analysis of limestone: Springer-Verlag Heidelberg Pub., New York, 633p.

FRIEDMAN, G.M., 1959, Identification of carbonate minerals by staining methods. J. Sediment. Petrol. 29, p. 87-97.

GINSBURG, R.N. 1957, Environmental relationships of grain size and constituent particles in some south Florida carbonate sediments. Am. Ass. Petrol. Geologist Bull. 40 p.p. 2384-2427.

HOLGUIN, Q. N., 1987, Evaluación Geoquímica del SE de Mexico, Petróleos Mexicanos. Inédito.

HOLGUIN, Q. N. y ROMERO I. A., 1983, Estudio Geoquímico de pozos de exploración en la Sonda de Campeche - Plataforma de Yucatán. Proyecto C-1142. Inédito. Instituto Mexicano del Petróleo. 60 p.

JAMES N.P.y CHOQUETTE W.P., 1983. Diagénesis #6. Limestones-The sea floor diagenetic environment, *Geoscience Canada*, Vol. 10, # 4, p.p.162-179.

JAMES N.P.y CHOQUETTE W.P., 1984.Diagénesis #9. Limestones-The meteoric diagenetic environment. *Geoscience Canada*, Vol. 11, #14 p.p. 161-194.

KRAUSKOPF, B.K. 1959, The Geochemistry of silica in sedimentary environments.

KRUMBEIN, W., 1942. Criteria for subsurface recognition of unconformities. *Am. Ass. petrol. Geologist Bull.* 26, p.p. 36-62.

MANDUJANO, V. J., 1991. Estudio Estratigráfico y Sedimentológico e Implicaciones Económicas de las rocas del Cretácico en el área Luna-Sen, Edo. de Tabasco. Tesis de Maestría, DEPMI-UNAM.

MEDRANO, M. L., 1994, Integración Geoquímica de las rocas generadoras del Jurásico Superior Tithoniano. Prospecto Tunich-Oktan. Petróleos Mexicanos. Inédito.

MORROW, D.W. , 1982, Dolomitization Models an Ancient Dolostones. *Dolomit Part 2 Geoscience Canada*, V.9, No. 2, p.p. 85-107.

ORNELAS, S. M., AGUILERA N., FRANCO N., GRANADOS M. y BELLO M. 1991, Determinación de los límites Oxfordiano-Kimmerigiano y Kimmerigiano-Tithoniano en pozos de la Zona Marina de Campeche, Plataforma Continental de México. Inédito, Instituto Mexicano del Petróleo. 186 p.

PURDY, E.G., 1988, Carbonate Diagenesis an Environmental Survey *Geol. Romana* 7, p.p.183-228.

RAIDLBACK, L.B., 1993, Intergranular Pressure dissolution in a Plio-Pleistocene Grainstone Buried no more than 30 meters: Shoofly Oolite, Southwestern Idaho. *Carbonates Evaporites* v.8, no.2, p.p. 163-169, 199.

**READ J., 1985, Carbonate Platform Facies Models. The American Association of Petroleum Geologists. V. 69. No. 1 p.p. 1-21.**

**READING, H.G., 1986, Sedimentary Environments and Facies. Blackwell Scientifics Publications. Second Edition. 615 p.**

**RUIZ M., J. 1989, Estudio Sedimentológico y Diagenético del Ordovícico-Pérmico Temprano de la Región Centro-Oriental del Estado de Chihuahua. Tesis. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 143 p.**

**SANCHEZ S. V. 1992, El fracturamiento natural y su relación con los hidrocarburos, en la porción nororiental de la cuenca Chiapas-Tabasco. XXX Congreso Nacional A. I. P. M.**

**SCHOLLE, A. P. 1978, Carbonate Rock Constituents, Textures, Cements, and Porosities. The American Association of Petroleum Geologists. Memoir 27. 241 p.**

**VANDER VOO et al., 1976, Permian-Triassic continental configurations and the origin of the Gulf of Mexico, Geology, V.4, p.p. 177-180.**

**VERA O. M. y TORRES R. V. 1987, Diagénesis de Carbonatos. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería. UNAM. 1er. edición. 229 p.**

**WALKER G. R. 1979, Facies Models. Geological Association of Canada. 211 p.**

**WILSON, J. L. 1975, Carbonate facies in geologic history; Springer-Verlag Berlin - Herdelberg. 471 p.**

**Zenger, D.H., 1980, Concepts and Model on Dolomitization, SEPM Special Publication No.28, p.p. 1-10.**

**AUTORES VARIOS, Informes finales de pozos exploratorios y registros compuestos. Petróleos Mexicanos. Inéditos.**

**ANEXO A**

**TABLAS**

POZO	UNIDAD E	ESPESOR (m)	UNIDAD D	ESPESOR (m)	UNIDAD C	ESPESOR (m)	UNIDAD B	ESPESOR (m)	ESPESOR TOTAL (m)
ALUX-1A	5556-5623	67	5623-5774	151	5774-5950	176	5950-6350	400*	794
AYIN-1	6255-6276	21	6276-6423	147	6423-6555	132	6555-6700	145*	445
CITAM-1	6220-6260	40	6260-6359	99	6359-6500	141*			280
CHEM-1A	5603-5652	49	5652-5740	88	5740-5762	22*			159
KAB-101	5609-5665	56	5665-5791	126	5791-6000	209*			391
KAX-1	4320-4400	80	4400-4490	90	4490-4530	40*	4530-4607 SAL		210
KI-101	5256-5313	57	5313-5396	83*					140
KIX-1	5510-5529	19*							19
KIX-1A	5520-5593	73	5593-5780	187	5780-5923	143	5923-6000	77*	480
MAY-1	5520-5576	56	5576-5681	105	5681-5748	67*			228
MISON-1A	5895-5974	79	5974-6000	26*					105
MUCUY-1	5603-5654	51	5654-5667	13*					64
OKTAN-1A	6316-6385	69	6385-6465	80*					149
SINAN-1A	5683-5720	35	5720-5816	96*					133
SINAN-101A	5470-5521	51	5521-5603	82*					133
YUM-1**	4760-4835	75	4835-4958	123	4958-4992	34*			232
YUM-401	5186-5300	114	5300-5447	92	5447-5752	305	5752-5859	107*	673

TABLA No.1.- CIMAS Y ESPESORES POR UNIDADES ESTRATIGRAFICAS DEL J.S. KIMMERIDGIANO.

\*\* PROFUNDIDADES DESVIADAS

\* METROS PENETRADOS

FACIES	BIOTURBACION	MICRITIZACION	CEMENTACION-1 (SiO2)	CEMENTACION-2 (CaCO3)	DISOLUCION-1	CEMENTACION-3 (CaCO3)	PRESION-SOLUCION-1 (Compacción)	CEMENTACION-4 (CaCO3) (Bloque)	DISOLUCION-2	CEMENTACION-5 (CaCO3)	FRACTURAMIENTO-1	PRESION-SOLUCION-2	DOLOMITIZACION-1	PRESION-SOLUCION-3	FRACTURAMIENTO-2	PRESION-SOLUCION-4	HIDROCARBUROS-1	FRACTURAMIENTO-3	PRESION-SOLUCION-5	RECRISTALIZACION	DOLOMITIZACION-2	PRESION-SOLUCION-6	HIDROCARBUROS-2 (Residuales)	SILICIFICACION	
34		X											X							X					
2	X	X					X				X	X			X	X	X	X EVAP.				X			X
7	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
6		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6-7		X		X	X	X	X		X	X	X		X				X	X		X	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X			X	X	X	X			X	X	X		X			X	X	X			X
PLATAFORMA CLASTICA	X		X	X			X						X	X											
9					X		X				X	X					X			X					

EVAP = EVAPORITAS RELLENANDO FRACTURAS Y REEMPLAZANDO PARCIALMENTE A LA MATRIZ

TABLA No.2.- FACIES SEDIMENTARIAS Y SUS PROCESOS DIAGENETICOS

POZO	BIOTURBACION	MICRITIZACION	CEMENTACION-1 (SiO2)	CEMENTACION-2 (CaCO3) (Anillo y/o palizada)	DISOLUCION-1	CEMENTACION-3 (CaCO3) (Bloque)	PRESION-SOLUCION-1 (Compactación)	CEMENTACION-4 (CaCO3) (Bloque)	DISOLUCION-2	CEMENTACION-5 (CaCO3) (Bloque)	FRACTURAMIENTO-1	PRESION-SOLUCION-2	DOLOMITIZACION-1	PRESION-SOLUCION-3	FRACTURAMIENTO-2	PRESION-SOLUCION-4	HIDROCARBUROS-1	FRACTURAMIENTO-3	PRESION-SOLUCION-5	RECRISTALIZACION	DOLOMITIZACION-2	PRESION-SOLUCION-6	HIDROCARBUROS-2 (Residuales)	SILICIFICACION
AYIN-1							X		X								X							
CITAM-1	X	X					X				X	X			X	X	X	X			X			X
CHEM-1A	X		X	X			X		X	X	X	X	X	X			X			X	X			X
KI-101	X	X	X		X	X	X	X	X				X	X	X		X	X	X	X	X	X		X
KIX-1		X		X	X	X	X	X	X				X		X	X	X			X				X
MAY-1	X	X	X	X			X		X	X			X	X	X		X		X	X				
MUCUY-1		X			X	X	X						X				X	X		X	X	X		X
SINAN-1A		X		X			X		X	X			X				X			X		X	X	X
SINAN-101A		X		X	X	X	X	X	X				X		X	X	X			X				X
YUM-1		X					X	X	X				X		X	X	X	X		X	X	X	X	X
YUM-401		X					X	X			X		X		X	X	X	X		X				X
	SIKNEPOSICIONAL	POSOPOSTACIONAL	ETAPA EOGENETICA										ETAPA MESOGENETICA											

