

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ESTRATIGRAFÍA DEL JURÁSICO
SUPERIOR DEL SUBSUELO EN LA
SONDA DE CAMPECHE (GOLFO
DE MÉXICO)

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON
ESPECIALIDAD EN GEOLOGÍA

P R E S E N T A

FRANCISCO JAVIER ANGELES AQUINO

MÉXICO D.F

1996

I N D I C E

RESUMEN

| | |
|-----------------------------------|----|
| I) INTRODUCCIÓN | 1 |
| II) OBJETIVO | 1 |
| III) GENERALIDADES | 2 |
| III.1) Ubicación | |
| III. 2) Antecedentes | |
| IV) ACTIVIDAD DESARROLLADA | 6 |
| V) GEOLOGÍA REGIONAL | 9 |
| VI) ESTRATIGRAFÍA | 12 |
| VI.1) Oxfordiano | 15 |
| VI.1.1) <i>Grupo Ek-Balam</i> | |
| VI.2) Kimeridgiano | 30 |
| VI.2.1) <i>Formación Akimpech</i> | |
| Miembro Terrígeno “B” | |
| Miembro Calcáreo “C” | |
| Miembro Algáceo “D” | |
| Miembro Oolítico “E” | |
| VI.3) Titoniano | 52 |
| VI.3.1) <i>Formación Edzná</i> | |
| Miembro Calcáreo “F” | |
| Miembro Arcilloso “G” | |
| Miembro Calcáreo “H” | |
| VII) PALEOGEOGRAFÍA | 65 |
| VII) GEOLOGÍA ECONÓMICA | 74 |
| VIII) CONCLUSIONES | 80 |
| BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA | 83 |
| GLOSARIO | 88 |

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio estratigráfico sedimentario y está apoyado en el análisis de 50 pozos exploratorios perforados en la Sonda de Campeche y en los estudios realizados anteriormente por otros investigadores que constituyen la base teórica de esta tesis.

El marco geológico regional lo sitúa en la Plataforma de Yucatán, la cual, ha funcionado como un gran banco carbonatado desde inicios del Jurásico Tardío y en la que se han llevado a cabo diferentes eventos estratigráficos y estructurales relacionados con la distensión del Golfo de México.

En la Sonda de Campeche, la perforación exploratoria ha permitido el conocimiento de la columna sedimentaria del Jurásico Superior. En ella se encuentran representadas las rocas del Oxfordiano, Kimeridgiano y Titoniano, constituidas por rocas carbonatadas terrígenas, cuyo depósito tuvo lugar en un marco transgresivo.

Se propone manejar las facies mejor estudiadas, como unidades litoestratigráficas, dándoles nombres formacionales o sus equivalentes; por lo tanto, se sugiere se denomine Formación EDZNÁ a las facies F, G y H del Titoniano; Formación AKIMPECH para las facies B, C, D y E del Kimeridgiano y Grupo EK-BALAM para las facies que constituyen las unidades del Oxfordiano.

Durante el Oxfordiano y Kimeridgiano prevalecieron medios de depósito marinos someros, mientras que en el Titoniano dominaron aquellos de aguas profundas. En el Kimeridgiano existieron condiciones ambientales que favorecieron la existencia de una franja oolítica, en la que los procesos diagenéticos principalmente el de dolomitización propiciaron el incremento de la porosidad.

En las facies arcillosas se observa la presencia de materia orgánica. Esta es abundante y predominantemente de tipo algáceo en el Titoniano, el cual tiene un potencial generador clasificado de bueno a excelente. En el Kimeridgiano y Oxfordiano las facies arcillosas también presentan grandes posibilidades como rocas generadoras.

Son las rocas carbonatadas del Kimeridgiano las que ofrecen las mejores perspectivas para la prospección petrolera, la distribución de sus facies delimita tres franjas cuya importancia en la prospección corresponde en el orden que sigue: Franja oolítica dolomitizada, de carbonatos - evaporitas y de carbonatos terrígenos.

Por lo que respecta a las rocas del Oxfordiano, es de considerar por lo tanto, que desde el punto de vista económico presentan posibilidades tanto de roca almacenadora como generadora y tiene aún un amplio margen por conocerse.

ABSTRACT

The present paper is a sedimentary stratigraphic case study and its supported in the analysis of 50 well drilled in the Sonda de Campeche and, in different studies made before by other researches and, this constitutes the theoretical basis in this thesis.

The regional geological setting is given by the Plataforma de Yucatán, which has worked as a great carbonated bank since the beginnings of the Late Jurassic period, where their has been many different structural and stratigraphic events related within the distention of the Golfo de México.

In the Sonda de Campeche, The exploration drilling has made known the knowledge of sedimentary sequence into Upper Jurassic. In there we find rocks of the Oxfordian, Kimmeridgian and Thitonian age, formed by carbonated and terrígenus rocks which were deposited here in a setting of transgression.

Here, we propose to analyze the best studied facies as a litostratigraphic unit, giving formation names or their equivalent; by the way, I suggest to name EDZNÄ formation to the F, G and H facies in the Thitonian; AKIMPECH formation to the B, C, D and E facies in the Kimmeridgian, and EK-BALAM group for the facies which constitute the Oxfordian units.

While the Oxfordian and Kimmeridgian prevail in the marine deposits, the Thitonian dominates those of the deep waters. In the Kimmeridgian, there exists ambient conditions favorable for the development of a oolitic strip, in which then principal diagenetic process of dolomitization increasing proportionally in porous.

In the shale facies one observes the presence of organic material. This is abundant and is predominated by algae of the Thitonian stage, which has a great generating potential. In the Kimmeridgian and Oxfordian stages the shale facies also present great possibilities as generating rocks.

The carbonates rocks of the Kimmeridgian offer the best perspective for oil prospects, the distribution its facies three stripes which are important in prospecting corresponding in the following order: dolomite oolitic strip, carbonates - evaporites and carbonates - terrigenus.

Whit respect to the Oxfordian rocks, it may be a point to consider looking in to for presenting economic possibilities sach as storage rock or as generating rock having a wide range of possibilities.

SUMMARY

The present work is a sedimentary stratigraphic case study which is supported by the analysis of 50 drilled exploratory wells in the Campeche Sound, and by previous studies which were carried out by other researchers. It constitutes the theoretical basis in this thesis.

The regional geological setting is located in the Yucatán Platform, which has worked as a great carbonated bank since the beginning of the late Jurassic Period, in which has been take place many different structural and stratigraphic events related to the distention of the Gulf of Mexico.

In the Campeche Sound, the exploratory drilling has let us know the sedimentary column of the Upper Jurassic. Period, in which it is found rocks of the Oxfordian, Kimmeridgian and Thitonian age, formed by carbonated and terrigenous rocks whose deposit was held in a setting of transgression.

It is advisable to analyze the best studied facies as lithostratigraphic units, giving formation names or their equivalent. Therefore, I suggest to name EDZNÁ Formation to the F, G and H facies in the Thitonian; AKIMPECH Formation to the B, C, D and E facies in the Kimmeridgian, and EK-BALAM Group for the facies which constitute the Oxfordian units.

While the Oxfordian and Kimmeridgian prevailed superficial marine deposits, the Titonian dominated those of the deep waters. In the Kimmeridgian, existed environmental conditions which help to the development of a oolitic strip, in which the diagenetic process mainly of dolomitization made the porosity increase.

In the shale facies the presence of organic material is observed. This is algae type and is abundant and predominantly of the Thitonian stage, which has a great potential generator. In the Kimmeridgian and Oxfordian stages the shale facies also have great possibilities as generating rocks.

The carbonates rocks of the Kimmeridgian offer the best perspective for oil prospects, the distribution of their facies delimits three strips which are important in prospecting; Its order is as follows: dolomite oolitic strip, carbonates - evaporites and carbonates - terrigenous.

With respect to the Oxfordian rocks, economically speaking, they present two possibilities both storage rock and generating rock. Besides, they still have a wide range of possibilities to be known.

I) INTRODUCCION

Este trabajo representa el esfuerzo del autor, que ha desarrollado estudios estratigráficos y sedimentológicos en la Sonda de Campeche, lo que ha generado un total de nueve trabajos inéditos y cuatro publicados (1988, 1994, 1995, 1996), todos apoyados en datos tomados directamente de los pozos. El resultado final de dichos trabajos es la base que sustenta la presente tesis.

Apoyando esta investigación se encuentran también los estudios realizados en la zona profunda del Golfo de México por el Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de Texas, los estudios realizados por investigadores del Instituto Mexicano del Petróleo, por Petróleos Mexicanos y por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional, así como innumerables publicaciones y libros de consulta de prestigiados investigadores que sustentan la base teórica de las premisas que en esta tesis se postulan.

Se contó también con un gran porcentaje de trabajos inéditos de muy buena calidad, algunos de los cuales no han sido consignados en algún informe. El autor queriendo ser justo con ellos los cita y de ser posible, dá la referencia bibliográfica de los trabajos en los que participaron, sin embargo, esto no fue posible en todos los casos. De igual manera en las referencias de los autores nacionales citados se usaron sus dos apellidos.

Es justo decir que para poder llevar a cabo esta investigación, fue de gran ayuda la orientación de mis asesores académicos de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, cuyas observaciones han sido consideradas en este trabajo de tesis. Fue también de gran ayuda el apoyo proporcionado por la empresa Petróleos Mexicanos, tanto por el uso de sus instalaciones, como por las facilidades necesarias para desarrollarla.

II) OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo principal establecer la estratigrafía de las rocas del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche, para sentar las bases que permitan mejorar la investigación y la prospección geológica en la búsqueda de hidrocarburos de la Región Marina.

III) GENERALIDADES

III.1) Ubicación

La Sonda de Campeche se encuentra en aguas territoriales del Golfo de México, en el sureste de la República Mexicana, queda comprendida entre las coordenadas geográficas $91^{\circ}40'$ - $90^{\circ}00'$ de longitud oeste y $18^{\circ}30'$ - $20^{\circ}00'$ de latitud norte (fig. 1).

Fisiográficamente forma parte de la plataforma continental hasta la isobata de 500 metros y está frente a los estados de Tabasco y Campeche. Geológicamente queda incluida en la Provincia Geológica Marina de Coatzacoalcos, según denominación de Petróleos Mexicanos y se extiende sobre una superficie aproximada de 8 000 km², dentro de la cual queda comprendida el área de estudio con una extensión aproximada de 4 000 km².

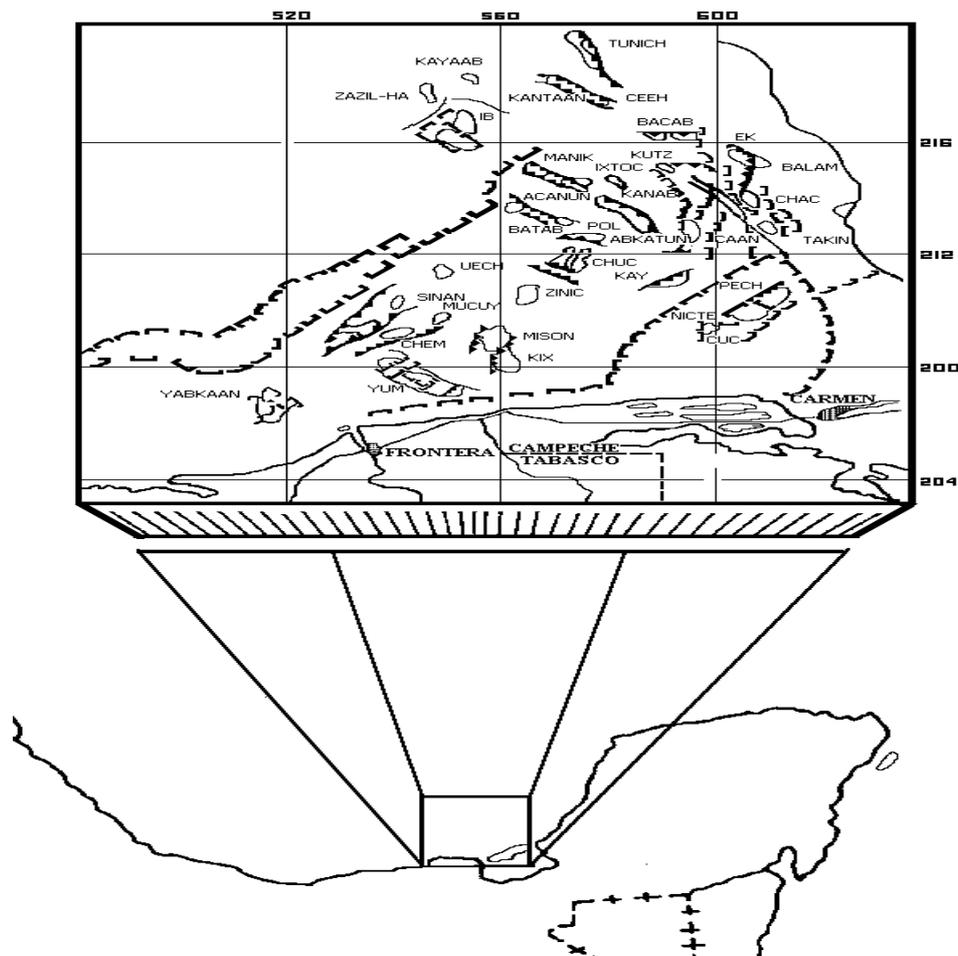


Fig. 1. Plano de localización de La Sonda de Campeche, donde se muestran sus principales rasgos estructurales y campos productores más importantes

III.2) Antecedentes

La extensión de los elementos paleogeográficos del área Chiapas-Tabasco hacia la Sonda de Campeche según Aguayo-Camargo (1966), Olivas-Ramírez (1974), Weyl (1974), Flores-Vargas (1977), Sánchez-Montes de Oca (1978), Meneses de Gyves (1980) dio margen al inicio de la prospección geológica en ella, la que evidenció la existencia de rasgos estratigráficos y estructurales con capacidad de entrapamiento.

En 1974 se inicia la perforación del pozo Chael; el cual en 1976 resultó productor de aceite y gas en calizas (brechas) del Cretácico Superior.

A raíz de este descubrimiento se intensifica la actividad exploratoria, que permite la obtención de mayor información del subsuelo; cuya integración y comparación con la circundante condujo a un conocimiento mejor de las características geológicas del área.

Estratigráficos Sedimentológicos

Desde el punto de vista sedimentario y estratigráfico, Flores-Vargas (1978) estudió en la Sonda de Campeche los primeros pozos que penetraron el Jurásico Superior e identificó los pisos Titoniano, Kimeridgiano y Oxfordiano; según información bioestratigráfica describió sus características petrográficas y las correlacionó con las rocas de los campos Cactus y Sitio Grande del área de Reforma Chiapas.

Angeles-Aquino (1985) planteó el modelo sedimentario del Jurásico Superior en la Zona Marina y postuló la existencia de la “Franja oolítica del Kimeridgiano” en la porción occidental de la Sonda de Campeche. Continuando con el estudio estratigráfico-sedimentológico de las rocas del Jurásico Superior, Angeles-Aquino (1986) lo zonificó en ocho litofacies, denominadas “A, B, C, D, E, F, G y H” y de acuerdo a su distribución delimitó y jerarquizó la Sonda de Campeche en tres franjas para su prospección hoy en día modificada de acuerdo a toda la nueva información surgida.

Araujo-Mendieta (1986) y Basañez-Loyola (1988) realizaron estudios estratigráficos sedimentarios de los pozos del Área Marina, para reconocer los procesos diagenéticos que afectaron a las rocas jurásicas; en este mismo período, Flores-Balboa (1987) efectuó una integración geológica-estratigráfica entre el área Chiapas-Tabasco y la Sonda de Campeche.

Así mismo, Angeles-Aquino (1990), propuso utilizar a las facies mejor estudiadas como unidades litoestratigráficas y sugirió el nombre de “Grupo Campeche” para las unidades “B, C, D y E” del Kimeridgiano. Mas tarde, Angeles-Aquino (1994) sitúa las ocho litofacies dentro de la litoestratigrafía como “Grupo Akimpech” y “Formación Edzná”. Actualmente, Monroy

Santiago y Ruiz-Morales (1994) realizan trabajos de granulometría para definir las condiciones sedimentológicas de las rocas del Oxfordiano.

Bioestratigráficos

Desde el punto de vista bioestratigráfico, Lugo-Rivera, Díaz-Puebla y Eloy-Salas (1976), describieron por micropaleontología rocas del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. Al mismo tiempo, Cantú-Chapa identificó los mega fósiles *Nebrodités* y *Tarameliceras* sp. con lo cual estableció la presencia del Kimeridgiano Inferior en la Zona Marina. Además, Cantú-Chapa (1982), confirmó los límites del Jurásico- Cretácico con la presencia de *Durangites* sp, *Salinites* sp, *Protancyloceras* sp y *Suarites* sp. Simultáneamente Salmerón Ureña (1980 y 1982) realizó las primeras correlaciones bioestratigráficas entre la zona marina con el continente y estableció los límites Terciario Cretácico cuando zonificó el Terciario.

La información de nuevos pozos permitieron a Landeros-Flores y Neri-León (1984), redefinir por Micropaleontología el Mesozoico de la Zona Marina; así mismo, Ponce de León-Obregón (1986), Viñas-Gómez (1988), y Soto-Jaramillo (1988), lo zonificaron con microfósiles planctónicos y nanoplacton calcáreo. Ornelas-Sánchez (1993), con información detallada de 13 pozos, zonificó las facies del Jurásico Superior desde el Oxfordiano al Berriasiano y estableció seis biozonas con la identificación de setenta microfósiles. Por su parte, Cantú-Chapa (1994), estableció la presencia de rocas de edad Oxfordiano Superior, al identificar los amonitas *Ochetoceras* sp y *Discosphinctes* en el núcleo tres del pozo Balam-101. Actualmente, Cantú-Chapa realiza trabajos de bioestratigrafía tendientes a zonificar mediante microfósiles el Jurásico Superior en la Sonda de Campeche.

Geoquímicos

En el aspecto geoquímico, Holguín-Quiñones y Anunziata Romero (1983), llevaron a cabo el estudio geoquímico de los pozos exploratorios en la Sonda de Campeche y establecieron los primeros planos de tendencias de parámetros geoquímicos. Con información de los pozos marinos y terrestres, Holguín-Quiñones (1985) hizo la evaluación geoquímica del sureste de México al establecer los valores de ITT para la Zona Marina. Cal y Mayor-Cabrera (1988), compiló los resultados geoquímicos de los pozos marinos existentes, tendiente a confirmar el potencial generador del Tioniano. Por su parte, Angeles-Aquino (1989) propuso el horizonte "A" del Oxfordiano y "D" del Kimeridgiano, como rocas generadoras en la Zona Marina, además de las ya conocidas en el Tioniano. Recientemente especialistas de la Cia. Chevron

(1994) mediante biomarcadores, confirmaron el potencial generador de las rocas del Oxfordiano ya propuesto anteriormente por AngelesAquino y publicado recientemente (1995). Actualmente, PérezOrtiz, Ortega-Lucach y Tejeda-Galicia realizan trabajos de geoquímica tales como: microscopía óptica, análisis por infrarrojo, espectrometría y termo gravimetría con el fin de definir el potencial generador de las rocas de edad Oxfordiano y Kimeridgiano en la Sonda de Campeche.

Estructurales

Desde el punto de vista sísmicoestructural, los primeros trabajos fueron realizados por: Arroyo-Pichardo (1974), Sánchez-Ortiz (1978), Reyes-Núñez (1979), Sánchez Montes de Oca (1979) y GonzálezPech (1979), quienes establecieron las bases de la Geología Estructural en la Región Marina.

Fuentes-López, Vizcarra-Valenzuela y Del Alto-Ramírez (1978) construyeron los primeros planos estructurales con datos de pozos de los campos Akal, Bacab y Abkatun. Puerto-Zapata y Díaz-Zamora (1984) llevaron a cabo uno de los primeros trabajos determinados por el método tridimensional en la Zona Marina. Angeles-Aquino (1985), dividió para su estudio el área marina en seis provincias morfoestructurales y definió los estilos estructurales que actuaron en la región en diferentes niveles estratigráficos. StanfordBestt (1989) integró los trabajos geofísicos antecedentes y propuso nuevas localizaciones exploratorias al aplicar métodos sísmico estratigráficos. AngelesAquino (1991) evaluó el Cretácico apoyando dichas localizaciones exploratorias.

Actualmente se están formando equipos de trabajo de grupos multidisciplinarios donde se desarrollan proyectos exploratorios asesorados por especialistas nacionales y extranjeros. Como son los que realizan Sangree y Mitchum (1995), Bally (1994), Namson y LópezArriaga (1995), mediante estratigrafía de secuencias y secciones balanceadas al tratar de definir nuevas provincias exploratorias y caracterizar los yacimientos de la Sonda de Campeche.

IV) ACTIVIDAD DESARROLLADA

Contando con el acervo de los trabajos anteriores, el presente estudio se apoyó en el análisis geológico de 50 pozos exploratorios; 48 de ellos pertenecen a la Región Marina y 2 a la zona costera de la Región Sur.

Con este material se analizaron un promedio de 4500 muestras de canal, 30 núcleos y un núcleo de canasta. que arrojaron un total de 2000 láminas delgadas y 1000 superficies pulidas estudiadas aproximadamente. La tabla de la figura 2 indica los pozos estudiados, el número de núcleos y muestras analizadas por cada pozo que fueron la materia prima para poder llevar a cabo este trabajo.

| POZOS | CANTIDAD | | POZOS | CANTIDAD | |
|----------------|----------|---------|----------------|----------|---------|
| | DE CANAL | NUCLEOS | | DE CANAL | NUCLEOS |
| Abkatun-5 | 24 | 1 | Ixtal-101 | 28 | |
| Akal-3 | 26 | 3 | Ixtoc-18 | 74 | 1 |
| Bacab-2 | 225 | 3 | Kambul-1 | 129 | 1 |
| Bacab-21 | 196 | 1 | Ki-101 | 70 | |
| Bacab-201 | 190 | 3 | Kokay-1A | 87 | |
| Balam-1 | 89 | 2 | Ku-407 | 136 | 1 |
| Balam-101 | 202 | 2 | Lum-1 | 189 | 1 |
| Batab-1A | 71 | | Maloob-101 | | 2 |
| Batab-2 | 56 | | Maloob-103 | | 1 |
| Batab-3 | 55 | | Mucuy-1 | 34 | |
| Bolontiku-1 | | | Och-1B | 49 | 1 |
| Caan-1 | 86 | 1 | P. Ceiba-101A | 55 | |
| Pol-72 | 85 | | Pek-1 | 51 | 3 |
| Cantarell-91 | 114 | 2 | Pich-1 | 41 | 4 |
| Cantarell-2239 | 50 | | Pol-35 | 36 | |
| Ceeh-1 | 34 | 2 | Takin-31 | | 1 |
| Chac-1 | 85 | 10 | Taratunich-1B | 10 | |
| Chac-2 | 23 | 2 | Taratunich-201 | 62 | 1 |
| Chacmool-1 | 164 | 3 | Tunich-1 | 208 | 7 |
| Chem-1A | 55 | | Uech-1 | 80 | |
| Chuc-101 | 90 | 1 | Uech-21 | 134 | 2 |
| Ek-3 | 161 | | Xicalango-1 | 184 | |
| Ek-31 | 179 | 3 | Yaabkan-1 | 37 | |
| Ek-101 | 186 | 1 | Yum-1 | 92 | 1 |
| Ek-Balam-DL3 | 183 | 2 | Zinic-1 | 210 | |
| Hayabil-1 | 211 | | | | |

Fig. 2. Tabla que indica el número de pozos y de muestras estudiadas, tanto de canal como de núcleos, para desarrollar este trabajo en la Sonda de Campeche.

El análisis de cada una de estas muestras se hizo en forma secuencial y sistemática, utilizando el método sedimentario cuyo origen y principios a

continuación se describen: C. Stabler y FloresVargas (1970), después de trabajar con diferentes métodos de análisis de rocas sedimentarias, establecieron un sistema de trabajo que desglosa las principales características petrográficas, petrofísicas, diagenéticas y sedimentarias que rigen en general a estas rocas, sintetizándola en una tabla que fue adaptada posteriormente por Mata-Jurado en 1980.

Este método de análisis se hace indistintamente sobre cualquier tipo de muestra, ya sea de mano, de canal, núcleo ó lámina delgada; sin embargo, la resolución que va a dar el estudio de cada una de estas muestras va a ser diferente, así por ejemplo, una muestra de canal difícilmente permitirá ver las estructuras sedimentarias, a diferencia de un núcleo, cuya superficie de exposición es mayor. De acuerdo a esto se jerarquizó el método de análisis de muestras de la manera siguiente:

| <u>Muestra</u> | <u>Resolución</u> |
|------------------------------|-------------------|
| núcleos | 100% |
| muestras de canal enjuagadas | 50% |
| muestras de canal lavadas | 25% |
| láminas delgadas | 25% |

Para cada tipo de muestras se siguió un método específico de estudio a saber:

Núcleos

- a) Se orientó la muestra
- b) Se numeraron los fragmentos
- c) Se pulió una contraparte para analizar superficies pulidas
- d) Se seleccionaron áreas para laminar.

Muestras enjuagadas

- a) Se seleccionaron las esquilas
- b) Se laminaron los fragmentos
- c) Se hizo el análisis utilizando microscopio estereoscópico.

Muestras lavadas

- a) Se seleccionaron las muestras
- b) Se laminaron las muestras.
- c) Se hizo el análisis utilizando el microscopio petrográfico.

Láminas delgadas

- a) Se analizan las características petrográficas, diagenéticas y texturales no visibles a simple vista, utilizando el microscopio petrográfico. Para todos estos análisis se manejó por lo general la clasificación de Dunham (1962) relacionada con la textura de depósito de las rocas carbonatadas y de Pettijohn (1957) para las rocas terrígenas, aunque también fueron utilizadas las clasificaciones de

otros investigadores tales como Folk (1965), Grabau (1913), Embry y Klovan (1971) entre otros.

Todo lo mencionado anteriormente se hizo en cada una de las muestras analizadas y constituye el mayor apoyo de este trabajo. Así mismo, todas las muestras se estudiaron en forma simultánea con registros compuestos adaptados a las necesidades del estudio. Como resultado, se elaboraron 50 secciones estratigráficas de los pozos estudiados mismas que se incluyen como anexos de este trabajo. Estas secciones se correlacionaron para conocer la distribución de las facies y establecer un modelo sedimentario para cada piso del Jurásico Superior, con un alto grado de seguridad y una estratigrafía bien apoyada.

La correlación de las unidades litoestratigráficas se hizo siguiendo los principios de reconocidos estratígrafos (Dunbar y Rodgers, 1957, Krumbein y Sloss, 1969, entre otros), lo que condujo a la elaboración de diez secciones regionales de correlación estratigráfica que cortan la Sonda de Campeche con sensible dirección Norte-Sur y Este-Oeste. En el plano de la figura 3 se marcan cuatro de las más importantes.

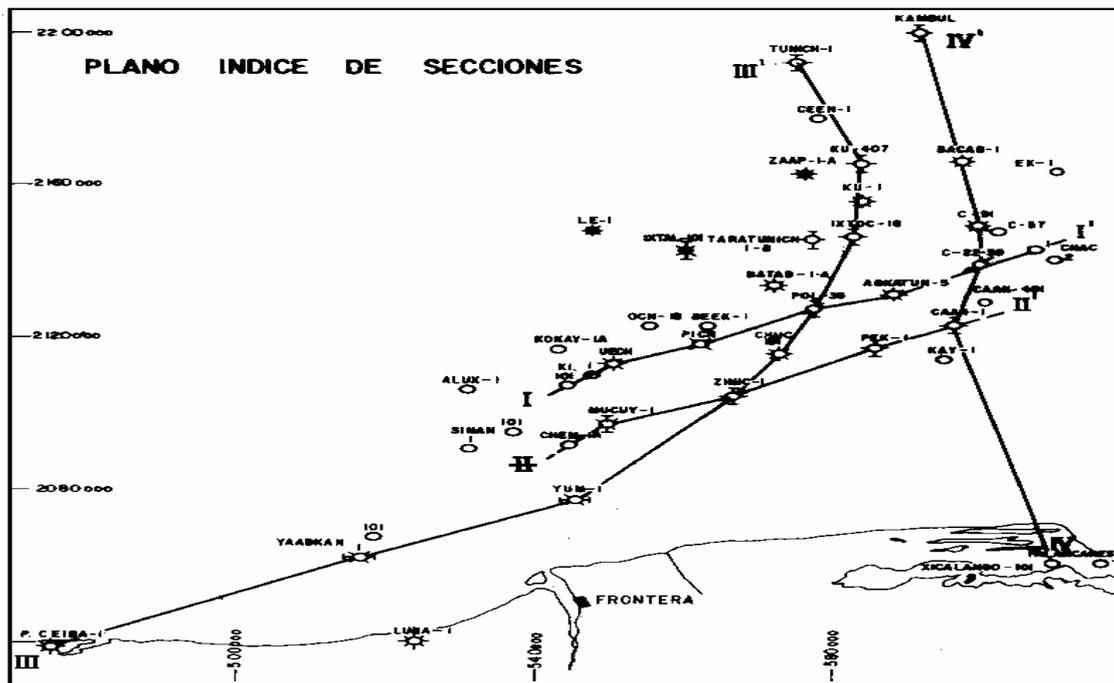


Fig. 3. Plano índice de secciones de correlación estratigráfica del área de estudio, en el plano se ilustran cuatro de las diez que constituyen una malla que cubre toda el área trabajada.

Se construyeron planos de litofacies, de isopacas, de texturas y de porosidades de las ocho unidades litoestratigráficas, así como planos paleogeográficos de los tres pisos del Jurásico Superior

Todo lo anterior permitió definir la Estratigrafía del Jurásico Superior en la Región Marina y seleccionar áreas de interés económico petrolero, cumpliendo de esta forma con el objetivo marcado.

V) GEOLOGÍA REGIONAL

El marco geológico regional está dado por la Plataforma de Yucatán, que se considera un gran banco carbonatado (Aguayo-Camargo, 1966, Olivas-Ramírez, 1974, Meneses de Gyves, 1980, Olivera-Basurto, 1981, Flores-Vargas, 1982, Longoria-Treviño, 1984) y en el cual se han llevado a cabo diferentes eventos estratigráficos y estructurales relacionados con la distensión del Golfo de México (Buffler, 1980 y 1984).

La tectónica regional está definida por las placas de Norte América, Caribe y de Cocos. A nivel local la Región Marina queda comprendida dentro de la placa de Norte América (Coney 1983).

Los trabajos llevados a cabo en la zona profunda del Golfo de México, evidencian la existencia de un basamento fracturado (Dickinson, 1980), que forma algunas cuencas de ante arco, dando lugar a una tectónica transpresiva (Longoria, 1993), donde incurren esfuerzos de compresión provenientes del Pacífico combinados con esfuerzos de distensión en el Golfo de México, regulados por el sistema Motagua-Polochic en Chiapas, Guatemala y Belice (Meneses-Rocha, 1987); los cuales conforman los diferentes estilos estructurales que rigen la Región Marina de Campeche.

Mención aparte merece la sal, que descansa sobre la corteza transicional y se repliega a lo largo del “Escarpe de Campeche”. Se infiere que tuvo un período de deformación temprana (Buffler, 1984), generó una paleo topografía que condicionó al depósito; así mismo se inyectó a niveles superiores (Campos Chuc, Taratunich, Ek-Balam, Batab, Cantarell, Toloc y Kab), formando bloques irregulares y fallas radiales como resultado de los esfuerzos antes mencionados.

Las rocas que integran la columna geológica en la Región Marina de Campeche son principalmente carbonatos y terrígenos; los primeros son más frecuentes en el Mesozoico y los segundos en el Cenozoico. Como base de esta secuencia se infiere la presencia de rocas ígneas y metamórficas de edad Permó-Triásico,

sobre las que descansan discordantemente capas rojas del Triásico-Jurásico Medio en forma aparentemente discordante (Buffler, 1980).

Los pozos que más penetraron en esta región se localizan en la Península de Yucatán (pozos Yucatán-1, 2, 4, y Colón-1). Los depósitos atravesados por estos pozos, correspondientes al Jurásico Superior, son principalmente lechos rojos que contrastan con los sedimentos marinos cotados por los pozos cortados al occidente de la península; tanto en la Región Marina (Pozos Ek Balam, Caan-1, Chac-1, Cantarell-91, 2239, Hayabil-1); como en la Región Sureste de México (Xicalango, Puerto Ceiba, Luna Etc.).

Los depósitos más antiguos presentes en la Región Marina corresponden al Jurásico Superior y están representados por rocas de edad Oxfordiano, Kimeridgiano y Titoniano, cuyo depósito tuvo lugar dentro de un marco transgresivo de facies terrígenas y carbonatadas, en ambientes de supramarea, intermarea, inframarea y plataforma externa de acuerdo a la información proporcionada por las muestras analizadas de todos los pozos que integran este prospecto y cuyos datos están consignados en la figura N°50 del capítulo IV.

Esto permite delimitar la línea de costa para el Jurásico Superior y postular que la Península de Yucatán, al menos durante esta edad, era un elemento positivo que aportaba sedimentos al área marina producto de su erosión, como lo son las areniscas presentes en el Oxfordiano.