TABLA No.3.- PARAGENESIS GENERAL DEL AREA POR POZOS

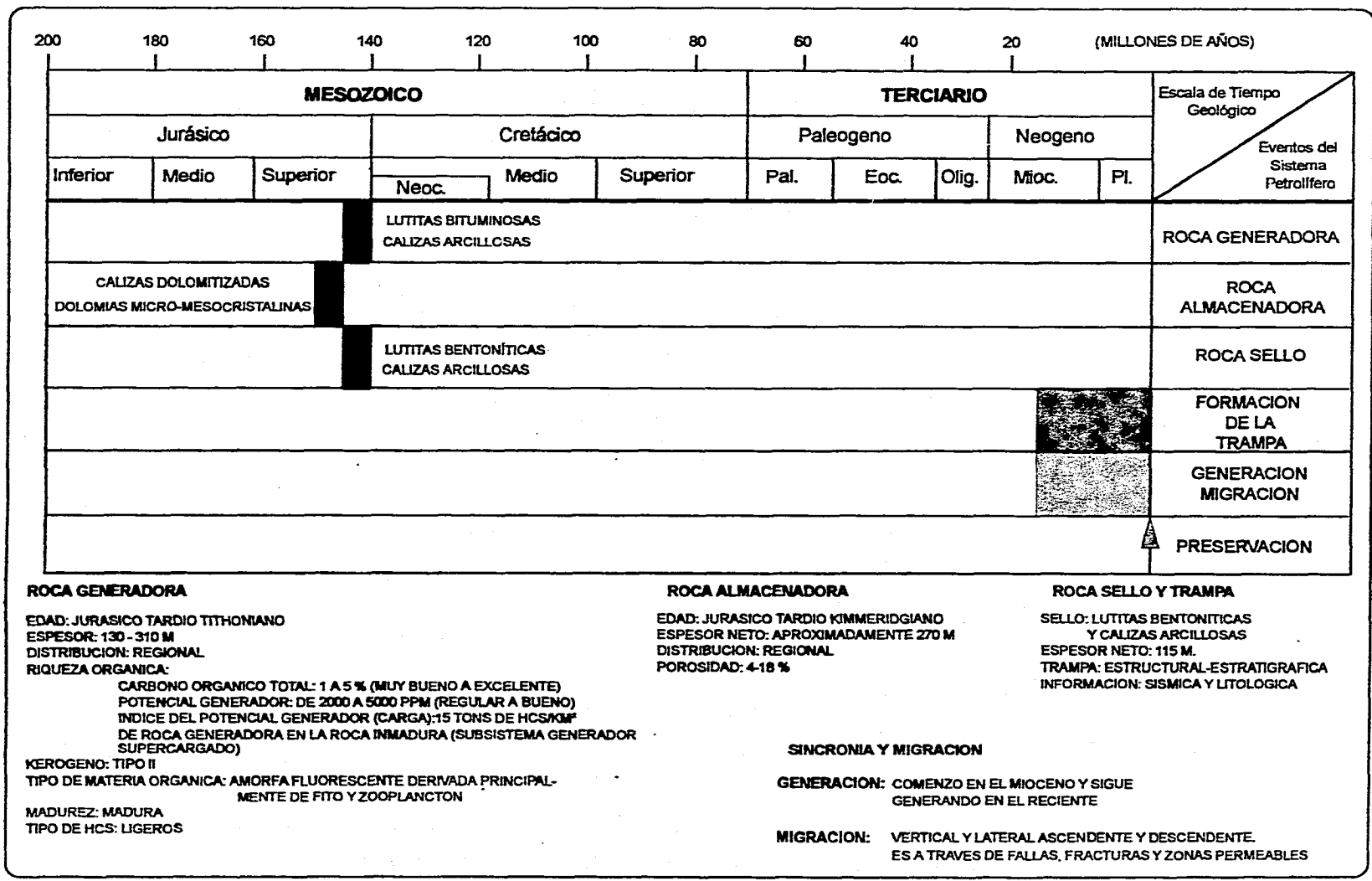


TABLA No.4.- SISTEMA PETROLIFERO TITHONIANO



FACIES 6				FACIES 6-7			
POZO	INTERVALO (M)	ESPEJOR	ESPEJOR NETO	INTERVALO (M)	ESPEJOR	ESPEJOR NETO	ESPEJOR NETO TOTAL (M)
AYIN-1	-	-	-	6255-6275	20	20	20
	-	-		-	-		
CHEM-1A	5603-5620	17	56	5620-5633	13	13	69
	5643-5652	9		-	-		
	5692-5711	19		-	-		
	5720-5731	11		-	-		
KAX-1	4320-4400	80	80	4458-4490	32	32	112
KI-101	5257-5280	23	104	5280-5290	-	10	114
	5313-5394	81		-	10		
KIX-1	5515-5523	8	8	-	-	-	8
KIX-1A	-	-	-	5520-5592	72	72	72
MAY-1	5576-5682	106	106	5682-5702	20	20	126
MISON-1A	-	-	-	5895-5954	59	59	59
MUCUY-1	5647-5654	7	24	5654-5667	13	13	37
	5620-5637	17		-	-		
SINAN-1A	5700-5720	20	30	5800-5816	16	16	46
	5790-5800	10		-	-		
SINAN-101A	5494-5521	27	107	5470-5494	24	24	131
	5523-5602	80		-	-		
YUM-1	4975-4992	17	17	4955-4975	20	20	37
YUM-401	5338-5358	20	20	5186-5193	7	57	77
	-	-		5430-5447	17		
	-	-		5665-5698	33		

TABLA No.5.- ESPEJORES NETOS POROSOS DE LAS FACIES 6 Y 6-7 DEL J.S. KIMMERIDGIANO.

POZO	FACIES	POROSIDAD VISUAL PETROGRAFICA	POROSIDAD POR REGISTROS (COMPUTADOS I.M.P.)	POROSIDAD POR YACIMIENTOS (NUCLEOS)	POROSIDAD PROMEDIO	POROSIDAD PROMEDIO TOTAL
AYIN-1	6 6-7	- 2-5	- 4-8	- 2-5	- 5	5
CHEM-1A	6 6-7	8-12 10-12	2-8 2-6	- -	10 8	9
KAX-1	6 6-7	8-12 10-12	2-8 2-6	- -	10 8	9
KIX-1	6	12-14	-	-	13	13
KIX-1A	6-7	2-5	?	-	4	4
KI-101	6 6-7	6-14 6-8	9 9	- -	10 9	10
MAY-1	6 6-7	8-10 3-5	*2-7 *2-4	- -	9 4	9
MUCUY-1	6 6-7	6-10 6-8	4-8 5-6	- -	8 7	8
MISON-1A	6-7	2-4	?	-	4	4
SINAN-1A	6 6-7	2-3 2-3	3-4 3-4	- -	3 3	3
SINAN-101A	6 6-7	3-12 3-4	*4-15 *14-20	12-19 -	9 9	9
YUM-1	6 6-7	6-8 2-4	4 4	- -	7 4	5
YUM-401	6 6-7	6 2-10	1-2 1-2	- -	6 5	5
LUNA-1	-	10	-	-	10	10**

TABLA No.6.- POROSIDADES PROMEDIO DE LAS FACIES ALMACENADORAS DEL J. S. KIMMERIDGIANO.

\* DATOS PROPORCIONADOS POR SCGP.  
\*\* DATOS PROPORCIONADOS POR LA REGION SUR

**ANEXO B**  
**PARAGENESIS GENERAL**

CITAM-1

		<b>FACIES 2</b>	<b>PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS</b>
		X	<i>BIOTURBACION</i>
		X	<i>MICRITIZACION</i>
		X	<i>COMPACTACION</i>
		X	<i>FRACTURAMIENTO</i>
		X	<i>PRESION SOLUCION (TECTONICO)</i>
		X	<i>FRACTURAMIENTO</i>
		X	<i>PRESION SOLUCION (TECTONICO)</i>
		X	<i>PRESENCIA DE HIDROCARBUROS</i>
		X	<i>FRACTURAMIENTO (SELLADO POR EVAPORITAS)</i>
		X	<i>DOLOMITIZACION (INCIPIENTE)</i>
		X	<i>SILICIFICACION</i>

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

CHEM-1A

FACIES 6	FACIES 7 (LAGUNAR)	FACIES 8	BANCOS DE ARENA	PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS
X				BIOTURBACION
X			X	CEMENTACION (SiO <sub>2</sub> )
X		X	X	CEMENTACION (CaCO <sub>3</sub> )
X	X	X		COMPACTACION
X		X		DISOLUCION
X	X	X		CEMENTACION (CaCO <sub>3</sub> )
X	X			FRACTURAMIENTO
X				PRESION-SOLUCION (TECTONICO)
X	X	X	X	DOLOMITIZACION
X		X	X	PRESION-SOLUCION (TECTONICO)
X		X		PRESENCIA DE HIDROCARBUROS
	X	X		RECRISTALIZACION
		X		DOLOMITIZACION (INCIPIENTE)
X		X		SILICIFICACION

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

KI-101

FACIES 6	FACIES 7	FACIES 8	PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS
X		X	BIOTURBACION
X		X	MICRITIZACION
X		X	CEMENTACION (SiO <sub>2</sub> )
X			DISOLUCION
X			CEMENTACION (CaCO <sub>3</sub> )
X		X	COMPACTACION
X		X	CEMENTACION (CALCITA EN BLOQUE)
X			DISOLUCION
X	X	X	DOLOMITIZACION
		X	PRESION-SOLUCION
	X	X	FRACTURAMIENTO
X	X	X	PRESENCIA DE HIDROCARBUROS
X	X		FRACTURAMIENTO
X			PRESION SOLUCION (TECTONICO)
X	X	X	RECRISTALIZACION
X		X	DOLOMITICACION (INCIPIENTE)
X			PRESION-SOLUCION (TECTONICO)
X		X	SILICIFICACION

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

KIX-1

FACIES 6	FACIES 7 (LAGUNAR)		PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS
	X		MICRITIZACION
X			CEMENTACION (CaCO3 EN ANILLO)
X			DISOLUCION
X	X		CEMENTACION (CaCO3 EN BLOQUE)
X	X		COMPACTACION
X			CEMENTACION (CaCO3 EN BLOQUE)
X	X		DISOLUCION
X	X		DOLOMITIZACION
X	X		FRACTURAMIENTO
X			PRESION SOLUCION (TECTONICO)
X	X		PRESENCIA DE HIDROCARBUROS
	X		RECRISTALIZACION
	X		SILICIFICACION

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

MAY-1

FACIES 6	FACIES 6-7	FACIES 7	BANCOS DE ARENA	PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS
			X	BIOTURBACION
	X	X		MICRITIZACION
		X	X	CEMENTACION (SiO <sub>2</sub> )
	X		X	CEMENTACION (CALCITA EN PALIZADA)
X		X	X	COMPACTACION
X	X			DISOLUCION
X	X			CEMENTACION (CaCO <sub>3</sub> )
X	X	X	X	DOLOMITIZACION
X	X	X	X	PRESION-SOLUCION (TECTONICO)
X	X		X	FRACTURAMIENTO
X				PRESENCIA DE HIDROCARBUROS
X		X		PRESION SOLUCION (TECTONICO)
		X		RECRISTALIZACION

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO



MUCUY-1

<i>FACIES 6</i>	<i>FACIES 6-7</i>	<i>FACIES 7 (LAGUNAR)</i>	<b>PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS</b>
	X	X	<i>MICRITIZACION</i>
X	X		<i>DISOLUCION</i>
X	X	X	<i>CEMENTACION (CaCO<sub>3</sub>)</i>
X	X	X	<i>COMPACTACION</i>
X	X	X	<i>DOLOMITIZACION</i>
X	X	X	<i>PRESENCIA DE HIDROCARBUROS</i>
		X	<i>FRACTURAMIENTO</i>
	X	X	<i>RECRISTALIZACION</i>
X	X	X	<i>DOLOMITIZACION (INCIPIENTE)</i>
X			<i>PRESION-SOLUCION (TECTONICO)</i>
X	X	X	<i>SILICIFICACION</i>

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

SINAN-1A

<i>FACIES 6</i>	<i>FACIES 6-7</i>	<i>FACIES 7</i>	<b>PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS</b>
X	X	X	<i>MICRITIZACION</i>
X		X	<i>CEMENTACION (PALIZADA)</i>
X	X		<i>COMPACTACION</i>
		X	<i>DISOLUCION</i>
X			<i>CEMENTACION (CaCO3)</i>
X	X	X	<i>DOLOMITIZACION</i>
	X		<i>PRESENCIA DE HIDROCARBUROS</i>
X	X	X	<i>RECRISTALIZACION</i>
X	X	X	<i>PRESION-SOLUCION (TECTONICO)</i>
	X	X	<i>PRESENCIA DE HIDROCARBUROS (RESIDUAL)</i>
X		X	<i>SILICIFICACION</i>

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

SINAN-101A

FACIES 6	FACIES 6-7		PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS
X	X		MICRITIZACION
X			CEMENTACION (CaCO3 EN ANILLO)
X			DISOLUCION
X	X		CEMENTACION (CaCO3)
X	X		COMPACTACION
X			CEMENTACION (CaCO3 EN BLOQUE)
X	X		DISOLUCION
X			DOLOMITIZACION
X	X		FRACTURAMIENTO
X			PRESION-SOLUCION (TECTONICO)
X	X		PRESENCIA DE HIDROCARBUROS
X			RECRISTALIZACION
X			SILICIFICACION

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

YUM-1

<b>FACIES 6</b>	<b>FACIES 7</b>	<b>FACIES 2</b>	<b>FACIES 3-4</b>	<b>PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS</b>
	X	X	X	MICRITIZACION
X	X			COMPACTACION
X				CEMENTACION (CaCO3 EN BLOQUE)
X				DISOLUCION
X	X	X	X	DOLOMITIZACION
	X	X		FRACTURAMIENTO
X	X			PRESION-SOLUCION (TECTONICO)
X				PRESENCIA DE HIDROCARBUROS
	X		X	FRACTURAMIENTO
	X	X		RECRISTALIZACION
X	X			DOLOMITIZACION (INCIPIENTE)
X	X			PRESION-SOLUCION (TECTONICO)
X				PRESENCIA DE HIDROCARBUROS (RESIDUAL)
X	X			SILICIFICACION

PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

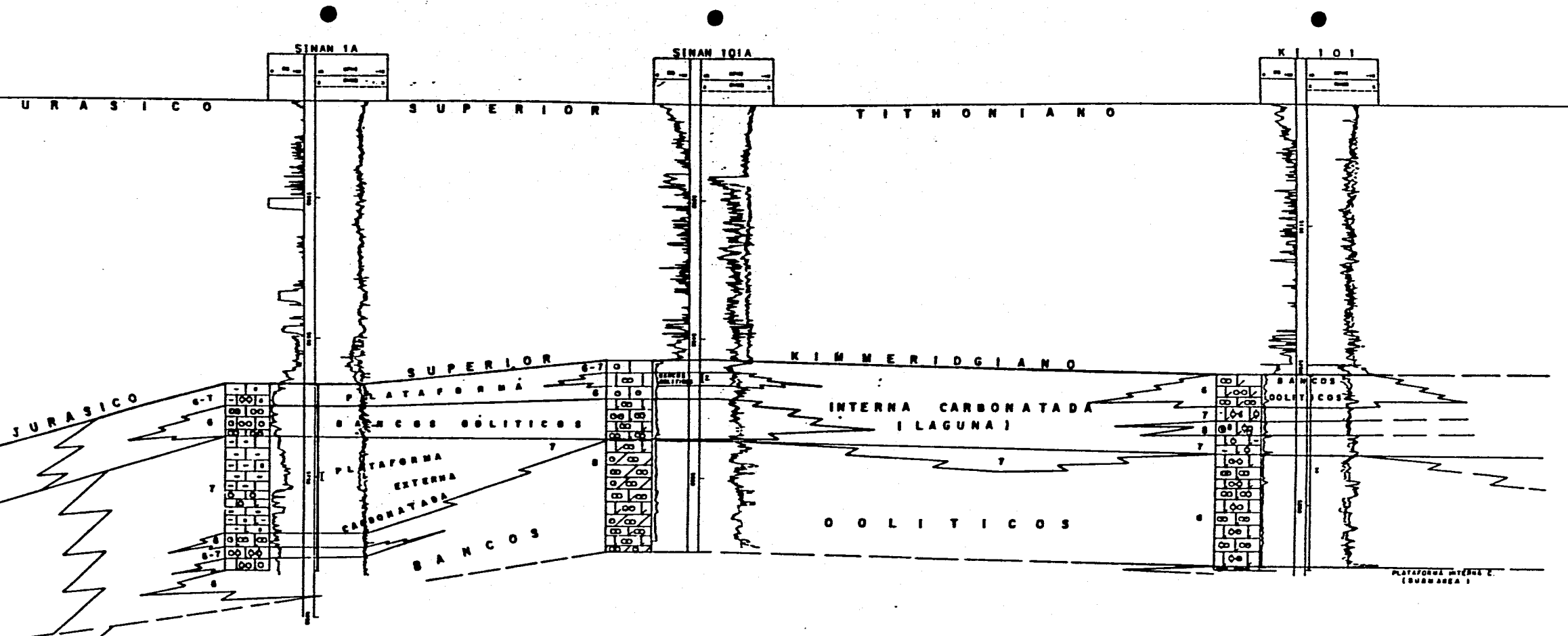
YUM-401

<i>FACIES 9</i>	<i>FACIES 6</i>	<i>FACIES 6-7</i>	<i>FACIES 7</i>	<i>FACIES 2</i>	<i>FACIES 3-4</i>	PROCESOS DIAGENETICOS Y EVENTOS IDENTIFICADOS
						<i>MICRITIZACION</i>
						<i>COMPACTACION</i>
						<i>CEMENTACION (ANILLO-CALCITA)</i>
						<i>DISOLUCION</i>
						<i>DOLOMITIZACION</i>
						<i>FRACTURAMIENTO</i>
						<i>PRESION-SOLUCION (TECTONICO)</i>
						<i>PRESENCIA DE HIDROCARBUROS</i>
						<i>FRACTURAMIENTO</i>
			<i>X</i>			<i>RECRISTALIZACION</i>
						<i>DOLOMITICACION (INCIPIENTE)</i>
						<i>PRESION SOLUCION (TECTONICO)</i>
		<i>X</i>				<i>PRESENCIA DE HIDROCARBUROS (RESIDUAL)</i>
						<i>SILICIFICACION</i>

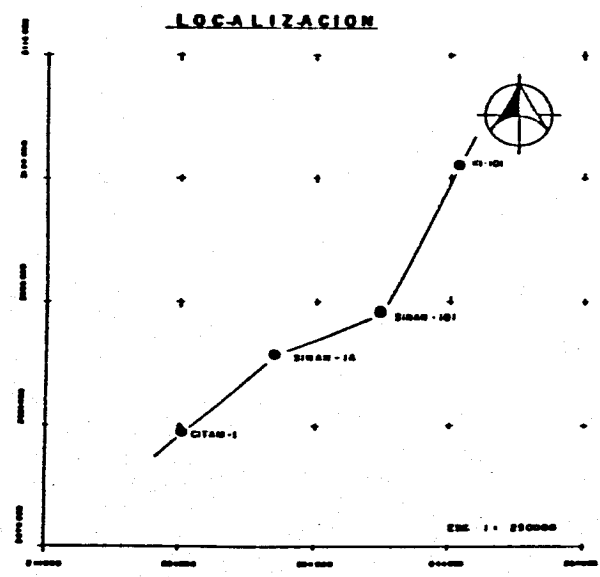
PARAGENESIS GENERAL DE LAS FACIES IDENTIFICADAS DEL  
JURASICO SUPERIOR KIMMERIDGIANO

**ANEXO C**  
**SECCIONES ESTRATIGRAFICAS**



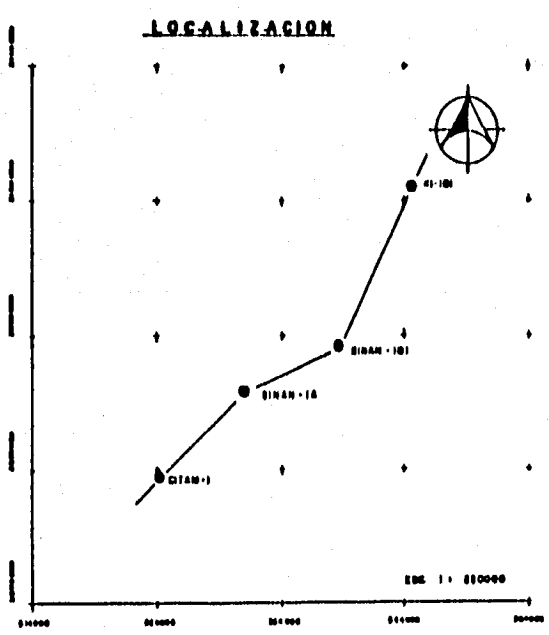
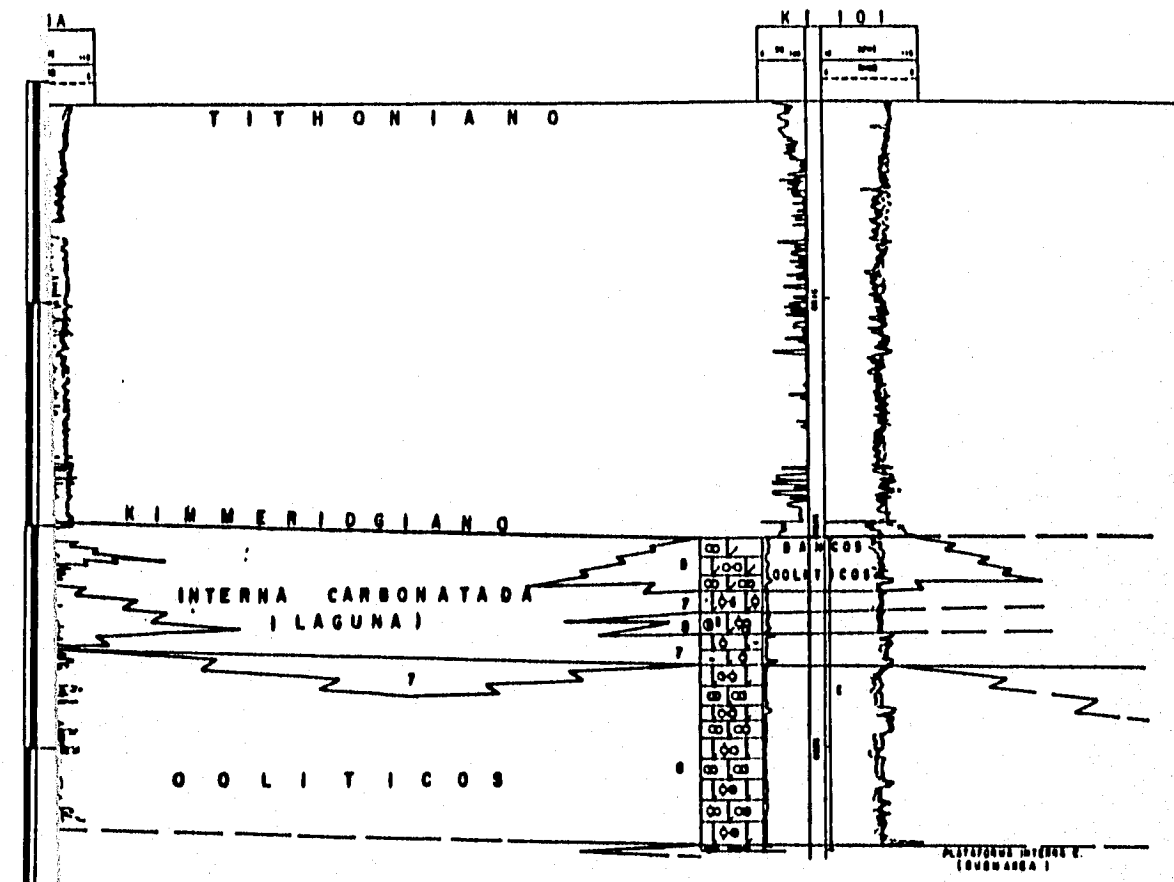


- SIMBOLOGIA**
- GRAINSTONE DE OOLITAS
  - PACKSTONE DE PELLETS
  - MUDSTONE BENTONITICO
  - MUDSTONE DOLOMITICO
  - LUTITAS
  - OOLITAS
  - PELLETS
  - OOIDES
  - ONCOLITOS
  - BIOCLASTOS
  - INCLUSIONES (ANHIDRITA)
  - INTRACLASTOS
  - GRAPESTONE
  - PRUEBA DE PRODUCCION - I
  - FACIES

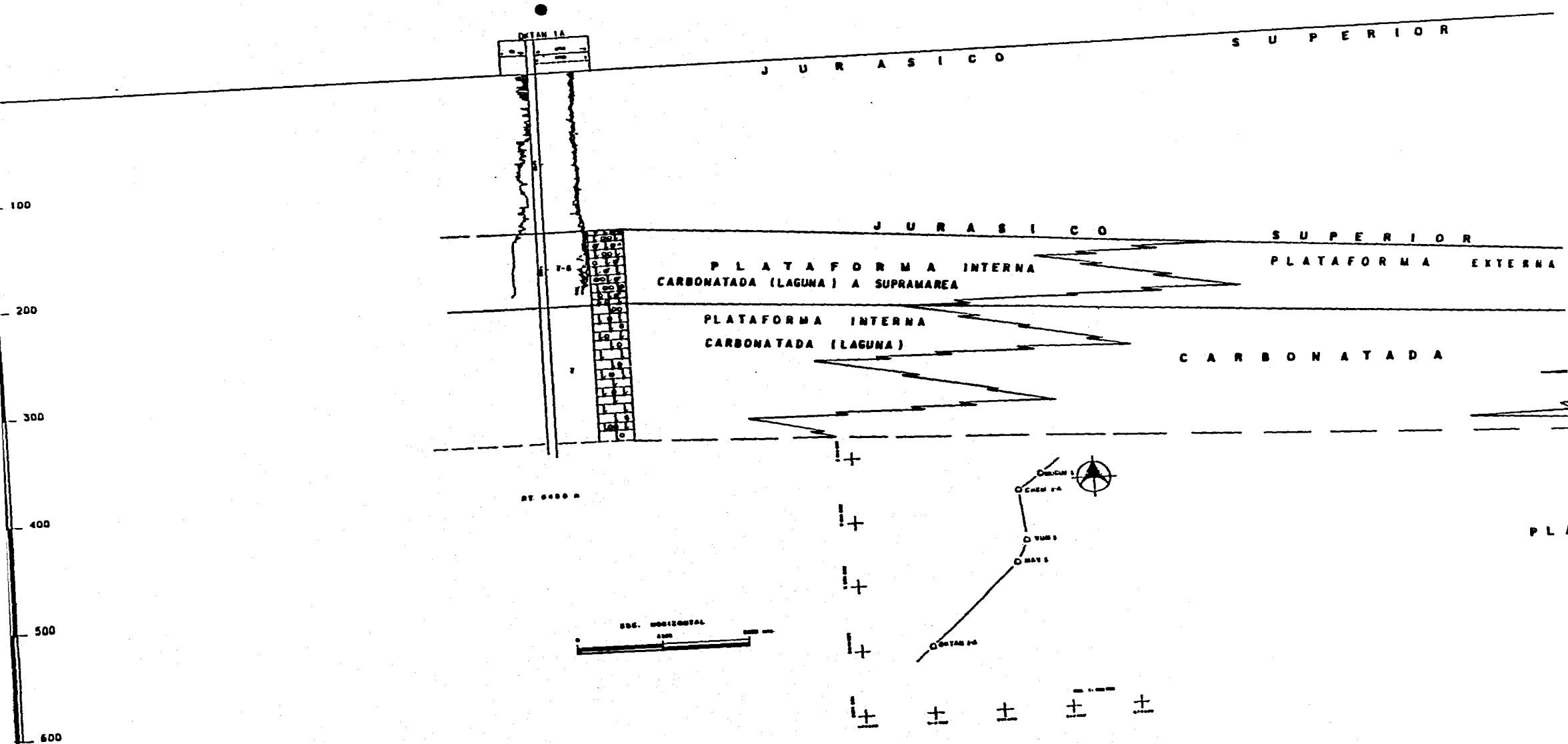


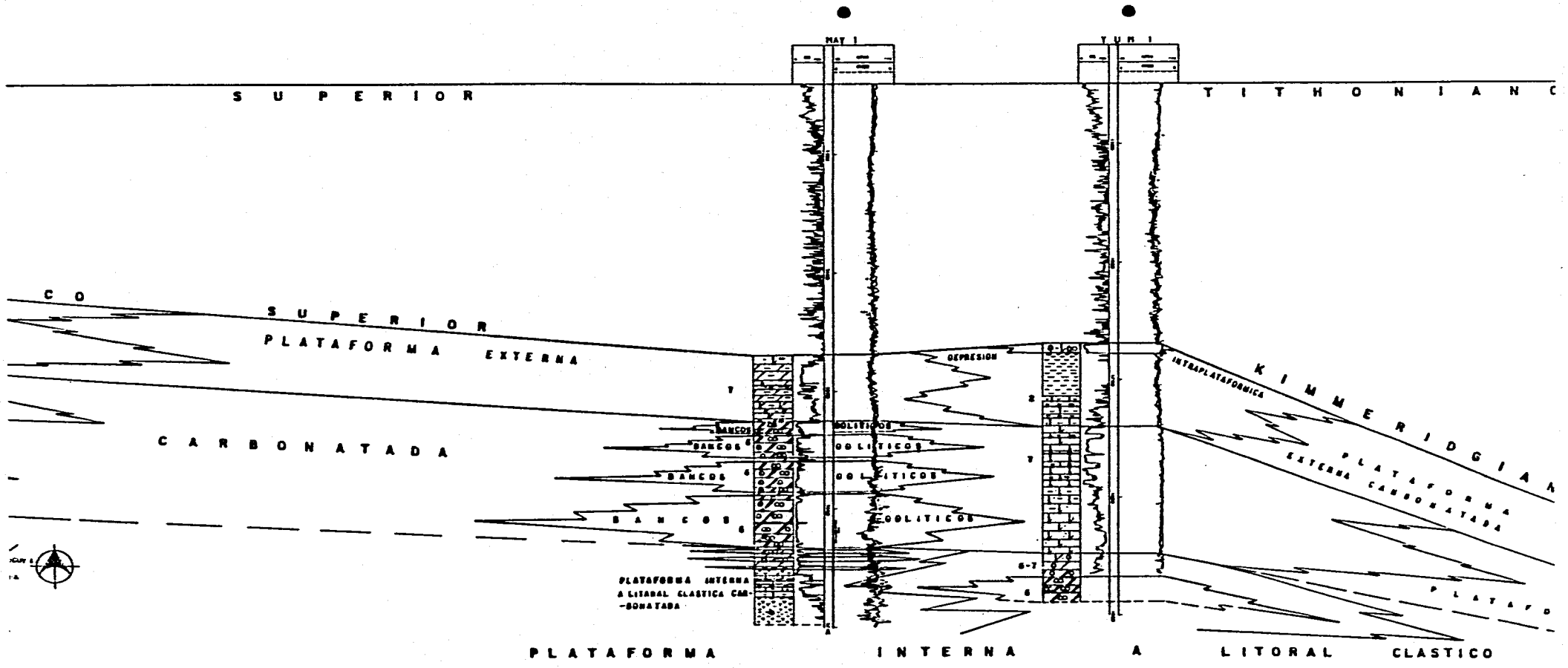
SECCION I-I'





SECCION I-I'

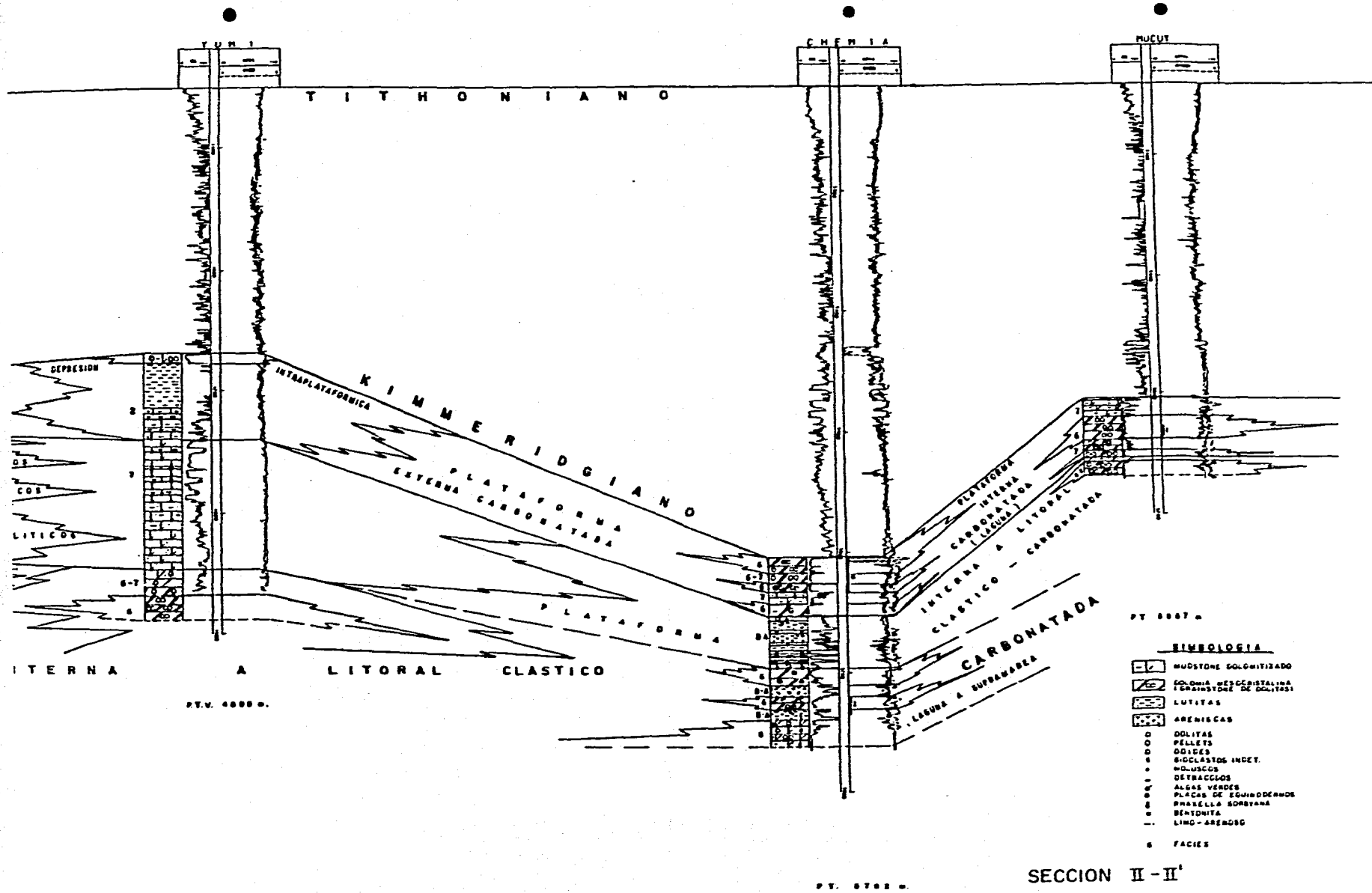




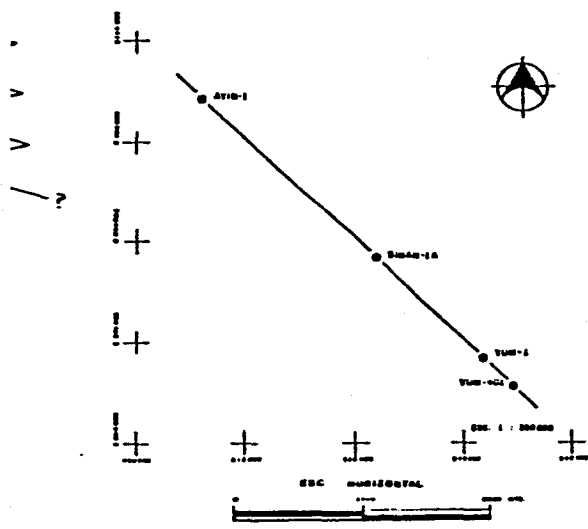
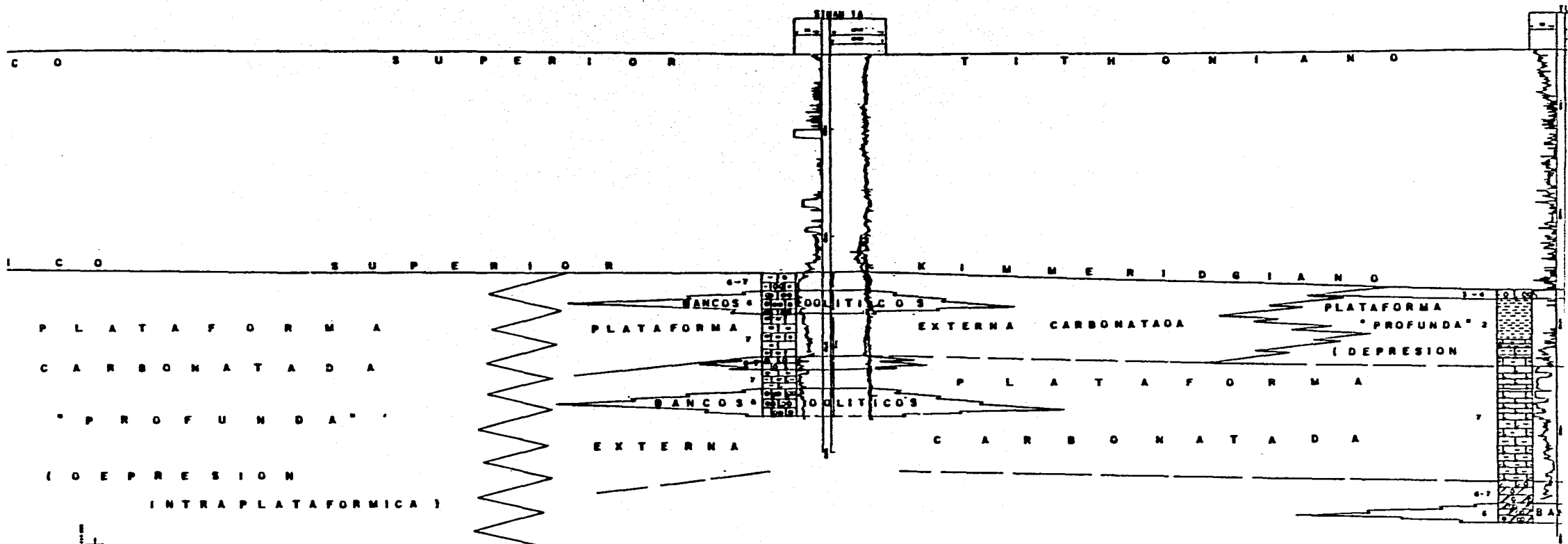
P.T.V. 4000 m.

P.T. 2740 m.

± ±







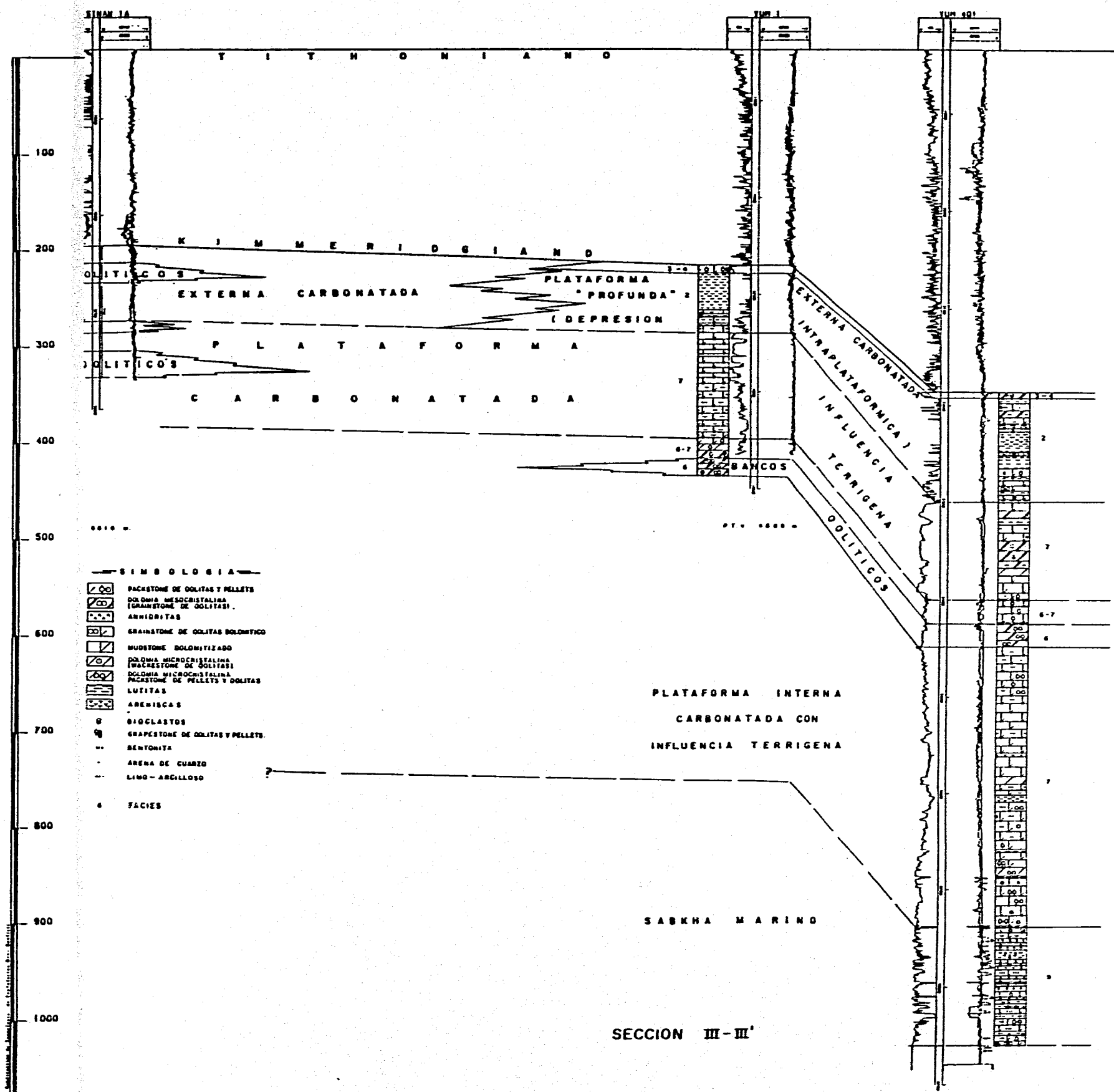
AT. 0018 D.