Debido a cambios eustáticos, la Sonda de Campeche estuvo en constante subsidencia, condicionando así el tipo de depósito y desplazando la línea de costa hacia el oriente, dando lugar al desarrollo de los bancos carbonatados presentes en el Kimeridgiano.

Una subsidencia más radical del área de Campeche, producto de un evento diastrófico más intenso, dio lugar a un nuevo cambio en el ambiente de depósito durante el Titoniano, tornándose propio de aguas profundas con depósitos arcillosos y abundante fauna pelágica.

Continuando con el marco transgresivo, el Cretácico Inferior lo constituyen calizas densas de baja energía con nanofauna propia de ambientes de cuenca. En el Cretácico Medio, una discordancia regional marca el inicio de un nuevo evento que da como resultado depósitos de facies carbonatadas arcillosas. Buffler (1984) propone esta discordancia apoyado en sus investigaciones llevadas a cabo en la zona profunda del Golfo, donde 30 m.a. de registro estratigráfico correspondientes a esta edad están perdidos. Debido a estos cambios eustáticos, durante el Cretácico Superior se lleva a cabo la destrucción de bancos carbonatados que dieron lugar a las brechas calcáreas productoras en la Sonda de Campeche.

Los sedimentos terrígenos del Cenozoico cubren a los del Mesozoico, permitiendo la formación de brechas intraformacionales en el Paleoceno Eoceno. En el Eoceno, como consecuencia de la evolución de la Placa del Caribe, se depositaron en la región norte flujos turbidíticos de origen calcáreo intercalados en la sección terrígena de esa edad (Campos Ku, Zaap y Maloob). Como resultado de la acción de la placa del Caribe con la de Norte América, a través del sistema de fallas Motagua-Polochic, se generaron durante el Oligoceno esfuerzos transpresivos que plegaron la secuencia sedimentaria en forma de anticlinales alargados orientados al NWSE en la Región Marina (Campos Taratunich, Zaap, Ku, Batab, Abkatun, Bacab, Balam, Cantarell, etc.).

La vergencia de los anticlinales hacia el noreste se agudiza hacia la margen occidental de la Plataforma de Yucatán, que funcionó como un antepaís durante este evento denominado Chiapaneco (SánchezMontes de Oca, 1979).

Como culminación de este ciclo tectónico, durante el Mioceno-Plioceno ocurrieron esfuerzos distensivos que dieron lugar al sistema de fallas lítricas que delimitan la continuidad hacia el norte de las cuencas de Macuspana y Comalcalco y ocasionaron además el diapirismo de la Cuenca Salina del Istmo. El resultado final de todos estos acontecimientos geológicos, dieron a la Región Marina una paleo topografía muy especial, que permitió subdividirla en seis provincias morfoestructurales con características estructurales y estratigráficas muy propias (Angeles-Aquino, 1986). La figura 4. es una representación esquemática de estas provincias que a continuación se describen brevemente.

Zona de Domos.- Se localiza en la porción occidental de la Sonda de Campeche y está constituida principalmente por domos e intrusiones salinas.

Fosa de Comalcalco.-Es la prolongación de la Cuenca de Comalcalco hacia el mar, la constituyen principalmente rellenos terrígenos del Terciario tardío.

Pilar de Akal.- Se localiza en la porción central de la Sonda de Campeche. Esta provincia es la principal productora de hidrocarburos en el Mesozoico.

Fosa de Macuspana.- Es la prolongación de la Cuenca de Macuspana al mar. Está constituida por sal y rellenos terrígenos del Terciario tardío.

Zona de Talud.-Es la zona de transición entre la cuenca y la antigua plataforma de Yucatán. La constituyen principalmente brechas de talud.

Antigua Plataforma de Yucatan.-Se localiza en la porción oriental de la Sonda de Campeche. La constituyen principalmente carbonatos de plataforma

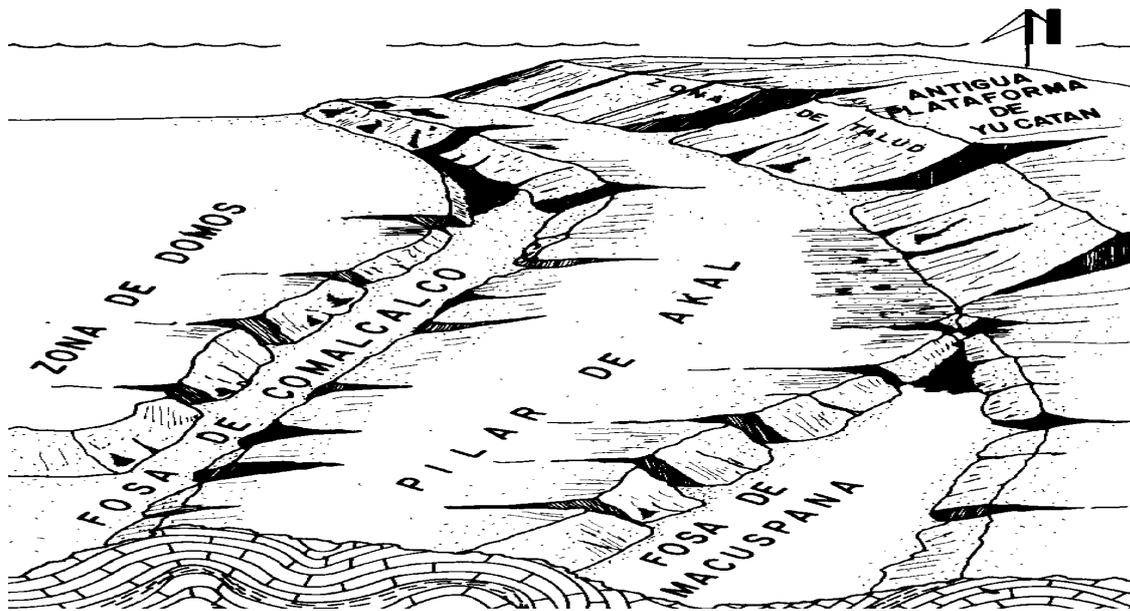


FIG. 4. Plano índice de provincias morfoestructurales en la Sonda de Campeche. (Angeles Aquino, 1986)

VI) ESTRATIGRAFÍA

Las unidades estratigráficas que integran el Jurásico Superior en la República Mexicana son muy variadas y pueden ser correlacionables.

La estratigrafía del área de trabajo está basada en el estudio detallado de 50 pozos exploratorios que han cortado rocas del Jurásico Superior, los cuales han sido estudiados con detalle y se han analizado 4500 muestras de canal y 30 núcleos. En forma simultánea se elaboraron y analizaron los registros geofísicos compuestos de cada uno de los pozos estudiados considerando los perfiles de Rayos Gama (RG) y Litodensidades (RHOB) principalmente (ver registros anexos). Con este material se confirmó la existencia de ocho litofacies que informalmente se han denominado "A, B, C, D, E, F, G y H" y cuya descripción detallada se da mas adelante.

Basado en el estudio petrográfico y paleontológico de las muestras de canal y núcleos antes mencionadas, se zonificaron y correlacionaron estas unidades y se situaron en tiempo y espacio dentro de un marco estratigráfico local. La figura 5 sintetiza y agrupa esas unidades estratigráficas de la Región Marina de Campeche.

| CRONOESTRATIGRAFIA | | LITOESTRATIGRAFIA | | COLUMNA ESTRATIGRAFICA | |
|--------------------|--------------|--------------------|---|------------------------|--|
| PERIODO | EDAD | | | | |
| JURASICO SUPERIOR | TITONIANO | FORMACION EDZNA | H | | |
| | | | G | | |
| | | | F | | |
| | KIMERIDGIANO | FORMACION AKIMPECH | E | | |
| | | | D | | |
| | | | C | | |
| | OXFORDIANO | GRUPO EKBALAM | B | | |
| | | | A | | |

Fig. 5. Tabla estratigráfica que indica la distribución de las ocho litofacies que conforma el Jurásico Superior en Campeche: A) Arenas, limos y arcillas, B) Limos y arcillas, C) Calizas dolomitizadas, D) Limos y lutitas algáceas, E) Calizas oolíticas dolomitizadas, F) Calizas arcillosas con radiolarios, G) Lutitas calcáreas con saccocomas, H) Calizas arcillosas con tintínidos.

Tomando como antecedente el cúmulo de información precedente, proporcionada principalmente por los pozos exploratorios, podemos considerar que el conocimiento estratigráfico alcanzado hasta la fecha en la Región Marina es muy bueno, por lo que se está en posibilidades de proponer su nomenclatura estratigráfica dentro de un marco regional; por lo tanto, se sugiere manejar las unidades mejor estudiadas con sus nombres formacionales que aquí se proponen y correlacionarlos con sus equivalentes a nivel nacional, como aquí se avanza.

El que suscribe propone en este trabajo nombres formacionales para las unidades que constituyen los tres pisos del Jurásico Superior en la Región Marina, y las correlaciona con las unidades aflorantes en la planicie costera del Golfo de México y sureste del país. Tomando como base la carta de correlación estratigráfica de la Cuenca del Golfo de México de Amos Salvador y Quezada-Muñetón (1989), se elaboró la tabla de correlación estratigráfica y el plano de la figura 6 donde se incluyen las formaciones propuestas.

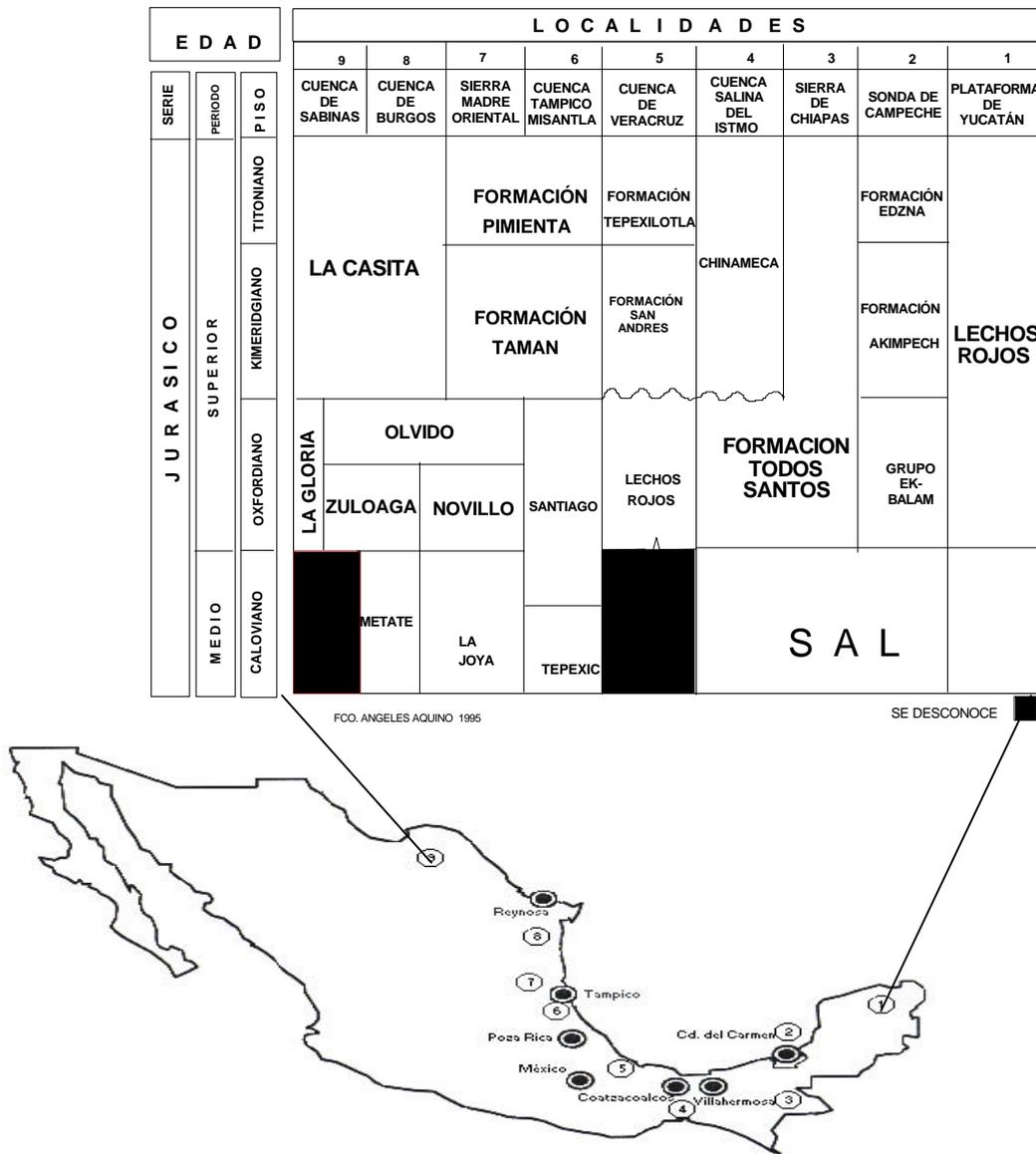


Fig. 6 .-Plano de localización y tabla de correlación estratigráfica de las unidades del Jurásico Superior propuestas para la Sonda de Campeche, con las del Noreste, Centro y Sureste de México.

La propuesta estratigráfica que aquí se hace para la Región Marina de Campeche, está apoyada en toda la información geológica antes mencionada, lo que permite explicar la presencia de las unidades del Jurásico Superior en el subsuelo de la Sonda de Campeche y establecer sus relaciones estratigráficas. A continuación se hace una descripción generalizada de las unidades litoestratigráficas que constituyen los pisos del Jurásico Superior en el Norte y Sureste del país apoyado en la compilación de las monografías petroleras

realizadas por Angeles-Aquino (1983), Peña-García (1987), los trabajos realizados por Bonet (1973) en la zona del Istmo, los trabajos realizados por Cantú-Chapa en la Sierra Madre Oriental (1982) y en el subsuelo de Poza Rica (1992), así como la compilación realizada por Contreras y Montalvo (1991) en el norte del país, se incluye también una descripción detallada de las unidades propuestas en este trabajo para la Región Marina, tomando en cuenta su litología, espesores, edad, relaciones estratigráficas, sedimentología, diagénesis y evaluación de cada unidad.

VI.1) Oxfordiano

Antecedentes:

Las rocas de edad Oxfordiano están representadas por las formaciones Novillo, Zuloaga, La Gloria y Olvido en el Noreste del país; la Formación Santiago se conoce en la Sierra Madre Oriental entre los estados de Hidalgo y Veracruz; y la Formación Todos Santos en el Sureste del país en los estados de Chiapas, Oaxaca y Yucatán. La distribución de estas unidades están representadas en la figura 6.

La Formación Novillo tiene su localidad tipo al oeste de Cd. Victoria, Tams; en el “Cañón del Novillo” consiste en su base de una secuencia delgada de areniscas de color gris a café grisáceo de grano fino a medio, a la que subyacen mudstone a wackestone gris oscuro, así como grainstone oolítico en ocasiones fuertemente dolomitizado.

La Formación La Gloria se localiza en la región centro oriental de la Plataforma de Coahuila. Consiste en areniscas de grano fino, a medio, en ocasiones conglomerática, de color gris y gris verdoso, con intercalaciones de limolitas y lutitas de color gris.

La Formación Zuloaga se localiza en la región de Saltillo y Monterrey, comprende facies de plataforma abierta, constituida por Mudstone - Wackestone de color gris oscuro, parcialmente arcillo limolítico, en ocasiones dolomitizado, packstone a grainstone de oolitas que forman bancos dando lugar a un ambiente de plataforma restringida. Esta secuencia contiene fósiles tanto del Oxfordiano como del Kimeridgiano, entre otros *Haploceras fialar* (Oppel), *Perishphinctes ciclodorsatus*, *Aulacomella lata*.

La formación Olvido se depositó en la Plataforma de Coahuila, está compuesta por una potente secuencia evaporítica de anhidritas y sal, con delgadas intercalaciones de wackestone anhidrítico y dolomías microcristalinas de color gris claro. Su cima está coronada por un grainstone oolítico de peletoides de color gris claro.

La Formación Santiago se localiza entre Hidalgo y Veracruz, sobre la Sierra Madre Oriental, está constituida por sedimentos arcillosos de color negro, con intercalaciones calcáreas (concreciones) en forma de lentes de color claro, con horizontes fosilíferos de amonitas y pelecípodos de edad Oxfordiano-Caloviano.