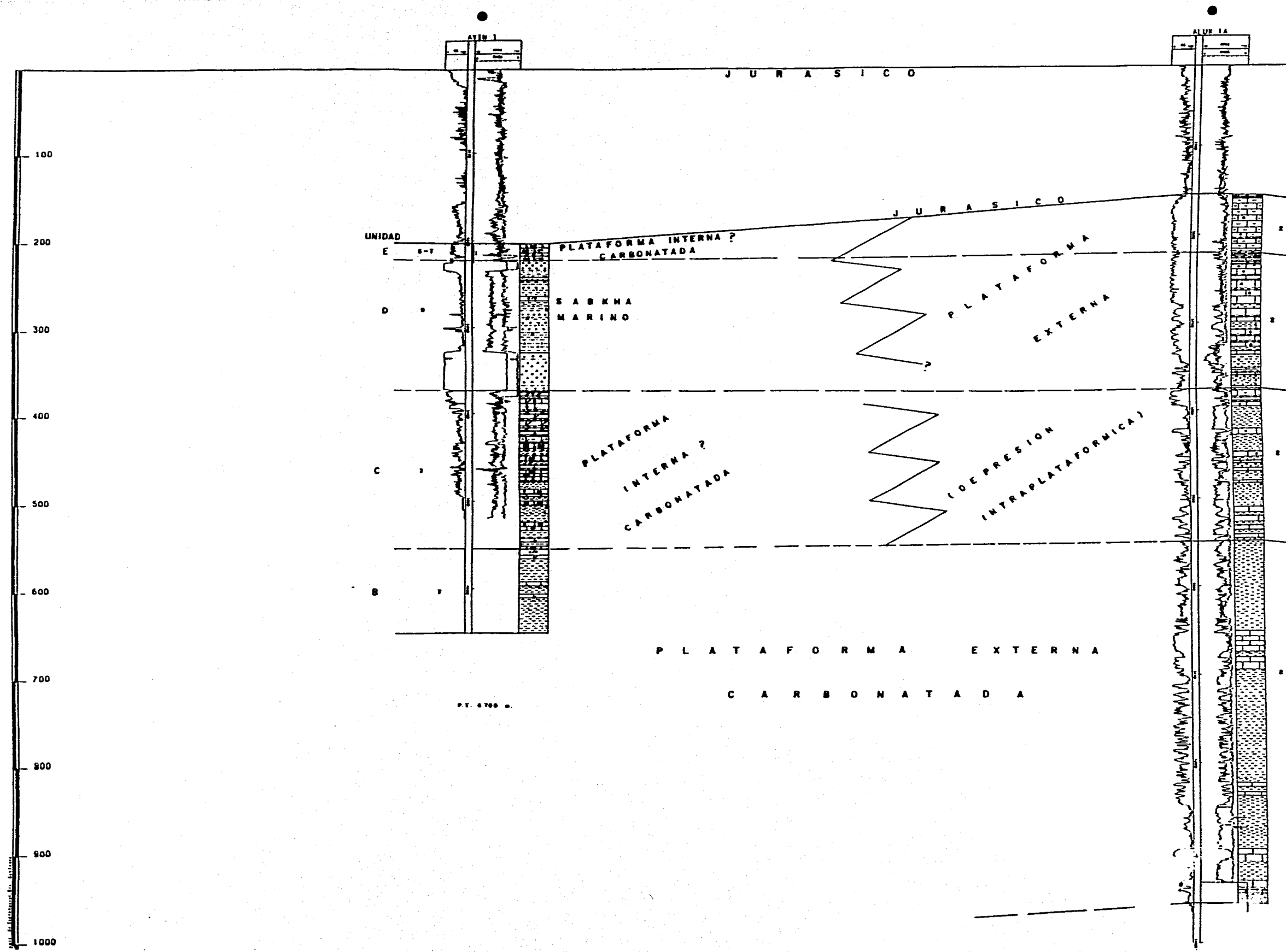
- SIMBOLOGIA**
- DOLOMITA DE OOLITAS Y PELLETS
  - DOLOMITA MICROCRISTALINA (GRANITONE DE OOLITAS)
  - ANHIDRITAS
  - GRANITONE DE OOLITAS DOLOMITICO
  - MUDSTONE DOLOMITIZADO
  - DOLOMITA MICROCRISTALINA (GRANITONE DE OOLITAS)
  - DOLOMITA MICROCRISTALINA (PELLETONE DE PELLETS Y OOLITAS)
  - LUTITAS
  - ARENISCAS
  - BIOCLASTOS
  - GRANITONE DE OOLITAS Y PELLETS
  - BENTONITA
  - ARENA DE CUARZO
  - LIMO-ARCILLOSO
  - FACIES

PLATAFORMA  
CARBONAT  
INFLUENCIA

SABKHA M

SECCION III-III





JURASICO

JURASICO

UNIDAD

E

D

C

B

PLATAFORMA INTERNA?  
CARBONATADA

SABKHA  
MARINO

PLATAFORMA  
INTERNA?  
CARBONATADA

PLATAFORMA  
EXTERNA

(DEPRESION  
INTRAPLATAFORMICA)

PLATAFORMA EXTERNA

CARBONATADA

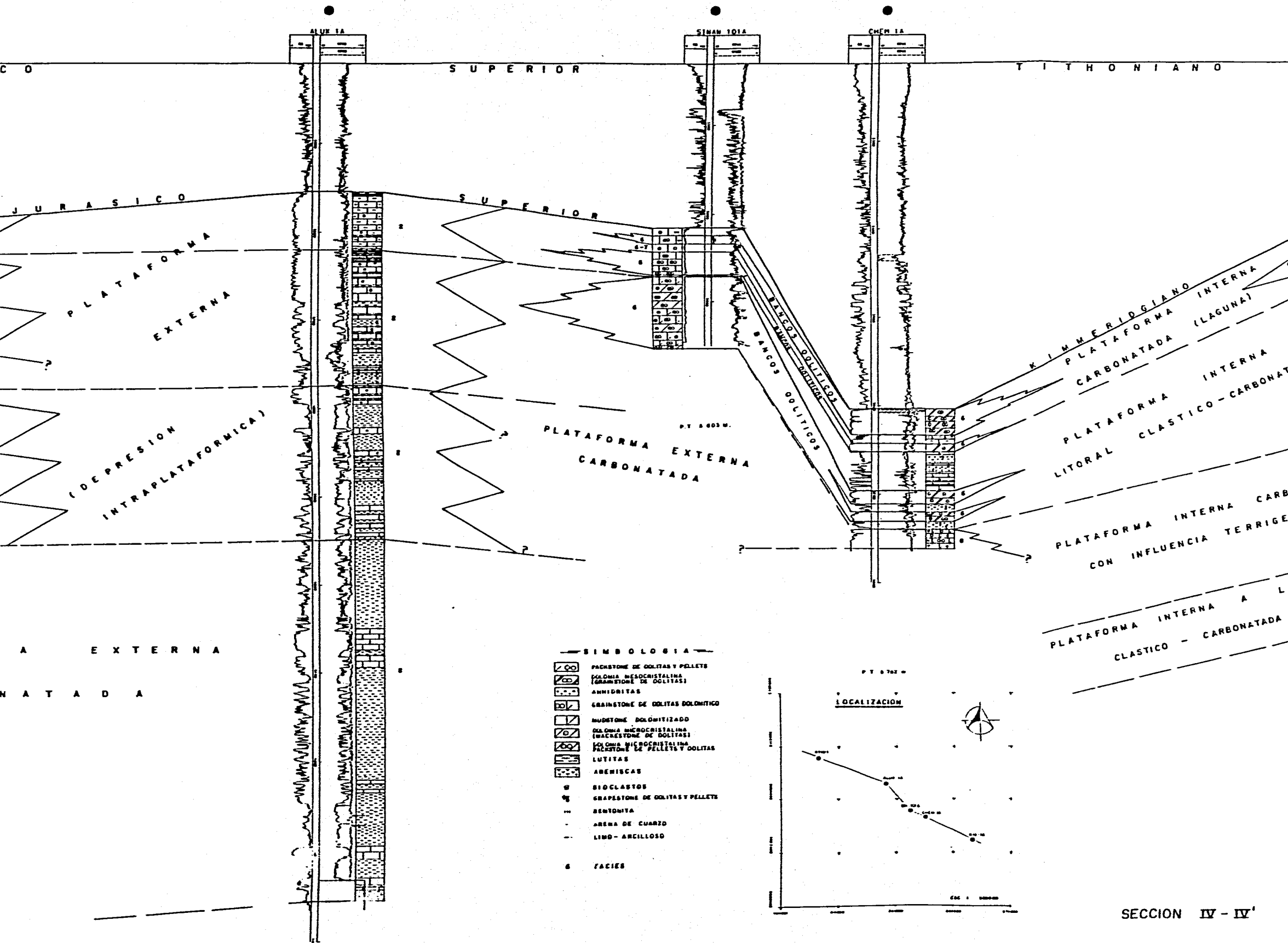
PT. 4700 m.

ATIM I

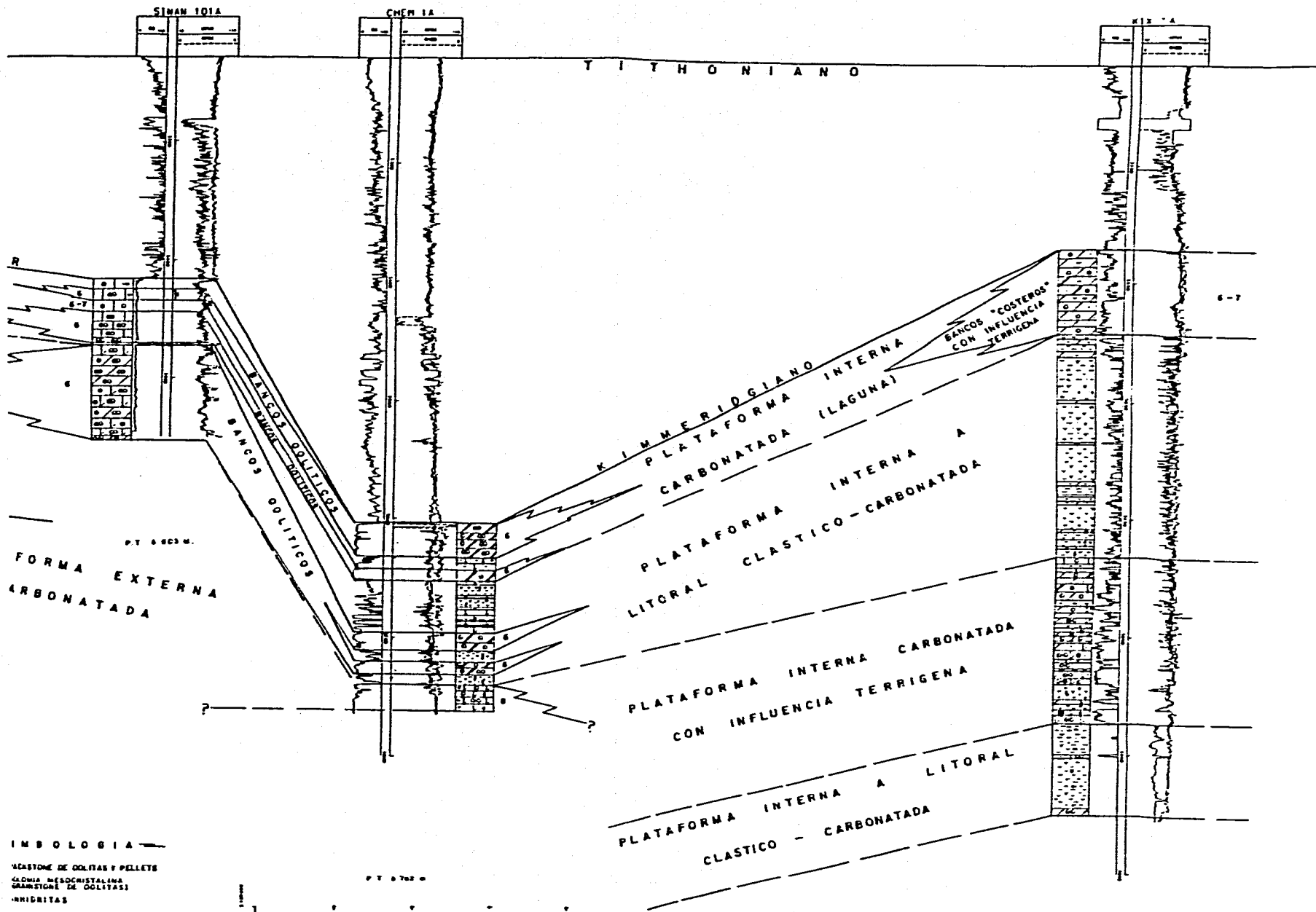
ALUK IA

100  
200  
300  
400  
500  
600  
700  
800  
900  
1000



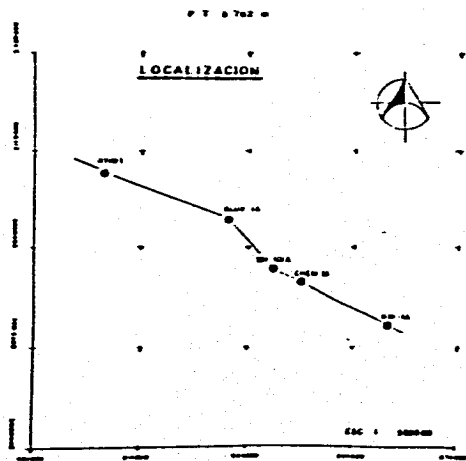


SECCION IV - IV'

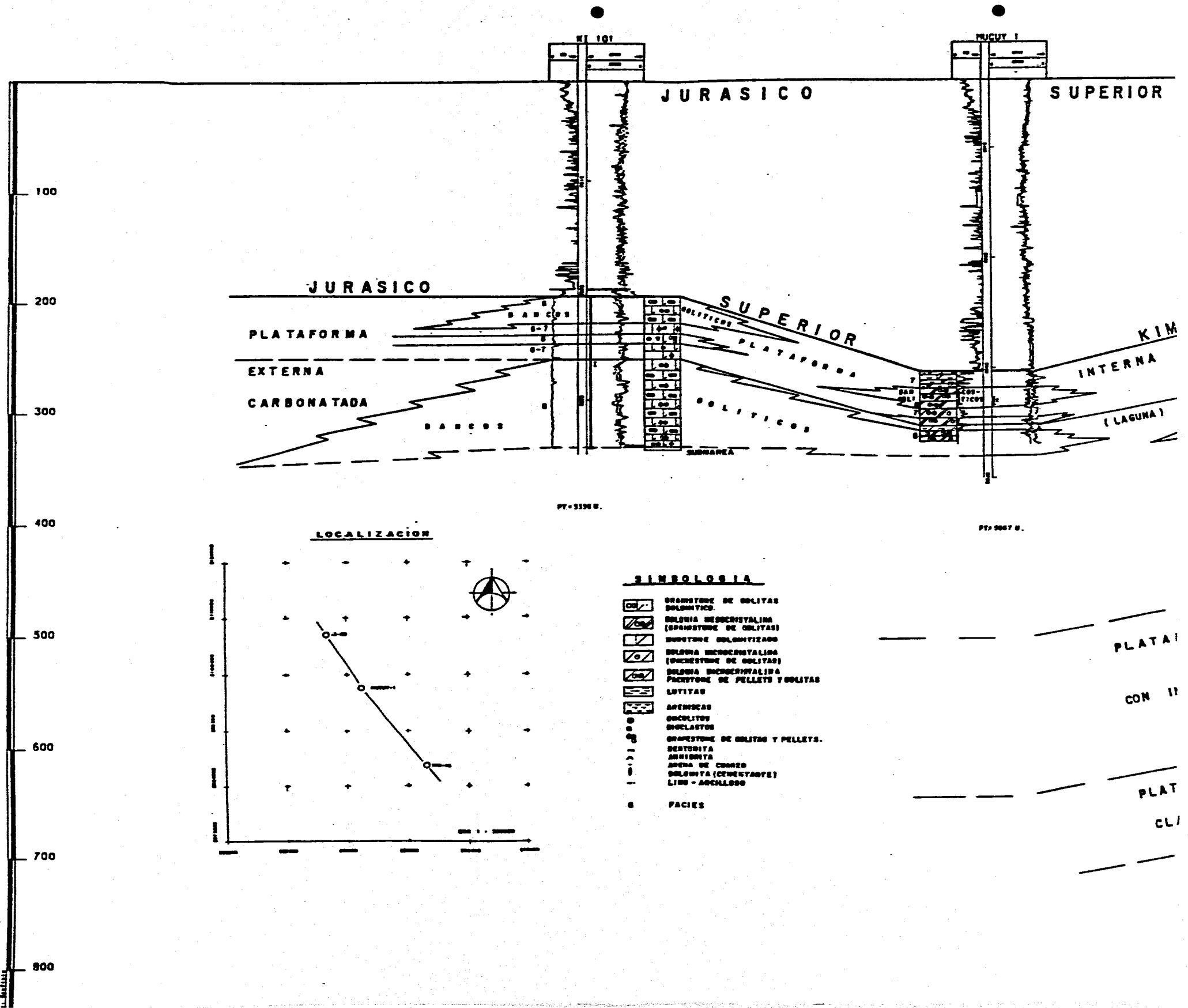


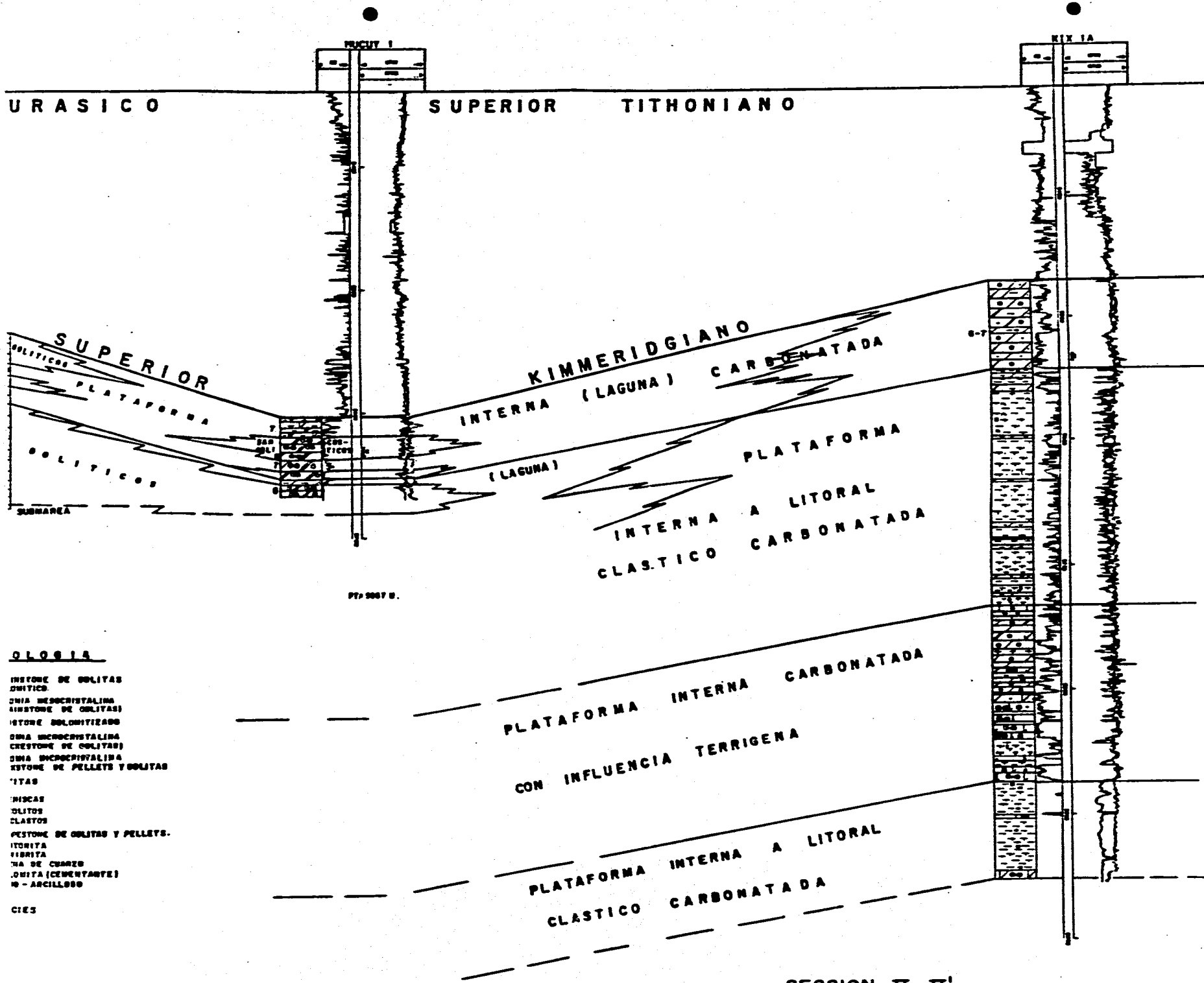
**LINGÜAJE**

- MARGON DE OOLITAS Y PELLETAS
- MARGON MICROCRISTALINA (MARGON DE OOLITAS)
- MARGON
- MARGON DE OOLITAS DOLOMITICO
- MARGON DOLOMITIZADO
- MARGON MICROCRISTALINA (MARGON DE OOLITAS)
- MARGON MICROCRISTALINA (MARGON DE PELLETAS Y OOLITAS)
- MARGON
- MARGON
- MARGON DE OOLITAS Y PELLETAS
- MARGON
- MARGON DE CUARZO
- MARGON ARCILLOSO



SECCION IV - IV'





**LEGENDA**

- ESTRATO DE OOLITAS OOLITICAS
  - OSIA MICROCRISTALINA (ESTRATO DE OOLITAS)
  - ESTRATO OOLITIZADO
  - OSIA MICROCRISTALINA (ESTRATO DE OOLITAS)
  - OSIA MICROCRISTALINA (ESTRATO DE PELLETS Y OOLITAS)
  - ITAS
  - INSCAS
  - OLITOS
  - CLASTOS
  - ESTRATO DE OOLITAS Y PELLETS.
  - ITONITA
  - IBRITA
  - IA DE CUARZO
  - OMITA (CEMENTANTE)
  - ARCILLOSO
- CIES

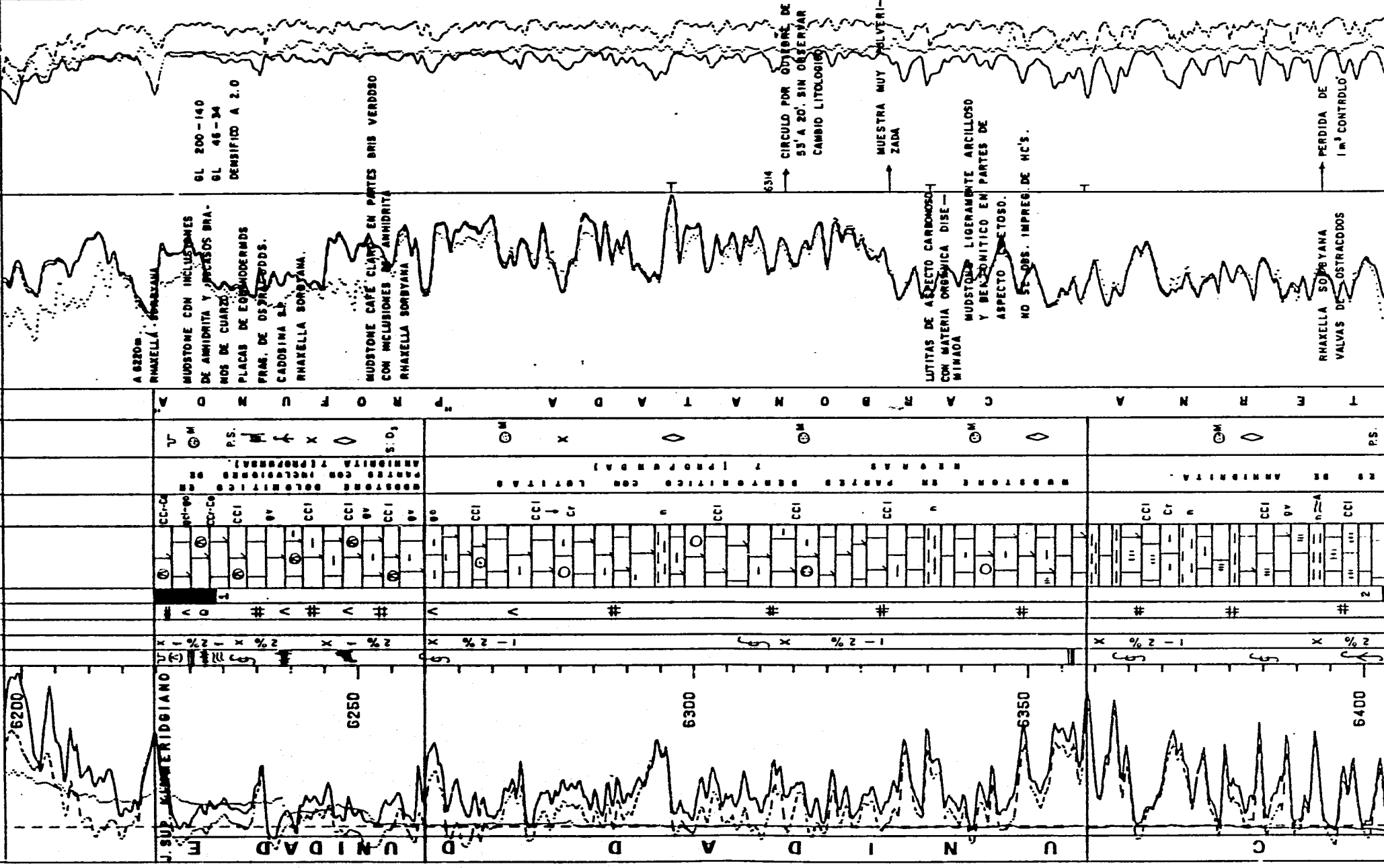
SECCION V-V'