La Formación Todos Santos aflora en el sur del país, en los estados de Oaxaca, Chiapas y Yucatán. Tiene su localidad tipo en la cercanía de Villa de todos los Santos, departamento de Huehuetenango en Guatemala. La caracterizan lechos rojos constituídos generalmente por lutitas, limolitas y areniscas que varían de grano medio a grueso de color café rojizo a guinda, con estratificación cruzada y restos de plantas dispuestos en capas desde 20 cms hasta un metro de espesor, con intercalaciones de cuerpos de conglomerados y areniscas conglomeráticas en diferentes niveles. Se encuentra suprayaciendo a la sal de probable edad Caloviana e infrayace al Cretácico Inferior en la Plataforma de Yucatán y la Sierra de Chiapas, por lo tanto se establece su edad por posición estratigráfica.

VI.1.1) *Grupo Ek-Balam*

Definición, Litología y Espesores.

En este trabajo se denominó a esta unidad litoestratigráfica "EkBalam" por ser este el campo productor más importante en rocas del Oxfordiano; su denominación se justifica por la necesidad que se tiene de utilizarla constantemente, dada su importancia económica y estratigráfica; con lo cual se cumple con el artículo 5° del Código de Nomenclatura Estratigráfica de Norte América, referente a la definición de unidades formales que estipula el uso de estas unidades.

Diez y seis son los pozos exploratorios que se han estudiado en rocas de esta edad (Chac-1, Cantarell-91, Cantarell-2239, Caan-1, Ek-3, Ek-31, Ek-101, Balam-1, Balam-101, Ek-Balam-DL3, Lum-1, Bacab-2, Bacab-21, Bacab-201, Chac-Mool-1 y Hayabil-1), todos ellos localizados en la porción oriental del área.

El cuadro de la figura 7 contiene las profundidades alcanzadas por los pozos y los espesores promedio de las litofacies penetradas. Esos valores serán constantemente mencionados cuando se haga referencia de cada una de las unidades.

| EDAD FACIES | TITONIANO | | | | KIMERIDGIANO | | | | OXFORDIANO | | | ESP. TOTAL | PROF. TOTAL |
|----------------|-------------|------|------|------------|--------------|------|------|------|-------------|------|-----|---------------|----------------|
| | H | G | F | ESP (m) | E | D | C | B | ESP. (m) | A' | A'' | | |
| POZOS | PROFUNDIDAD | | | (m) | PROFUNDIDAD | | | (m) | PROFUND. | | (m) | TOTAL | TOTAL |
| | ESPESOR(m) | | | | ESPESOR(m) | | | | ESPESOR | | | | |
| Abkatún-5 | 4058 | 4084 | 4153 | 121 | 4179 | 4211 | | | 87 | | | 208 | 4266 |
| | 26 | 69 | 26 | | 32 | 55 | | | | | | | |
| Batab-1A | 4200 | 4259 | 4410 | 295 | 4495 | 4695 | 4839 | | 422 | | | 717 | 4917 |
| | 59 | 151 | 85 | | 200 | 144 | 78 | | | | | | |
| Batab-2 | 4290 | 4340 | 4534 | 368 | 4658 | | | | 192 | | | 560 | 4850 |
| | 50 | 194 | 124 | | 192 | | | | | | | | |
| Batab-3 | 4244 | 4302 | 4444 | 324 | 4568 | | | | 222 | | | 546 | 4790 |
| | 58 | 142 | 124 | | 222 | | | | | | | | |
| Caan-1 | 4303 | 4341 | 4380 | 97 | 4400 | 4566 | 4733 | 4824 | 585 | 4985 | | 1122 | 5425 |
| | 38 | 39 | 20 | | 166 | 167 | 91 | 161 | | 440 | | | |
| Cantarell-57 | | 2444 | 2485 | 68 | 2512 | 2540 | 2655 | | 180 | | | 248 | 2692 |
| | | 41 | 27 | | 28 | 115 | 37 | | | | | | |
| Cantarell-91 | 2253 | 2270 | 2346 | 196 | 2429 | 2526 | 2638 | 2731 | 542 | 2971 | | 1097 | 3360 |
| | 37 | 76 | 83 | | 97 | 112 | 93 | 240 | | 359 | | | |
| Cantarell-2239 | 4250 | 4285 | 4330 | 105 | 4355 | 4481 | 4550 | 4645 | 352 | 4720 | | 457 | 4776 |
| | 35 | 45 | 25 | | 82 | 126 | 69 | 75 | | 56 | | | |
| Chac-1 | 4092 | 4127 | 4185 | 115 | 4207 | 4273 | 4370 | 4415 | 333 | 4540 | | 842 | 4934 |
| | 35 | 58 | 22 | | 66 | 97 | 45 | 125 | | 394 | | | |
| Chac-2 | 4326 | 4356 | 4407 | 115 | 4441 | 4478 | | | 121 | | | 236 | 4562 |
| | 30 | 51 | 34 | | 32 | 84 | | | | | | | |
| Chuc-101 | 3893 | 3939 | 4043 | 189 | 4089 | 4140 | 4208 | 4257 | 311 | | | 507 | 4400 |
| | 47 | 104 | 46 | | 51 | 68 | 49 | 143 | | | | | |
| Ixtoc-18 | 4210 | 4266 | 4370 | 225 | 4435 | | | | 140 | | | 365 | 4575 |
| | 56 | 104 | 65 | | 140 | | | | | | | | |
| Ki-101 | 5070 | 5109 | 5223 | 199 | 5250 | | | | 146 | | | 326 | 5396 |
| | 39 | 114 | 27 | | 146 | | | | | | | | |
| Ku-407 | 3374 | 3416 | 3510 | 173 | 3547 | | | | 1273 | | | 1446 | 4820 |
| | 42 | 94 | 37 | | 1273 | | | | | | | | |
| Mucuy-1 | 5339 | 5416 | 5544 | 265 | 5604 | | | | 63 | | | 328 | 5667 |
| | 77 | 128 | 60 | | 63 | | | | | | | | |
| Pek-1 | 5075 | 5133 | 5216 | 217 | 5292 | 5495 | | | 283 | | | 500 | 5575 |
| | 58 | 83 | 76 | | 203 | 80 | | | | | | | |
| Pich-1 | 4497 | 4560 | 4720 | 313 | 4810 | | | | 87 | | | 400 | 4897 |
| | 63 | 160 | 90 | | 87 | | | | | | | | |
| Pol-35 | 4438 | 4506 | 4655 | 359 | 4697 | 4753 | | | 93 | | | 452 | 4790 |
| | 68 | 149 | 42 | | 56 | 37 | | | | | | | |
| Pol-72 | 4285 | 4342 | 4506 | 290 | 4575 | 4655 | | | 136 | | | 426 | 4711 |
| | 57 | 164 | 69 | | 110 | 26 | | | | | | | |
| P.Ceiba-101A | 5403 | | | 92 | 5495 | | | | 183 | | | 275 | 5678 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Taratunich-1B | | 3098 | 3130 | 32 | | | | | | | | 32 | 3483 |
| | | 32 | 353 | | | | | | | | | | |
| Tunich-1 | 4172 | 4210 | 4353 | 253 | 4425 | 4855 | | | 817 | | | 970 | 5242 |
| | 38 | 143 | 72 | | 430 | 387 | | | | | | | |
| Uech-1 | 4605 | 4668 | 4777 | 215 | 4820 | | | | 180 | | | 395 | 5000 |
| | 63 | 109 | 43 | | 180 | | | | | | | | |
| Yaabkan-1 | 6142 | 6167 | 6310 | 184 | | | | | | | | 184 | 6326 |
| | 25 | 143 | 16 | | | | | | | | | | |
| Yum-1 | 4543 | 4609 | 4780 | 287 | 4830 | | | | 162 | | | 399 | 4992 |
| | 66 | 171 | 50 | | 162 | | | | | | | | |

Los sedimentos cortados pertenecientes en edad al Oxfordiano Superior tienen desde 57 hasta 440 metros de espesor sin lograr atravesar la unidad. Son principalmente sedimentos detríticos finos a gruesos, tales como areniscas y limolitas bentoníticas en secuencias varvadas, como se observa en la fotografía de la figura 8.



Fig. 8. Microlaminaciones onduladas y gradadas producto de una secuencia varvada de posible edad Oxfordiano. Pozo Chac-1 núcleo 17, en la Sonda de Campeche.

En los campos Ek, Balam, Bacab y Chac se atravesaron cuerpos arenosos de posible edad Oxfordiano, que varían desde 31m en el pozo Chac-1, hasta 147m en el pozo Balam-1.

Por otro lado, el pozo Caan-1, ha penetrado más las rocas del Oxfordiano, donde cortó en su parte más baja un packstone de peletoides, lo que hace inferir un cambio de facies hacia el occidente del área (ver foto de la figura 9), donde las rocas se hacen más carbonatadas.

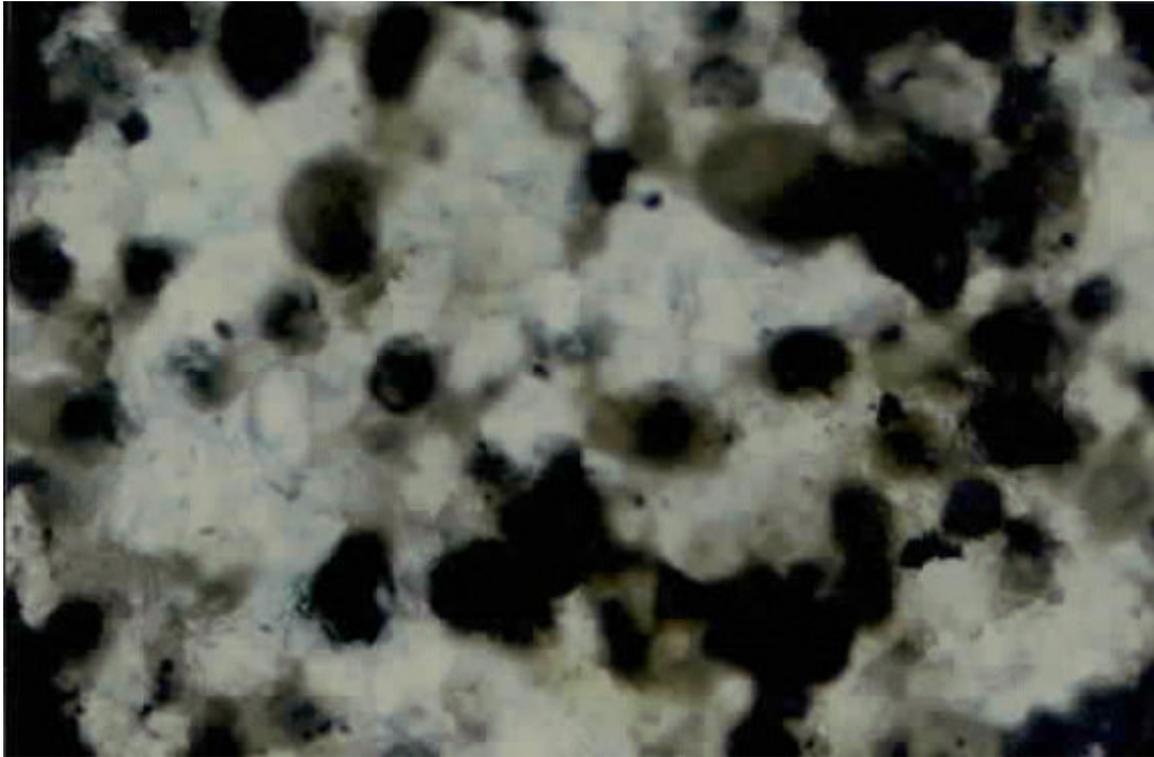


Fig. 9. Wackestone a packstone de pelletoides arcilloso y arenoso, en tonos azulosos se observan los granos de cuarzo. Pozo Caan-1, intervalo 5370. Objetivo 10x, luz polarizada.

Esta unidad se ha dividido aquí para su estudio en tres unidades litoestratigráficas:

Parte inferior, constituida por calizas grumosas arenosas con pelletoides color gris olivo, gradúan hacia la cima a detritus finos como arcillas y lutitas bentónicas (Pozos Cantarell-2239, Caan-1, Chac-1 y Cantarell-91). La microfotografía de la figura 9 del pozo Caan-1, intervalo 5370 caracteriza este cuerpo litológico.

Parte media, constituida por una alternancia rítmica de areniscas calcáreas, limolitas y lutitas bentónicas, que cambian lateralmente de facies a areniscas mal consolidadas con matriz pelítica (inmaduras) y arenas deleznales que gradúan hacia la base a areniscas conglomeráticas y/o conglomerados arenosos mal consolidados (Pozo Ek-101, int. 4539-4565; Pozo Balam-1, int. 4400-4428).

La fotografía de la figura 10 presenta tres superficies pulidas de núcleos de los pozos Balam-1, 101 y Ek-101 representativos de este cuerpo litológico, en los que se pueden observar a simple vista su diferente textura, estructuras

sedimentarias y grado de madurez, mismas características que han sido confirmadas con ayuda del microscopio estereoscópico.



Fig. 10. Muestras de superficies pulidas de núcleos de arenas de una edad oxfordiana que presentan diferentes clasificación de granos, así como de consolidación, estructuras de colapso, flujo y perturbación mecánica; relacionado directamente con la fuente de aporte, madurez y medio de depósito en el cual se formaron estas rocas. Pozos Balam-1 núcleo 3, Balam-101 núcleo-4 y Ek-101 núcleo-1.

La parte superior está caracterizada por calizas arenosas que gradúan a areniscas calcáreas y limolitas con anhidrita, ésta última se observa también en capas que gradúan desde 5m hasta 200m (pozo Bacab21).

Es de mencionar también la presencia de sal en los campos EkBalam, Batab y Maloob, que no guarda una posición estratigráfica en la columna del Jurásico Superior aunque se llega a observar que está interestratificada (pozos Balam-1, 101, Bacab 21, 1). Los estudios sísmicos y los pozos perforados sugieren que ésta debe constituir la base de la secuencia estratigráfica mencionada. La fotografía de la figura 11 es un fragmento del núcleo 1 del pozo Bacab21 y muestra en forma más objetiva la unidad descrita.

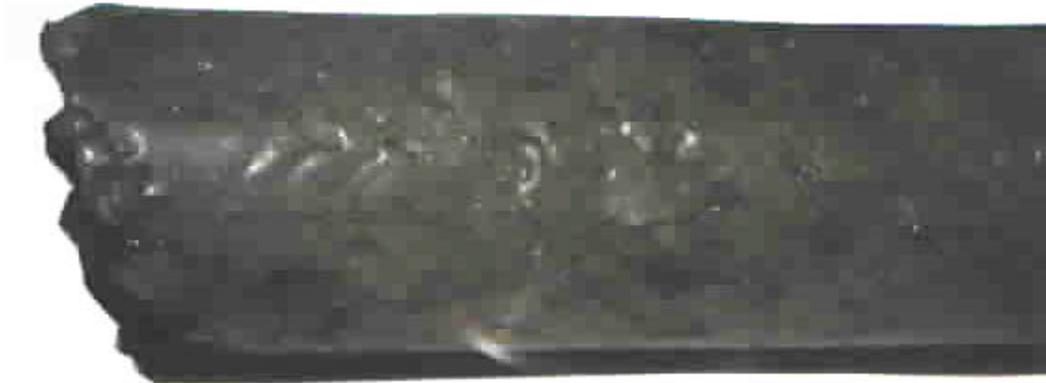


Fig. 11. Núcleo de sal cristalina y traslúcida que sugieren la base de la columna mesozoica conocida en la Sonda de Campeche, constituye espesores potentes en el área EkBalam e intrusiona formando estructuras dómicas en la provincia de Yucatán. Núcleo 1; pozo Bacab21

Edad

El microfósil *Caucasella oxfordiana* (ver fotografía de la figura 12), podría considerarse como el fósil que caracteriza el Oxfordiano por las razones siguientes: En el núcleo 16 del pozo Chael, se encontró por primera vez un micro organismo clasificado inicialmente como "*Protoglobigerina oxfordiana*" (Lugo-Rivera, 1976). Posteriormente Longoria Treviño (comunicación personal, 1983) después de analizarlo lo situó dentro del grupo de las *Caucasellas*, al clasificarla como una probable *Caucasella oxfordiana*. Ornelas-Sánchez et al. (1993) apoyada en una zonificación microfaunística llevada a cabo en rocas del Jurásico de la Región Marina de Campeche la denominó "*Globuligerina oxfordiana*" y la sitúa en este piso.

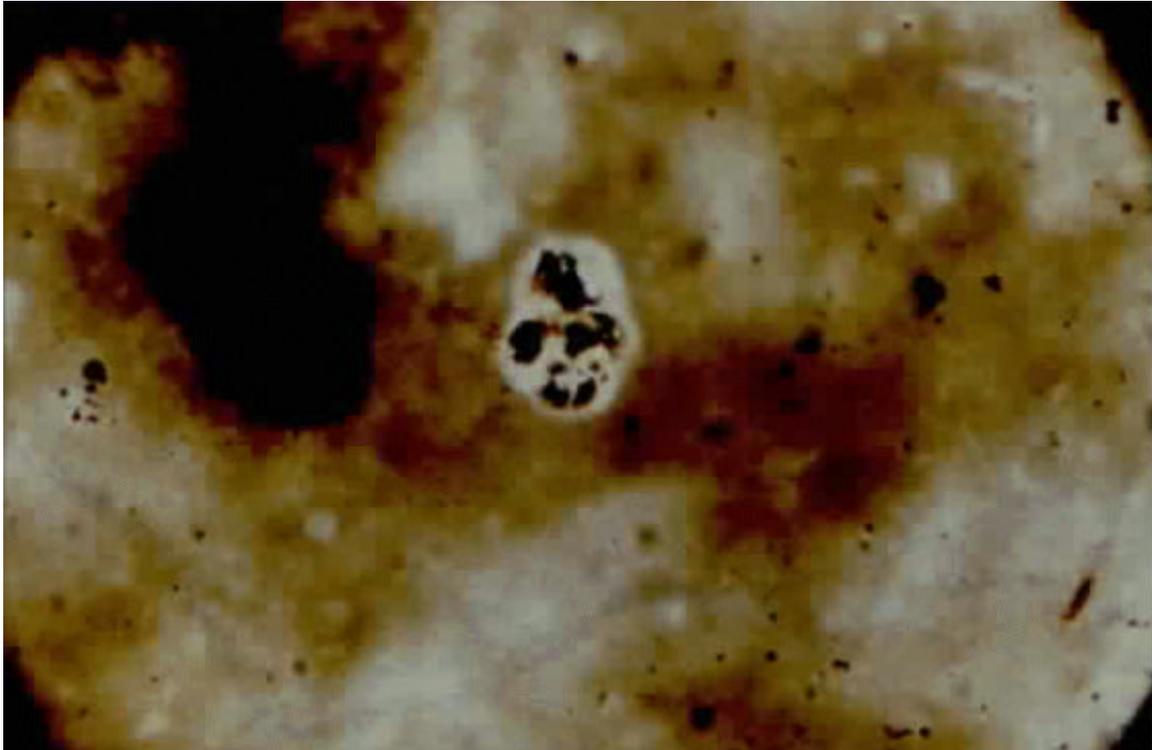


Fig. 12. Mudstone bentonítico con una *Caucasella* de probable edad Jurásico Superior (Oxfordiano). Pozo Caan-1 ; Objetivo 10x ; luz natural.

En la cima de esta unidad litoestratigráfica se ha seleccionado un horizonte índice situado metros abajo de la primera aparición de dicho fósil, caracterizado por la presencia de un cuerpo de areniscas calcáreas con anhidrita. La respuesta eléctrica a este cambio litológico es muy notable y contrasta perfectamente con la secuencia terrígena que caracteriza a estas rocas. Por lo tanto, para fines de correlación se ha tomado este horizonte de areniscas calcáreas, como la probable cima de este piso. La sección de correlación estratigráfica de la figura 13 ilustra la secuencia sedimentaria del Jurásico Superior de los pozos Taratunich-1B a Chac-1 y en el cual se encuentra marcado mediante una flecha el horizonte del que se habla. Se ilustra también un fenómeno estructural en el pozo Cantare-91 en que las rocas del

Oxfordiano suprayacen a sedimentos del Oligoceno debido a una falla inversa producto del evento Chiapaneco ya mencionado anteriormente.

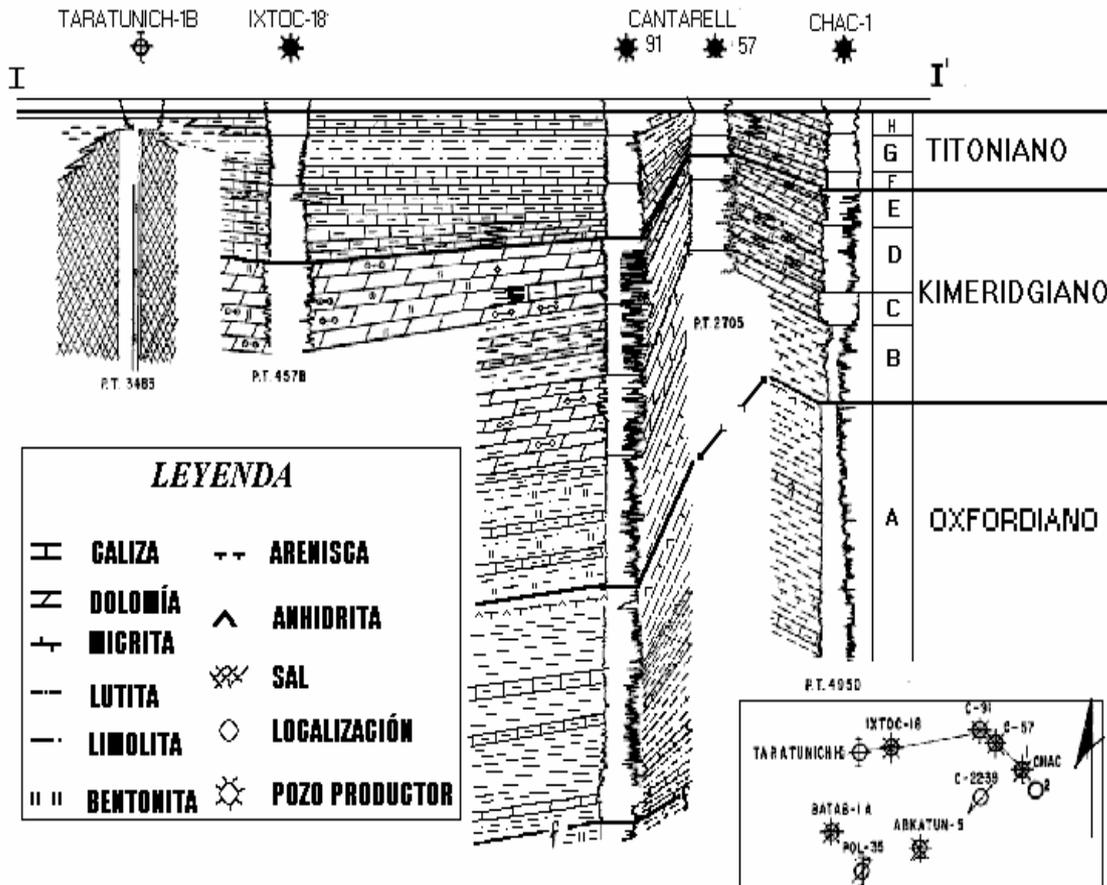


Fig. 13. Sección de correlación estratigráfica con sensible dirección WE, donde se observa el horizonte índice de areniscas calcáreas marcada con una flecha que caracterizaría la cima del Oxfordiano en los pozos de la Sonda de Campeche. En el pozo Cantarell-91 las rocas del Oxfordiano suprayacen a sedimentos del Oligoceno debido a una falla inversa producto del evento Chiapaneco.

Por otro lado, se obtuvieron fragmentos de amonitas en el núcleo 3 del pozo Balam-101, y por comunicación escrita, CantúChapa los clasificó como pertenecientes a los géneros *Ochetoceras* sp. y *Discosphinctes* que caracterizan el Oxfordiano Superior. Estableciendo de esta manera en forma definitiva la cima de este piso y confirmando la correlación que aquí se postula.

La fotografía de la figura 14 muestra un fragmento de amonita correspondiente a ese horizonte.



Fig. 14. Mudstone que exhibe un fragmento de amonita de posible edad Oxfordiano Superior, encontrado en el núcleo 3 del pozo Balam-101 de la Sonda de Campeche.

Relaciones Estratigráficas

Las rocas de edad Oxfordiano subyacen en forma aparentemente concordante, en la porción oriental de la Sonda de Campeche, a los sedimentos terrígenos de la unidad “B” del Kimeridgiano. La parte inferior de aquella edad no ha sido alcanzada por la barrena; sin embargo, el pozo que más penetró, es Caan1, el cual cortó en el fondo una secuencia carbonatada con peletoides limitando en su base esta unidad.

La distribución de los sedimentos del Oxfordiano está confinada a la porción oriental del área, sin embargo, se infiere que se debe extender hacia el occidente con un cambio de facies a carbonatos tales como las calizas grumosas con peletoides presentes ocasionalmente en este piso y observadas en los campos Caan y Bacab en forma esporádica. El plano de litofacies de la figura 15 indica la distribución de estas rocas.

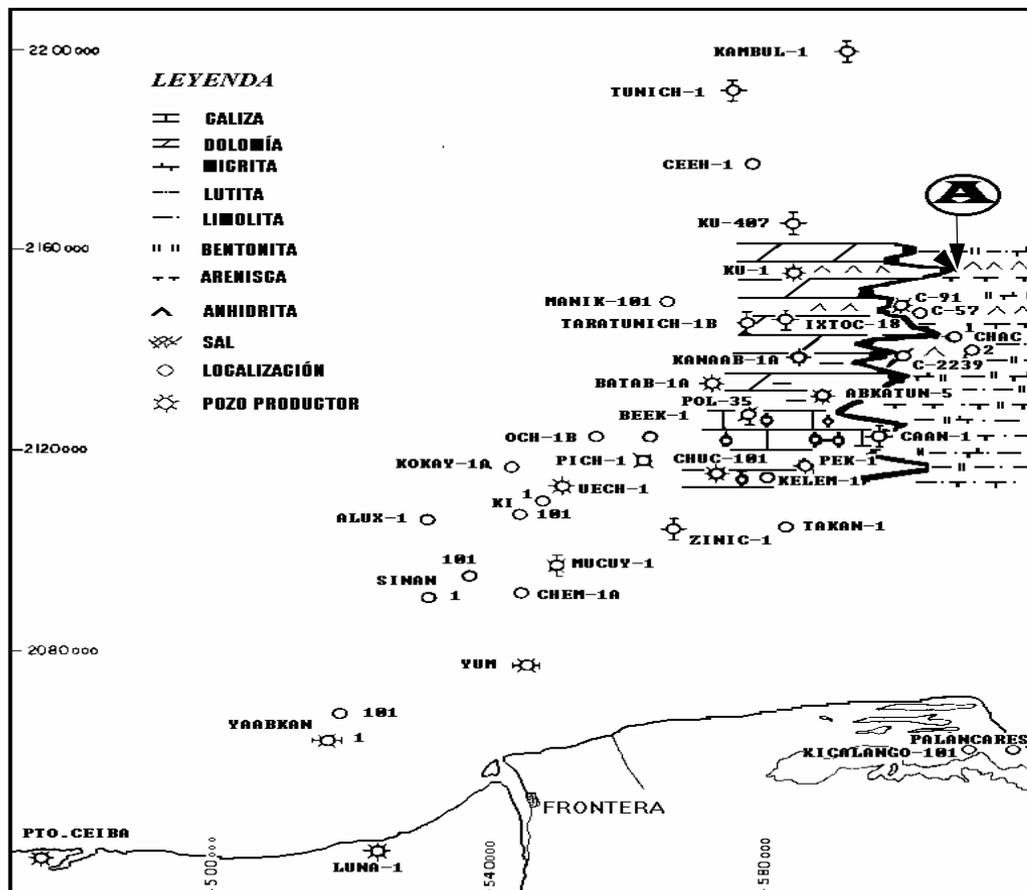


Fig. 15. Plano de distribución de litofacies de la unidad “A” del Oxfordiano en la Sonda de Campeche. Es predominantemente terrígena con influencia continental, pero tiende a hacerse carbonatada con influencia marina hacia la porción occidental.

Petrografía

El estudio petrográfico llevado a cabo en estas rocas de edad Oxfordiano, permitió definir mejor los tres cuerpos litológicos característicos que la constituyen:

El Cuerpo Inferior, localizado en la base de la columna, corresponde a un wackestone a packstone de peletoides, de color gris olivo, arcilloso y arenoso con cementante silíceo y evaporítico en mosaico. Gradúa a un mudstone bentonítico de aspecto grumoso con perturbación biógena. Como elementos accesorios presenta cuarzo autógeno en cristales euhedrales y subhedrales, anhidrita, pirita diseminada y materia orgánica. (ver fotografía de figura 9).

El Cuerpo Medio, está constituido por una alternancia rítmica de areniscas calcáreas, limolitas y lutitas bentoníticas, con microlaminaciones, perturbación mecánica, calcos de flujo y grumos, fracturas selladas, calcos de carga, bioturbaciones y rizaduras en una secuencia varvada. (Ver fotografía de figura 10).

El Cuerpo Superior está caracterizado por calizas arenosas que gradúan a areniscas calcáreas con anhidrita, en la que se observan estructuras geopetales, bioperturbaciones y microlaminaciones onduladas. Como minerales accesorios se tiene pirita, cuarzo detrítico, anhidrita y yeso.

Por lo que respecta a los cuerpos arenosos presentes en los campos Ek, Balam y Bacab, el análisis petrográfico indica la presencia de cuarzo detrítico y autógeno, con feldespatos alcalinos y plagioclasas sódicas en una matriz pelítica; por otra parte, el análisis composicional de la roca hecho en el pozo Ek-101 por especialistas del IMP, reportan la presencia de minerales tales como: Fe, Ba, S, Al, Cl, Ca, Si y K y en menor grado Cu, Zr, Sr, Ti, Rb.

La presencia de cuarzo varía en peso de 70% a 87%, los feldespatos varían de 6% a 28 %, y los accesorios van desde 0.5% hasta 6%. Considerando esto, y de acuerdo a la clasificación de Dott (1974), y modificada por Potter (1984), así como la clasificación de Pettijohn (1957), actualizada por Palacios (1992) para las rocas silicoclásticas, esta roca se clasifica como una *Arcosa*, que gradúa de acuerdo a su grado de madurez a una *waca arcósica* con matriz pelítica.

En las arenas del Campo Ek-Balam se incrementa la presencia de fragmentos líticos (tobas andesitas y esquistos); la matriz tiende a hacerse evaporítica y dolomítica; por tal razón en un estudio petrográfico realizado por el IMP en el núcleo 1 del pozo Ek-101 y mediante análisis de fluorescencia de rayos X y análisis composicionales semi cuantitativos se clasificó esta roca como una *Arcosa lítica* de granos redondeados con buen grado de selección.

Los horizontes de anhidrita presentes en los pozos Chael, Cantarell-91 y Caan-1, cambian a cuerpos potentes en los pozos Balam y Bacab-21. Estos

constituyen realmente diferentes tipos de sulfatos y sales precipitadas como producto de la evaporación intensa.

Sedimentología y Diagénesis

Tomando en consideración los criterios de Pettijohn y Potter, (1964), Keer, (1965), Dunham, (1969), Embry y Klovan, (1971) y Spalleti, (1980); basados en la descripción petrográfica se desprenden las siguientes consideraciones sedimentológicas y diagenéticas:

La presencia de peletoides así como las microlaminaciones onduladas observadas en los pozos Caan-1 (int. 5370) y Chac-1 (núcleo 16), sugieren la existencia de energía de fondo que removi6 el lodo y la materia orgánica. Esta, principalmente algácea, debió atrapar los detritos arrastrados por las corrientes locales presentes (figura 16).

Las alternancias rítmicas y coloraciones rojizas señalan que estos sedimentos estuvieron expuestos subaéreamente, depositándose en secuencias varvadas por cambios climáticos en zonas de intermareas (pozo Chac-1, núcleo 17)).

Los cuerpos de arenas bien clasificadas presentes en los campos Balam, Ek y Batab, indican la presencia de zonas de antecosta y barras arenosas cuyas fuentes de aporte debieron haber sido el Bloque de Yucatán y el Macizo Granítico de Chiapas dada la cantidad de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos que constituyen estas arenas y que son los mismos que constituyen estos dos elementos de acuerdo a los estudios que de ellos se han hecho (Bass y Zartman, 1969).

Los elementos accesorios tales como el Cu, Zr, Sr, Rb, reportados por el IMP en los campos Ek, Balam y Bacab marcan su origen bentonítico, cuyos productos se encuentran ya desvitrificados (pozo Cantarell-2239 int. 4720-4776); la presencia de Si, K, Fe, Ba, S, Al, Cl y Ca; indican la alteración subaérea de los feldespatos que forman parte de la roca madre como los observados en los pozos Yucatán-1, 2 y 4 sobre el continente en la Península de Yucatán.

Los cuerpos potentes de anhidritas representan zonas de albuferas y marismas que fueron formados por cuerpos de agua de mar atrapados tras las barras arenosas constituyendo grandes depósitos de sales, fosfatos y magnesio en zonas de supramarea como se observa en los campos Ek, Balam y Bacab.