P.T. 1:20000

**ANEXO D**  
**REGISTROS COMPUESTOS**

C I T A M 1

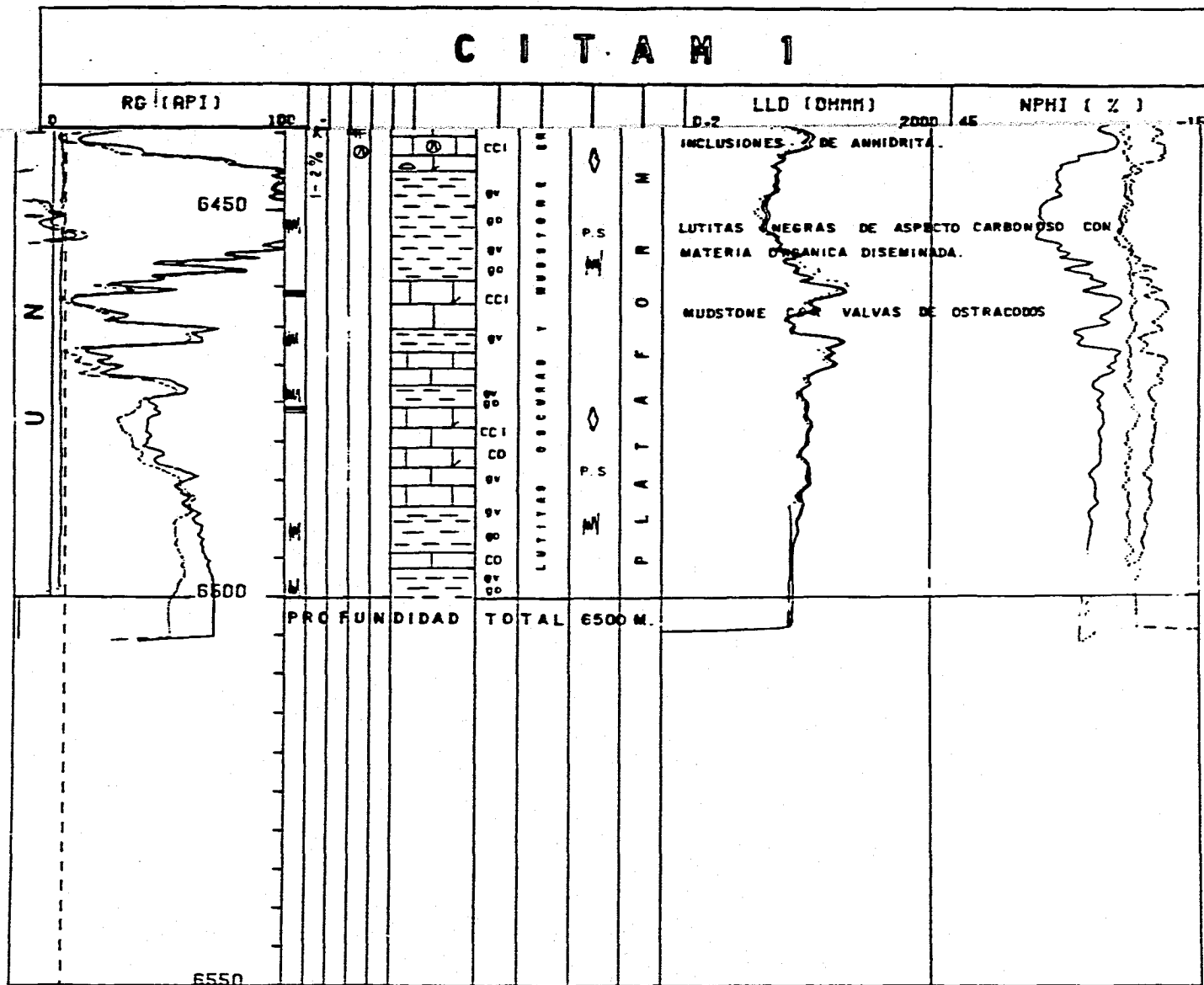
RG (RPI)	100	NPHI ( % )	45
COR (RPI)	100	DT (US/FT)	240
CAL (IN)	4.5-87	RHOB (GR/CC)	2.95



AMBIENTE	C A M A R N A		
DIAGENESIS	P.S. M X J O S.O.		
FACIES	MUDSTONE EN PARTES BENZONITICO CON LUTITAS		
COLOR	CC-CO CC1 CC2 CC3 CC4		
LITOLOGIA	LITOLOGIA		
NUCLEOS	#		
ACCIONES	#		
IMPRESIONES	#		
FORMAS	#		