Los cuerpos de limos y arcillas con materia orgánica y abundante piritasa son característicos de zonas de reducción debido a la poca circulación de agua, que generó ambientes anóxicos como los observados en los pozos Chac-1, Caan-1, Cantarell-2239 y Cantarell-91, propios de zonas paludales tales como estuarios y llanuras de inundación de mareas. Los tirantes de agua por lo tanto, deben de

haber sido someros, regulados por la zona de alta y baja marea, en los que la materia orgánica, la micrita y el limo dieron lugar a los rasgos actuales de estas rocas.

Bastante material detrítico fue atrapado entre la materia orgánica vegetal presente en las rocas del Oxfordiano (pozo Chae1, núcleo-16) a semejanza de lo que ocurre actualmente en los manglares, constituyendo “Baffles” que atrapan el sedimento dando lugar a las lutitas arenosas y limosas que caracterizan esta unidad como se puede ver en la fotografía de la figura 16.



Fig. 16. Contenido de materia orgánica en sedimentos del Oxfordiano y carpetas de algas carbonatadas constituyen microlaminaciones onduladas que han atrapado material detrítico entre sus espacios formando pequeños lentes. Pozo Chae-1, núcleo 16, objetivo 2.5x, luz polarizada.

Evaluación de la Unidad

Los datos proporcionados por los pozos que han cortado rocas del Oxfordiano (figura 7), indican que la máxima potencia de estos sedimentos es de 440 m, que constituye el espesor bruto de esta unidad litoestratigráfica (pozo Caan-1). Los cuerpos arenosos que constituyen la roca almacén tienen un espesor neto de aproximadamente 150m (Campo Ek-Balam), mismos que ponderados en el área de estudio da un espesor promedio de 96 m, cubre una superficie aproximada de 400 Km² .

De acuerdo con los datos aportados por la Subgerencia de Geología de Yacimientos, los estudios petrofísicos muestran porosidades que varían desde 6 hasta 11 % en carbonatos y areniscas (Núcleos 16 y 17, Chae1), y de 10 % a 25% en arenas y areniscas (pozos Cantarell-91, Bacab-21, Ek-101 y Balam-1) y en las cuales presenta acumulación comercial de hidrocarburos.

Por lo que respecta a la materia orgánica, ésta es muy abundante y alcanzó el grado de madurez necesario para la generación de hidrocarburos, de acuerdo lo observado en el análisis petrográfico; lo que ha sido confirmado por los estudios geoquímicos y palinológicos efectuados en estas rocas por el IMP en años anteriores (1988) y por los realizados recientemente por Petrobras (Guzmán-Vega y Rocha M. 1994), analizando 10 tipos de aceite de la Región Marina.

Por otro lado, los cuerpos potentes de anhídrita y sal observados en los campos Ek-Balam y Bacab, constituyen una magnífica roca sello, que aunadas a los potentes cuerpos arcillosos de los campos Chac, Cantarell y Caan constituyen excelentes reservorios en el Oxfordiano.

Es de considerar por lo tanto, que desde el punto de vista económico, esta es una roca que presenta posibilidades tanto de roca almacenadora como de roca generadora, y tiene aún amplio margen por conocerse, tanto en espesor como extensión.

VI.2) Kimeridgiano

Antecedentes

En México el Kimeridgiano está representado por la Formación La Casita en el norte del país, por las formaciones Taman y San Andrés en la porción centro oriental y al sur por las formaciones Chinameca y Todos Santos ya denominada anteriormente.

La Formación La Casita se localiza en el área de Chihuahua y Coahuila en el norte del país, en la porción central de la cuenca de Chihuahua llega a alcanzar hasta 2000 metros de espesor. Está constituida por lutitas y limolitas de color gris oscuro a negro, así como areniscas de grano medio a grueso, que predominan en su porción superior. Tiene abundantes amonitas, *Idoceras densicostatum*, *Kossmatia aff. varicostata*, *Salinites crossicostatum*, así como microfósiles de los géneros *Cadosina*, sp., *Globochaete alpina*, *Rhaxella sorbyana*, *Nannoconus bronimanni*, *Calpionella elliptica*, *Calpionella alpinay*, *Tintinopsella remanei* (Peña-García, 1987, Contreras y Montero, 1991).

La Formación Tamán se formó hacia la porción sur de la Sierra Madre Oriental, en ambientes de mar abierto. Tiene un espesor aproximado de 500 metros y está constituida por lutitas y lutitas arenosas, con delgadas capas de pedernal negro y mudstone arcilloso de color gris, gris oscuro a negro. Contiene las amonitas: *Haploceras fialar* (Oppel), *Perisphinctes ciclodorsatus* Hoesch, *Aspidoceras* sp., *Aulacomiaella lata*.

El Miembro San Andrés se depositó en la porción oriental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, en donde el pozo Colmena cortó rocas oolíticas de esta unidad. Por lo general, las mejores exposiciones del Miembro San Andrés están en la Sierra Madre Oriental (Cantú-Chapa, 1982) y en el subsuelo de Poza Rica (Cantú-Chapa, 1992) constituida por calcarenitas y calizas oolíticas propias de ambientes de alta energía que se desarrollaron en las márgenes de un sistema de archipiélagos en la Cuenca Tampico-Tuxpan.

La Formación Chinameca se localiza al Sureste de Coahuila, Veracruz, suprayace a los lechos rojos de la Formación Todos Santos. Está constituida por calizas micríticas arcillosas de aguas profundas.

La Formación Todos Santos se localiza en el sur del país en la Sierra de Chiapas y la Plataforma de Yucatán y la constituyen depósitos continentales producto de la meteorización de estos dos paleo elementos. Como ya se dijo anteriormente, es una unidad que suprayace a la sal prejurásica e infrayace al Cretácico Inferior, por lo tanto constituye en el sureste del país el Jurásico Superior y por ende incluye entre otros pisos a el Kimeridgiano.

VI.2.1) *Formación Akimpech*

Definición, Litología y Espesores

En este trabajo se sugiere incluir los miembros “B, C, D y E,” en la “Formación Akimpech” que aquí se propone, ya que reúne todas las características necesarias para que sea considerada como tal, según los artículos 7, 9 y 10 del Código Estratigráfico Norteamericano. Dada la importancia que ha adquirido esta formación como unidad litoestratigráfica porque permite delinearla y cartografiarla en planos geológicos y líneas sismológicas para su mejor aprovechamiento económico y geológico.

Se escogió el nombre de "AKIMPECH", porque el Código de Nomenclatura Estratigráfica, en su artículo 7 sugiere utilizar un nombre geográfico de rasgos permanentes cerca de los cuales se encuentra la unidad. AKIMPECH, que equivale a CAMPECHE en maya, y es el estado y la ciudad más importante en la localidad; además, se trata también de respetar los nombres mayas manejados en toda la región e incluso en las perforaciones exploratorias.

En la Región Marina los pozos estudiados que han llegado al nivel estratigráfico de la Formación Akimpech son 50, de los cuales 18 lo han atravesado (ver figura 7). Los espesores penetrados son muy variables, varían desde 63 metros (pozo Mucuy-1) hasta 1272 metros (pozo Ku-407), para fines prácticos se le considera un valor promedio de 454 metros. Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en toda el área y lo constituye una secuencia cíclica de carbonatos y terrígenos, los cuales para su estudio han sido denominados miembros "B, C, D y E".

A continuación se describe esta formación desglosándola en cada uno de sus miembros.

MIEMBRO TERRÍGENO "B"

Definición, Litología y Espesores

El miembro terrígeno “B”, ha sido alcanzado por 22 de los pozos estudiados en este trabajo en la Región Marina, de los cuales 18 han atravesado dicho miembro. Tiene espesores que varían desde 75 metros (pozo Cantarell-2239), hasta 408 metros (Pozo Zinic-1). Su distribución conocida se encuentra en la porción occidental y es predominantemente terrígena.

Esta unidad la constituyen principalmente limolitas y lutitas arenosas bentoníticas, con esporádicas intercalaciones delgadas de areniscas y micro dolomías bentoníticas con anhidrita, que en su origen fueron packstone de ooides y peletoides, de acuerdo al estudio petrográfico realizado en varios pozos. Este tipo de material tiende a cambiar lateralmente hacia la porción occidental a carbonatos como se ilustra en la figura 17, aunque falta información para poder confirmar dicha tendencia.

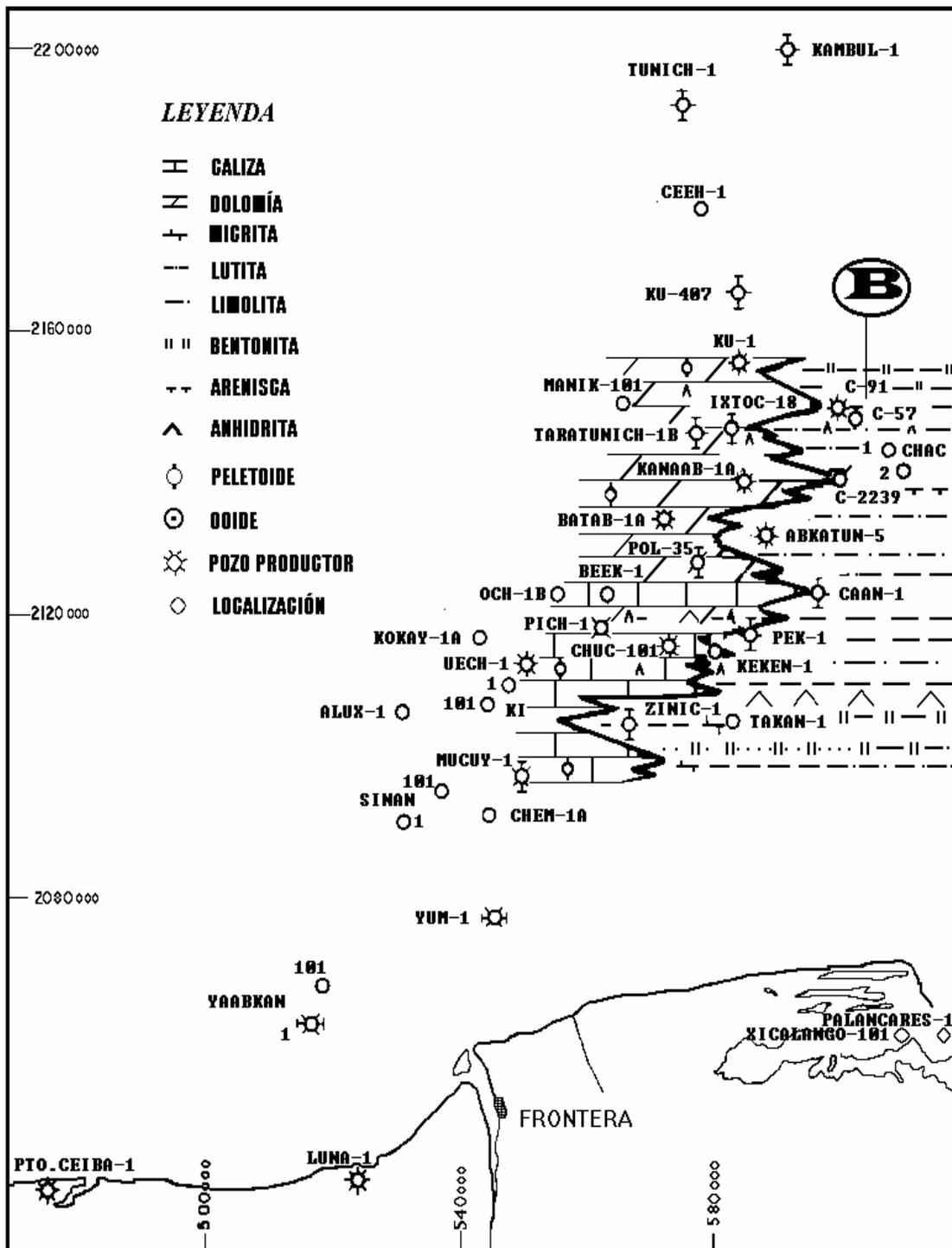


Fig. 17. Plano de distribución de litofacies del miembro "B" situado en la porción oriental del área. Lo constituyen principalmente terrígenos finos que tienden a cambiar hacia el occidente de la Sonda de Campeche a carbonatos.

Edad

En el núcleo 14 del pozo Chael se encontraron algas dacycladáceas asociadas con algunos dinoflagelados, así mismo, CantúChapa (1977) reportó amonitas de las especies *Nebrodités* y *Taramelliceras* en estos depósitos que los sitúan en el Kimeridgiano Inferior, mismos que por correlación estratigráfica son llevados a otras latitudes.

Relaciones estratigráficas

Suprayace en forma aparentemente concordante con la unidad litoestratigráfica "A" del Oxfordiano y subyace al miembro calcáreo "C" de la Formación Akimpech. Se encuentra distribuida principalmente en la porción oriental del área de estudio, aunque de acuerdo a la información de los pozos aledaños (Chuc, Zinic y Kokay), tiende a extenderse hacia el occidente.

Petrografía

El estudio petrográfico realizado a estas rocas indica que son principalmente limolitas y lutitas arenosas bentoníticas, con esporádicas intercalaciones delgadas de areniscas y micro dolomías bentoníticas con anhidrita, que en su origen fueron packstone de ooides y pelletóides, de acuerdo a lo observado con el difusor de roca.

Como rasgos principales se observan microlaminaciones paralelas, onduladas, estructuras de flujo y perturbación mecánica (pozos CantareH91, 2239, Chac-1, Chuc-101 y Zinic-1). Es común la presencia de materia orgánica así como algunos bioclastos y oolitas con cubierta algácea (pozo Chael y Kokay-1A); a excepción del pozo Caan-1, donde estos depósitos presentan una tonalidad rojiza indicando zonas de exposición subaérea.

Sedimentología y Diagénesis

Por lo anteriormente expuesto se puede considerar, que los depósitos se llevaron a cabo en un ambiente restringido, en una zona de intermarea, donde su exposición era esporádica y la acumulación de materia orgánica constante, misma que se degradaba y se mezclaba con el material detrítico.

Evaluación de la Unidad

Las porosidades observadas en este miembro son relativamente bajas, sin embargo el contenido de materia orgánica es alto. Considerando su espesor promedio (192 m), su distribución en el área, así como su grado de sepultamiento, se puede considerar, que el miembro "B" es eminentemente generador.

MIEMBRO CALCÁREO "C"

Definición, Litología y Espesores

Ha sido tocado por 24 de los pozos estudiados en este trabajo en la Región Marina, de los cuales 22 lo han atravesado. Su espesor varía desde 37m (pozo Cantarell-57) hasta 267m (pozo Zinic-1). Se encuentra distribuido en la porción central de la Sonda de Campeche.

Al miembro calcáreo "C", lo constituyen primordialmente sedimentos carbonatados, representados por dolomías micro a mesocristalinas, packstone de pelletoides con dolomitización incipiente e intercalaciones aisladas de limolitas y lutitas limosas y arenosas de color gris olivo (pozos: Taratunich 201, Caan-1, Cantarell-91, 2239, Batab-1A, Zinic-1 y Kokay-1A).

Edad

La presencia de *Rhaxella sorbyana* en el pozo Kokay 1A int. 5290, sitúan a la unidad portadora de la misma en el piso Kimeridgiano (Landeros-Flores 1987), sin embargo, es su posición estratigráfica lo que en realidad define la edad de este miembro, dado que estos depósitos suprayacen concordantemente al miembro "B" datado por Cantú-Chapa con la presencia de *Nebrodités* y *Taramelliceras*. Ornelas-Sánchez et al. (1993) la incluye dentro de la biozona de *Pseudocyclammina lituus* y *Acicularia elongata elongata*, en la biozonificación realizada en el Jurásico Superior para los pozos del área marina.

Relaciones Estratigráficas

El miembro calcáreo "C", suprayace concordantemente al miembro terrígeno "B" y subyace en igual forma al miembro algáceo "D" de la formación que se postula. Ese miembro se encuentra distribuido en la porción central y oriental de la Sonda de Campeche y tiende a hacerse terrígena hacia el oriente donde se infiere sufre un cambio de facies, sin embargo, no existe la información suficiente para confirmar dicha tendencia. La figura 18 muestra en forma esquemática la distribución del miembro calcáreo "C" así como su probable tendencia a hacerse terrígena hacia el oriente de la Sonda de Campeche.