UNIDAD D A D I N U C

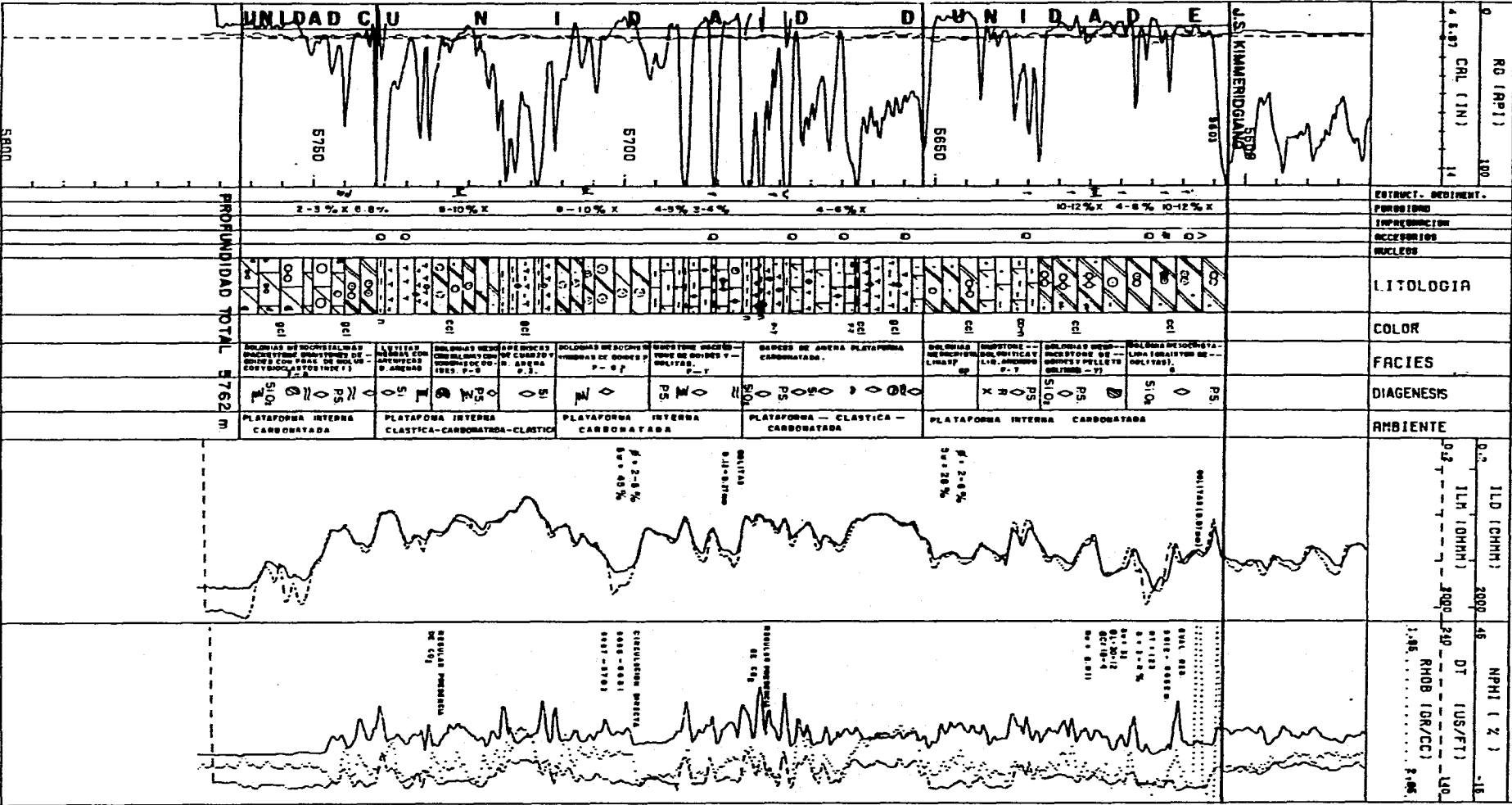




I. N. P. SUBDIRECCION DE TECNOLOGIA DE EXPLOTACION DIV. GEOFISICA

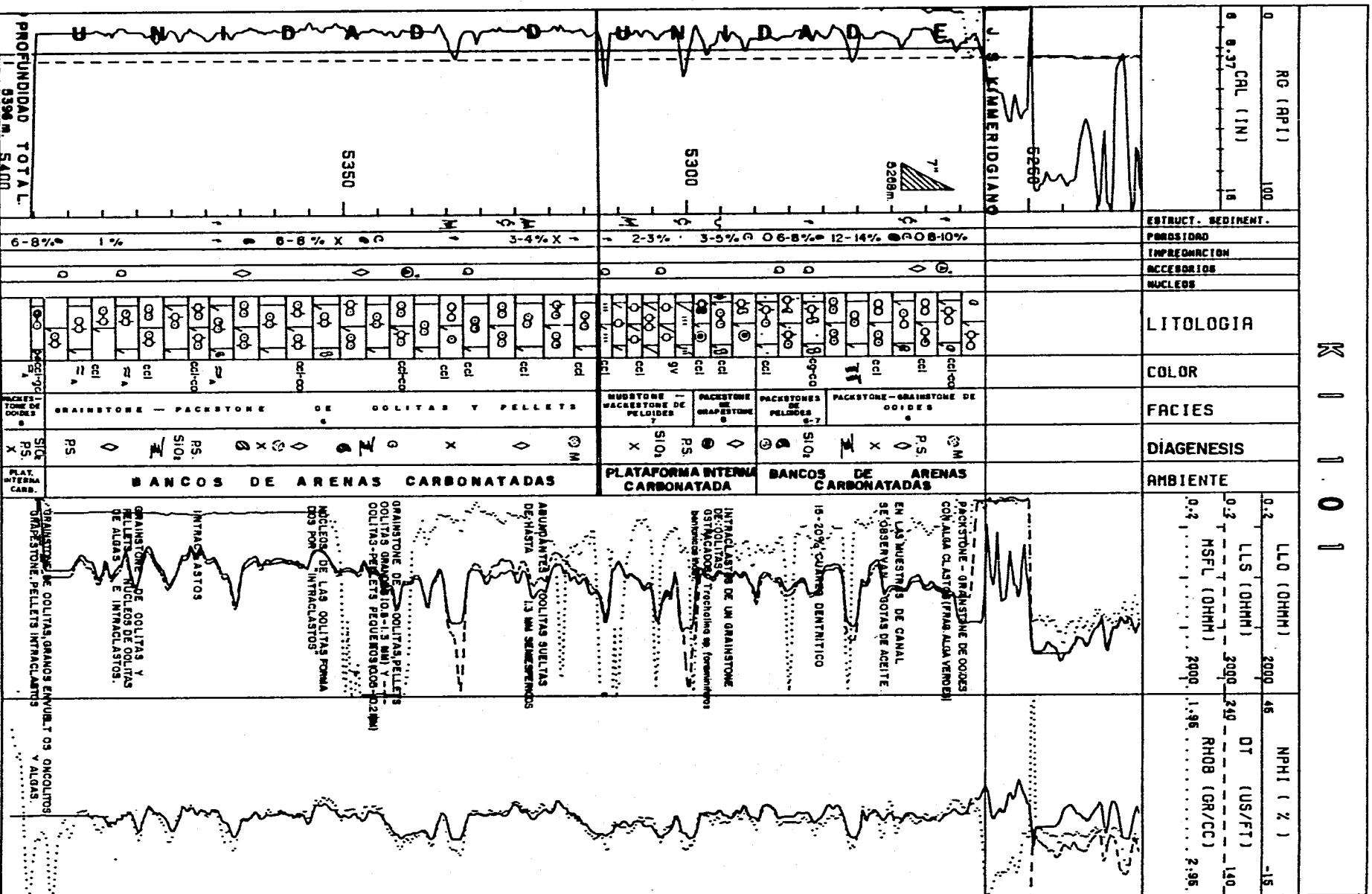


# C N E M 1 A



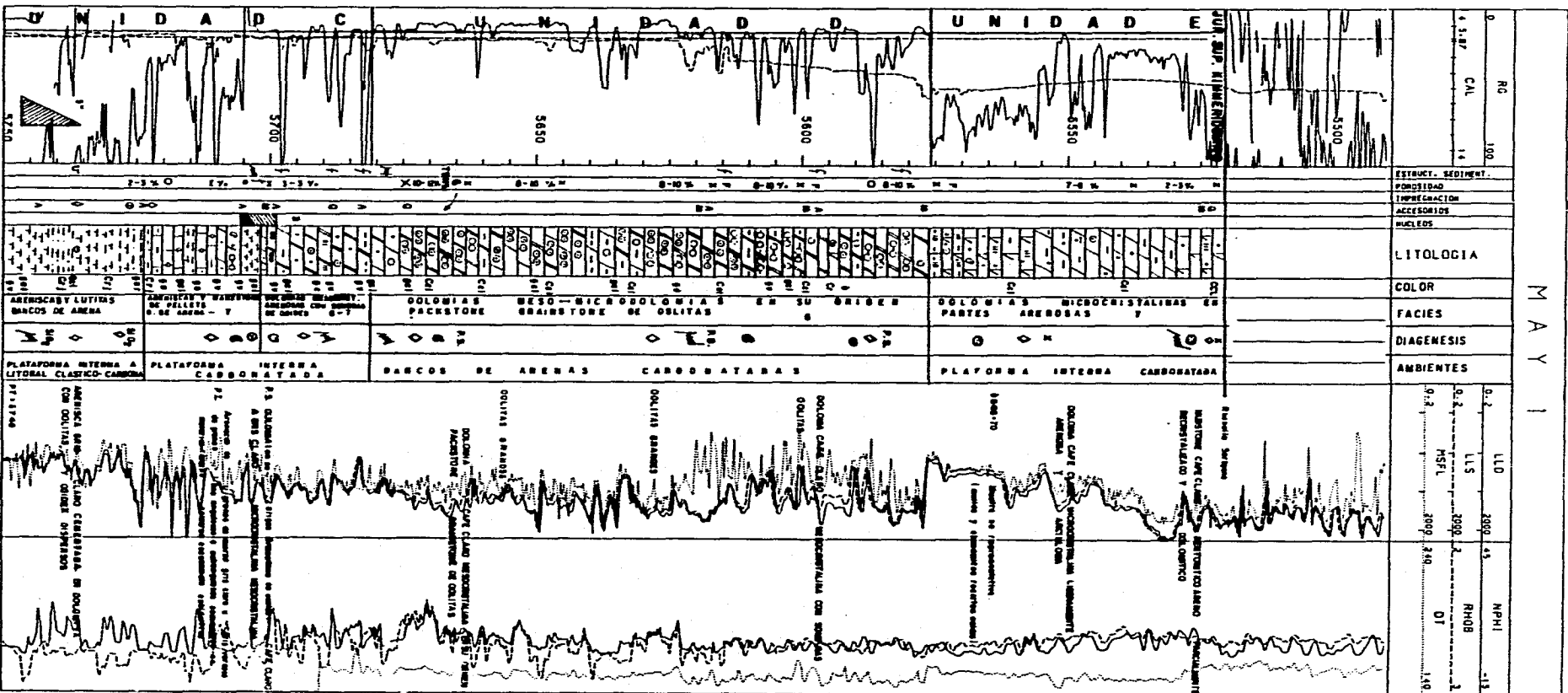
RD (RPI)	0	100
CR (LN)	4.8-9.7	14
ILD (CHM)	0.2	2000
LN (DHM)	0.2	2000
DT (US/FT)	45	100
RHO (GR/CC)	1.85	2.05
NPHI (%)	45	15

K 1 1 0 1





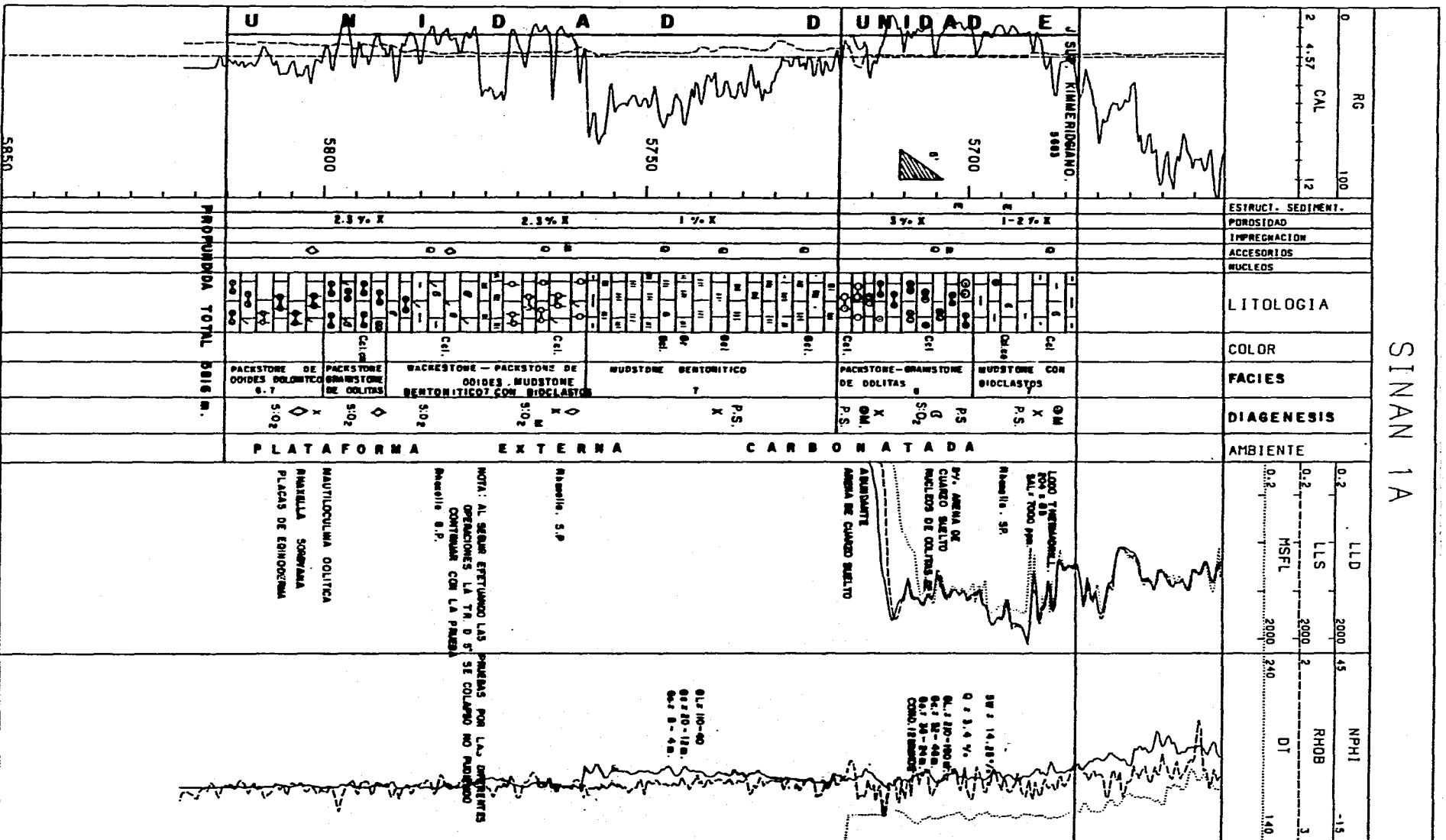
M A Y 1



I.M. SUBDIRECCION DE TECNOLOGIA DE EXPLORACION O.Y. GEOFISICA

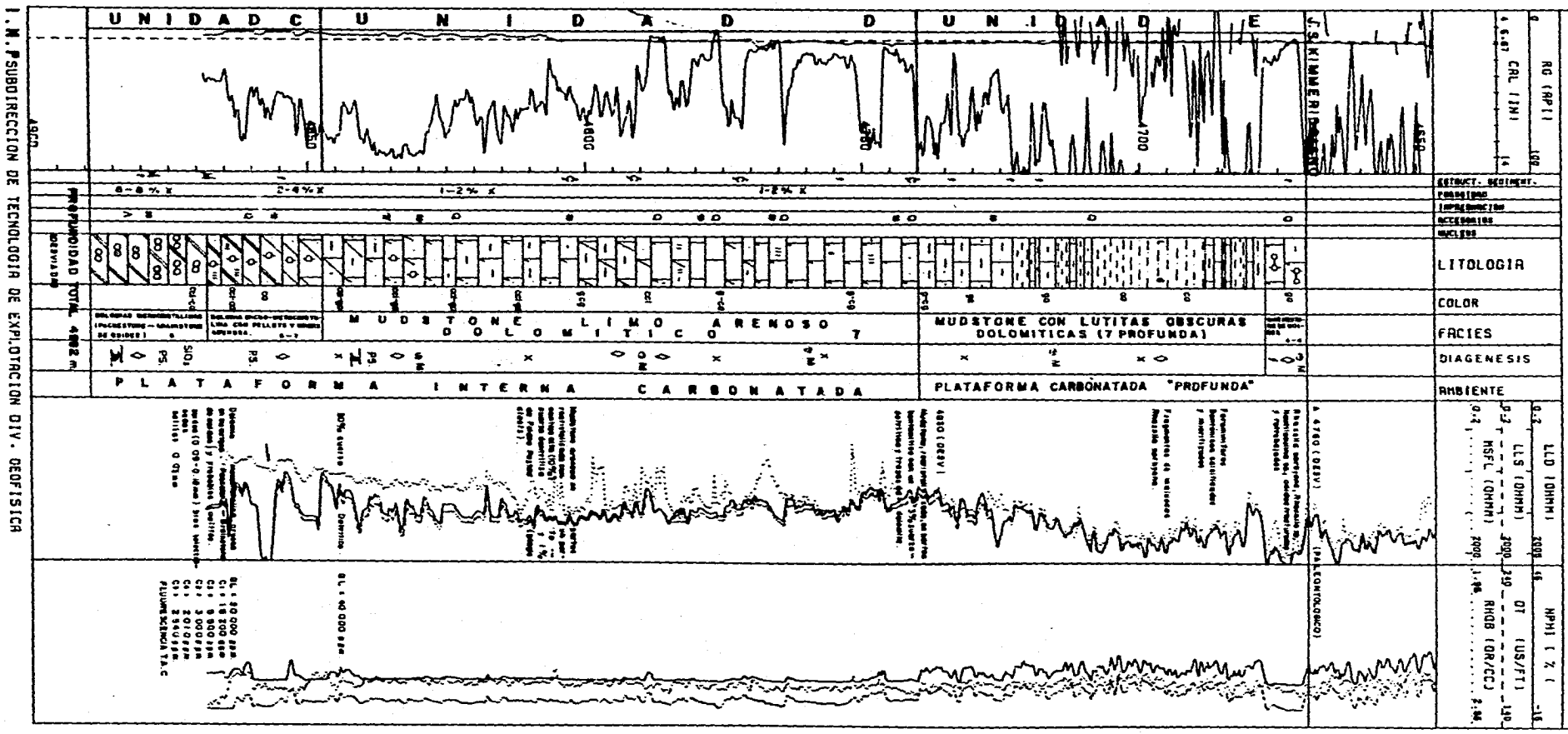


# SINAN 1A



I.M. SUBDIRECCION DE TECNOLOGIA DE EXPLOTACION DIV. GEOFISICA





I. M. SUBDIRECCION DE TECNOLOGIA DE EXPLORACION DIV. GEOFISICA