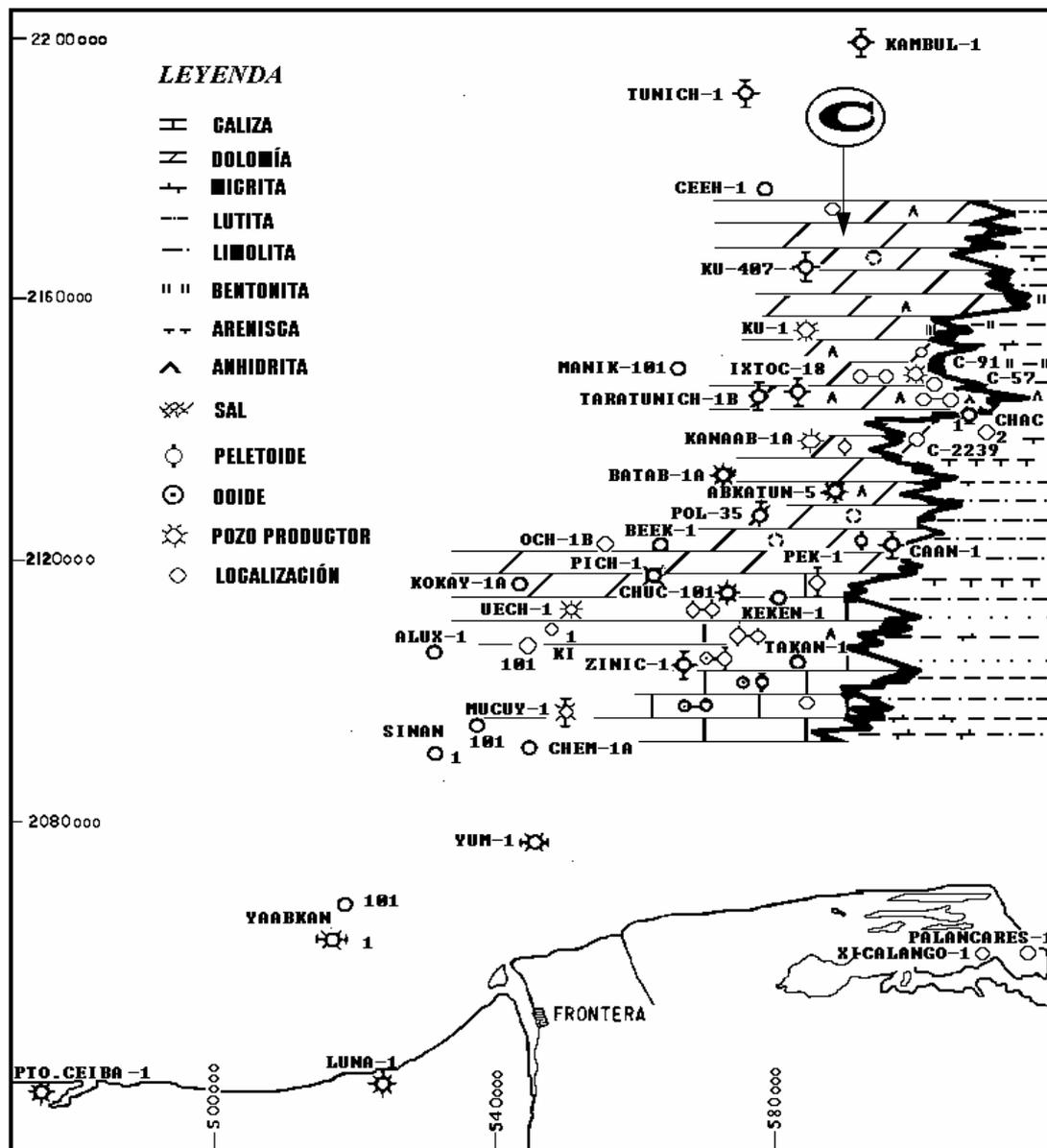


Fig. 18. Plano de distribución de litofacies del miembro "C" del Kimeridgiano situada en la porción occidental del área. Esta unidad es predominantemente carbonatada, pero tiende a hacerse terrígena hacia el oriente de la Sonda de Campeche.

Petrografía

El análisis petrográfico realizado a las rocas de esta unidad (figura 7), las presenta como dolomías micro a mesocristalinas, con fantasmas de ooides y pelletoides y packstone de pelletoides con matriz espática y dolomitización incipiente, presenta intercalaciones aisladas de limolitas y lutitas limosas y arenosas de color gris olivo (pozos Batab1A int4839, Zinic-1 int.5325, Kokay-

1A int.5117, Xicalango-1 int.5132, Caan-1 int.4733, Cantarell-57 int. 2655, Cantarell-91 int. 2638, Cantarell-2239 int. 4550, Chac-1 int.4370 y Chuc-101 int. 4208). Como estructuras sedimentarias se observan microlaminaciones onduladas, líneas estilolíticas, nódulos, microlentes, espectros de granos y fracturas selladas por calcita. La fotografía de la figura 19 presenta una lámina delgada representativa de esta unidad.

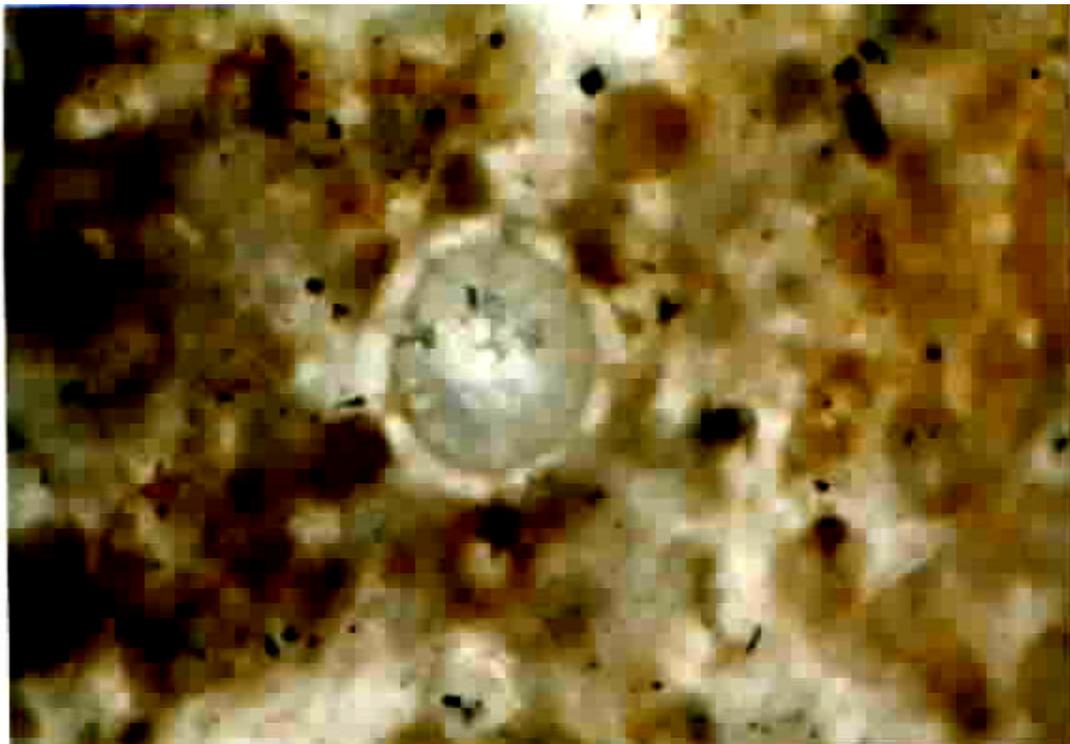


Fig. 19. Packstone de peletoides, al centro se observa un grano indeterminado que podría ser una oolita superficial. Pozo Zinic-1, int-5575. Objetivo 2.5x. Luz polarizada.

Sedimentología y Diagénesis

Tomando como antecedente los datos anteriores, el autor del presente trabajo puede inferir que el depósito se llevó a cabo en un ambiente marino no restringido, en una zona de submarea e intermarea donde existió la energía suficiente para la acumulación de carbonatos; energía que fue propiciada posiblemente por las mismas corrientes de marea. De igual manera se deduce que se encontraba la zona de refluo, la que permitió que existiera una

dolomitización temprana de estos sedimentos, además de la tardía que los caracteriza.

Evaluación de la Unidad

El espesor bruto del miembro calcáreo "C" tiene un promedio de 140 m. Su distribución conocida abarca una superficie aproximada de 2000 Km² que incluye el área Kokay, donde se comprobó la continuidad de este miembro. La porosidad observada en el material objeto de este estudio es por lo general secundaria principalmente intercrystalina; aunque también existe primaria de tipo móldica y fenestral, con valores óptimos estimados de 5% a 10%, como se aprecia en la fotografía de la figura 20.



Fig. 20. Microfotografía de una muestra en la que se observa porosidad intercrystalina, en su origen móldica intergranular. Se puede apreciar alrededor de la cavidad el fantasma que originalmente constituyó el grano. Representa el miembro calcáreo "C" Pozo Kokay1A, intervalo 4830, objetivo 10x.

La manifestación de hidrocarburos es de aceite pesado, como en los casos de los pozos Cantarell-91 y Taratunich 201 que resultaron productores en este horizonte. El miembro "C" es por lo tanto un horizonte más a explotar dentro

de la secuencia estratigráfica en el Jurásico Superior. Por su litología, porosidad y permeabilidad constituye una excelente roca almacenadora.
MIEMBRO ALGÁCEO "D"

Definición, Litología y Espesores

Esta unidad ha sido reconocida por 21 pozos estudiados en este trabajo, de los cuales 14 la han atravesado. Tiene un espesor que varía desde 23 m (pozo Uech-21) hasta 387 m (pozo Tunich-1). Es más conocida en la porción oriental del área, dado que en la porción occidental fue alcanzada posteriormente por los pozos Kokay-1A, Uech-21, Chem-1A, Taratunich-201 y Ayin-1. El plano de isopacas de la figura 21 presenta estos resultados en forma más objetiva, los mayores espesores se observan en la porción oriental en el área Kanaab-Ku, sitio donde existe más control de pozos que perforaron este miembro.

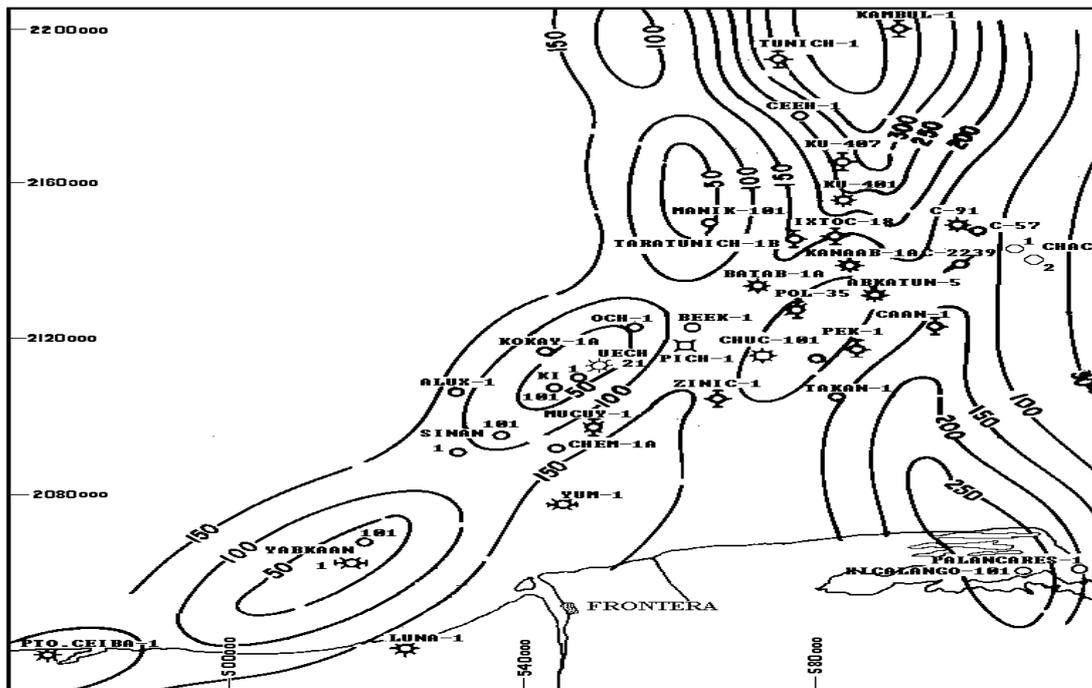


Fig. 21. Plano de isopacas del miembro algáceo "D" del Kimeridgiano. Los espesores más confiables están en la porción oriental, donde ha sido cortada por más pozos.

Al miembro algáceo "D" lo constituyen principalmente terrígenos arcillosos, con algunas intercalaciones de carbonatos. Los terrígenos son limolitas y lutitas arenosas con abundante materia orgánica, principalmente de tipo algáceo (Pozo Kokay-1A). También se observan unas zonas en donde estos sedimentos son

rojizos, sobre todo en la región oriental donde ya hay influencia continental (pozos Ayin-1 y Caan-1).

Edad

Al igual que la unidad anterior la presencia de *Rhaxella sorbyana* encontrada en el pozo Kokay-1A (fig 22), la sitúa en el piso Kimeridgiano (Landeros Flores 1987), sin embargo, su situación en la columna estratigráfica se establece por posición y correlación estratigráfica, dado que suprayace concordantemente a la unidad "C" ya anteriormente definida. Ornelas Sánchez et al (1993), incluye al miembro "D" en la biozona de *Pseudocyclamina lituus* y *Acicularia elongata elongata*, el cual es eminentemente algácea.

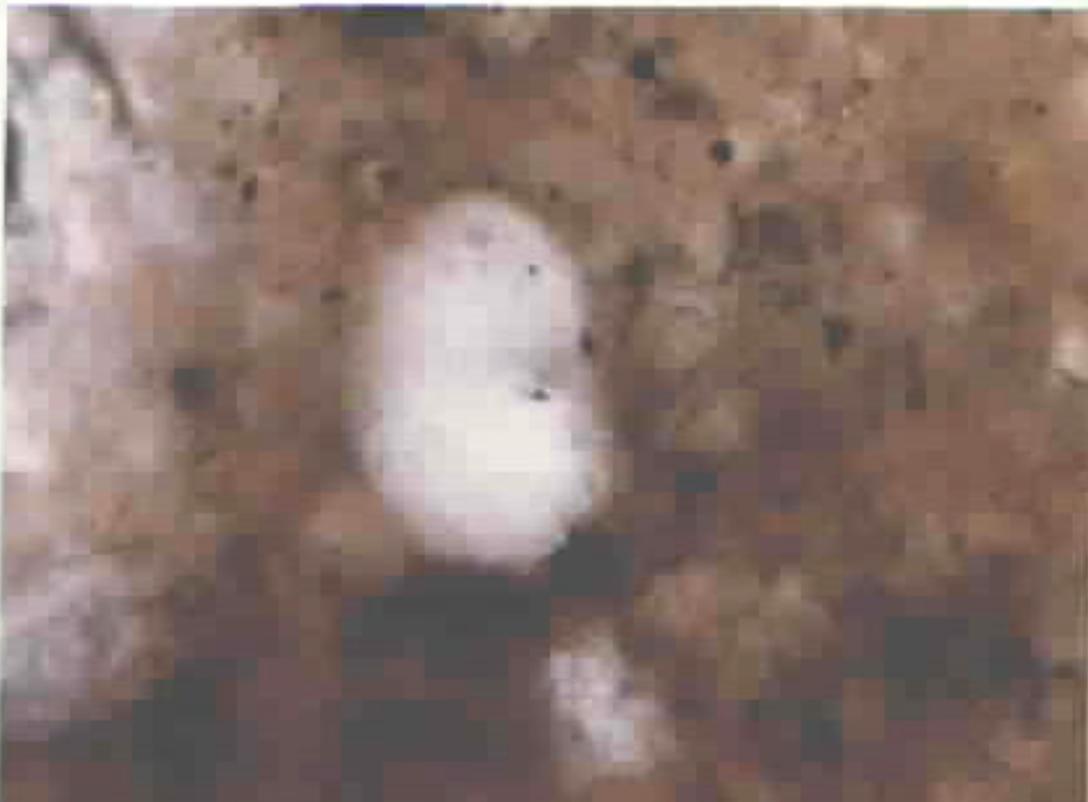


Fig. 22. Mudstone bentonítico que exhibe una *Rhaxella sorbyana* fósil índice del Kimeridgiano en la Región Marina. Pozo Kokay-1A. int. 5290, objetivo 10x.

Relaciones Estratigráficas

El miembro "D" se encuentra confinado entre los miembros "C" y "E" del Kimeridgiano, ambos (C y E), son de tipo carbonatado, a los cuales suprayace y subyace respectivamente. Lateralmente se adelgaza hacia el occidente y los

horizontes carbonatados se pierden o se integran a las unidades confinantes como se puede ver en la sección de correlación estratigráfica de la figura 23

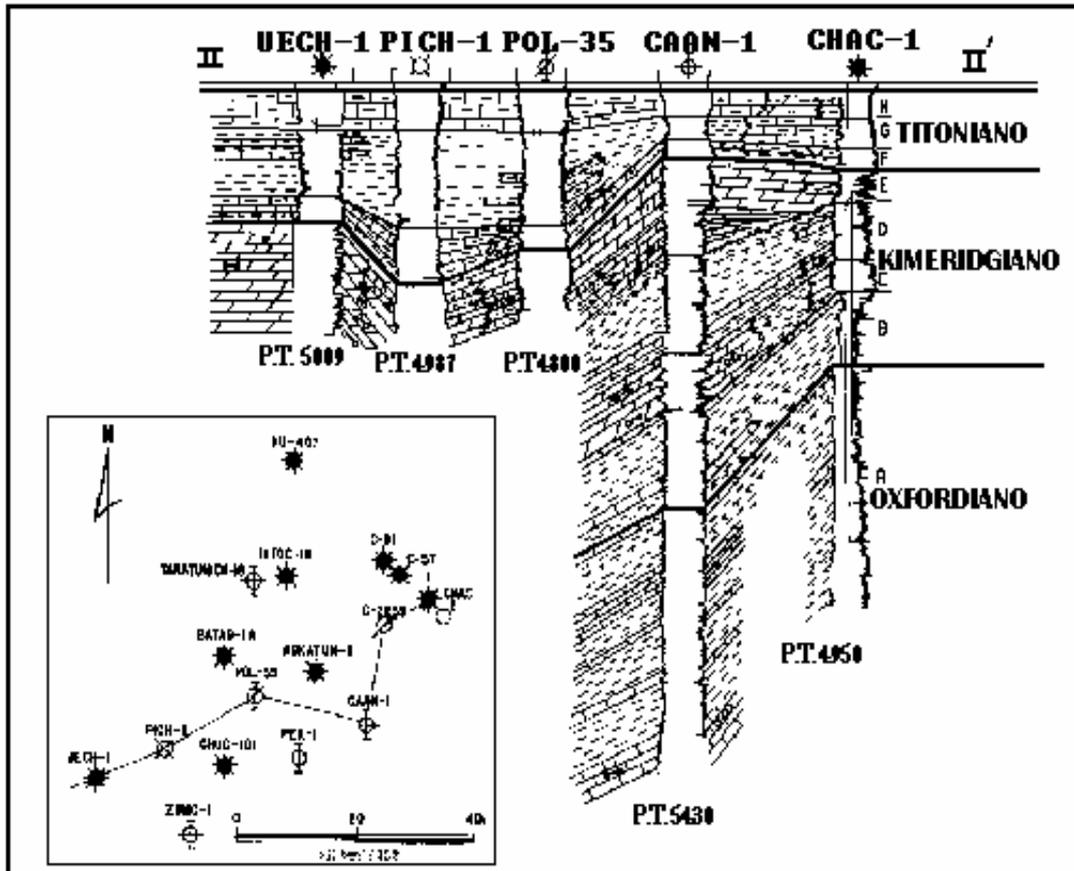


Fig. 23 Sección de correlación estratigráfica, que corta la Sonda en forma transversal. Muestra las ocho litofacias con sus probables contactos litológicos y sus horizontes de correlación. (ver simbología en la fig. 13).

Petrografía

El estudio petrográfico indica que a este miembro lo constituyen principalmente terrígenos arcillosos, con algunas intercalaciones de carbonatos. Los terrígenos son limolitas y lutitas arenosas con abundante materia orgánica. Los carbonatos son dolomías microcristalinas y calizas grumosas recristalizadas con pelletoides. En los pozos Kokay1A, Uech-21 y Chem-1A se observan estructuras estromatolíticas, micro laminación ondulada y porosidad fenestral. Como accesorio contiene cuarzo detrítico

A pesar de que en algunas porciones del área (Pozo Kokay1A), se tienen lutitas algáceas completamente, también se encontraron unas zonas expuestas en donde estos sedimentos son rojizos, sobre todo en la región oriental donde

ya hay influencia continental (pozos Ayin-1 y Caan-1) propiciando la oxidación de la materia orgánica en esta porción y la precipitación de sulfatos propios de zonas de supramarea como se puede ver en la fotografía de la figura 24.



Fig. 24. Muestras de núcleo del pozo Akal-3, donde se observan limos rojos y anhidritas nodulares propios de un ambiente de supramarea con influencia continental. Pozo Akal3, Núcleo 7.

Sedimentología y Diagénesis

La presencia de algas estromatolíticas, encontradas en el pozo KokaylA int-5043-5112, indican tirantes de agua muy bajos, dado que por naturaleza propia estos organismos debieron estar fijos al sustrato, atrapando el sedimento entre el material mucilaginoso como se observa en la microfotografía de la figura 25.



Fig. 25. Microfotografía de una estructura interna de material algáceo estromatolítico; véase el material detrítico atrapado entre el material mucilaginoso de las algas. Miembro “D” del Kimeridgiano. Pozo Kokay 1A int.5030, objetivo 25X.

La asociación de los organismos algáceos con el material detrítico formó estructuras estromatolíticas, fenestrales y micro laminares que sugieren entre otras cosas, que las corrientes fluviales y marinas acarrearon los detritus y estos fueron atrapados por los desarrollos orgánicos principalmente de tipo algáceo a manera de “Baffles” ó “Bindstones” (Embry y Clovan, 1971) que formaban algas coloniales (Viñas-Gómez, comunicación personal), distribuidos en toda la zona litoral.

La presencia de limos rojos y anhidritas hacia la porción oriental pertenecientes al miembro “D” (Pozos Akał3, núcleo-7 y Pich-1, núcleo 6), indican altas evaporaciones y áreas expuestas con tirantes de agua muy someros; con un ambiente marino restringido en una zona litoral. En esta zona, los depósitos arcillosos y limosos predominaron sobre la producción de carbonatos de origen mecánico, debido a la poca energía hidráulica que permitió que en este caso, la producción de terrígenos predominara sobre los carbonatos y dieron una

distribución predominantemente terrígena y que tendería a hacerse carbonatada hacia el occidente como se puede observar en la figura 26.

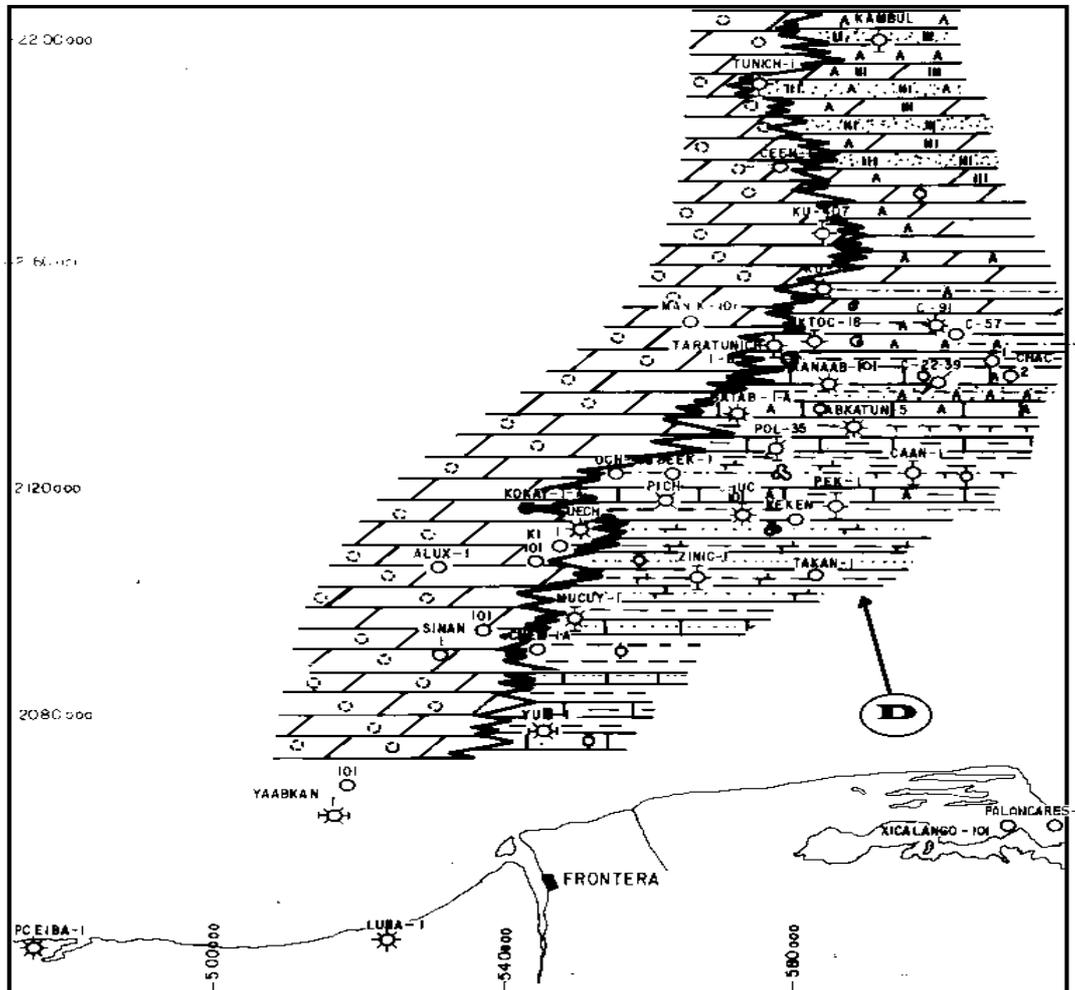


fig . 26 Distribución de litofacies del miembro "D", situado a la derecha del plano. Es eminentemente algácea terrígena con tendencia a hacerse carbonatada hacia el occidente de la Sonda de campeche como se ilustra en el plano.

Evaluación de la Unidad

El espesor promedio del miembro algácea "D" es de 118 metros, y su distribución conocida en el área es de aproximadamente 2800 km². Las porosidades observadas son primarias de tipo fenestral con valores hasta de 5%. Potentes intervalos de material algácea fueron cortados por el pozo Kokay-1A del cual no se tiene duda en cuanto a su origen; sin embargo, es conveniente definir en que fases de generación se encuentra la materia

Las principales rocas que lo constituyen son dolomías mesocrystalinas, las que originalmente fueron wackestone y packstone de oolitas. Cuando a estas rocas no las ha afectado la dolomitización forman bancos en donde abundan los clastos principalmente de oolitas como ocurre en los pozos Kil01, Och-1B y Zinic-1, en donde abundan los clastos principalmente de oolitas, como el que se representa en la fotografía de la figura 28.

Edad

Debido a que en este miembro no se han encontrado fósiles índices, y considerando la posición que guarda con respecto al miembro subyacente "D", y al suprayacente miembro "F", del Titoniano, su situación en la columna estratigráfica se da por posición estratigráfica y correlación con pozos vecinos en las que las unidades encajonantes "F y D" están bien datadas. Ornelas Sánchez et al (1993) sitúa este miembro en la biozona de *Pseudocyclamina lituus* y *Acicularia elongata elongata*, perteneciente al Kimeridgiano y reporta su presencia en los pozos Balam-1, Caan-1, Cantarell-91, Chac-1, Chem-1A, Oktan-1A, Peck-1, Pich-1 y Tunich-1.

Relaciones Estratigráficas

El miembro "E", suprayace al "D" y subyace al "F", este último es del Titoniano. El límite superior se establece en forma aparentemente concordante con las rocas calcáreo arcillosas del Titoniano; características semejantes se observan en la base de este miembro con las rocas del subyacente miembro "D". Tiene una extensión amplia dentro del área y cubre toda la zona de este trabajo, su mejor definición se observa en la porción occidental, donde forma parte del conjunto de barras oolíticas (pozos Och1B, Uech-21, Ki-101, Mucuy-1). Hacia el oriente se encuentra más adelgazada y forma parte de posibles barras interiores y de la zona de laguna; donde se presenta más impura, con influencia terrígena y abundante micrita (pozos Ziniel, Pich-1 y Chuc-101).

Petrografía

El miembro "E" está constituido por carbonatos representados por dolomías mesocrystalinas (pozo Uech-1) y microcrystalinas (pozo Chac-1). De acuerdo a los estudios diagenéticos efectuados por el que suscribe, se infiere que en su origen estas rocas fueron packstones, grainstones de ooides y pelletoides y mudstones a wackestones de pelletoides, algunas veces dolomíticas. En efecto, el análisis realizado mediante difusores permitió ver las sombras de los granos que constituían la roca original, facilitando su clasificación de acuerdo a su

textura de depósito, como se pudo ver en los núcleos 3 del pozo Ixtoc 8, 10 del pozo Tunich-1, 2 del pozo Ku-407, así como los intervalos 5650 del pozo Mucuy-1 y 4790 del Caan-1 entre otros. Este material presenta porosidad intercrystalina y móldica, con impregnación de aceite ligero (pozos Chud01, Ixtoc-18, Och-1B, Uech-1). En él abundan los granos principalmente bioclastos y oolitas. En la figura 28, se observa un fragmento de oolita con su núcleo y anillos de crecimiento que dan idea de la energía intermitente que por lo general predominó en esta unidad. La muestra es una esquirla que procede del pozo Zinic-1 en el intervalo 5645.



Fig. 28. Fragmento de oolita bien definida, obsérvense los anillos concéntricos y su núcleo constituido por sílice que nos habla de zonas de alta energía en un ambiente litoral. Pozo Zinic-1 int. 5645. Objetivo 10x, int. Luz polarizada.

En el miembro “E” se observaron pisolitas, granos compuestos por cubierta algácea, e incluso oolitas superficiales, granos microestilolitizados y deformados (pozo Zinic-1). La presencia de granos deformados y estilolitizados en este miembro, indica que hubo compactación y disolución

posterior a la litificación como se puede apreciar en la fotografía de la figura 29.

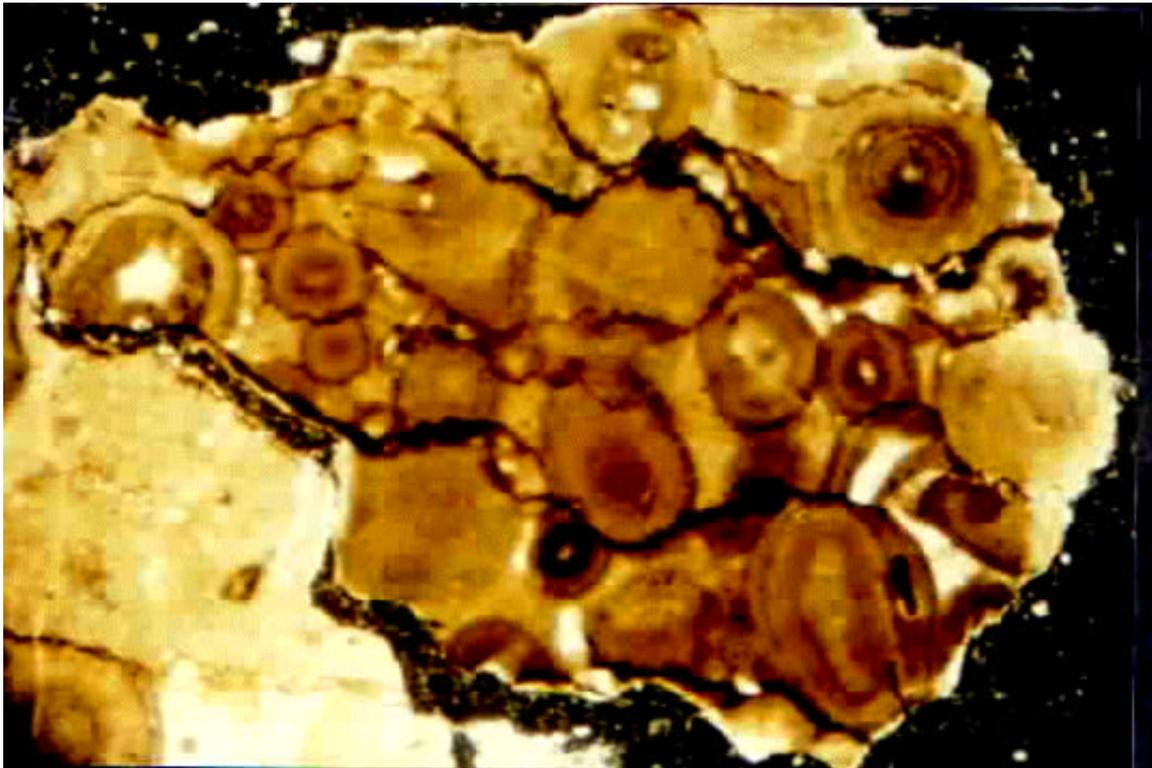


Fig. 29. Packstone de oolitas donde se observan microestilolitas que prácticamente han devorado los granos como muestra de una intensa compactación y disolución. Ambiente litoral. Pozo Zinic. Intervalo 5645. Objetivo 2.5x. Luz polarizada.

La matriz de las rocas que integran este miembro son por lo general en mosaico (pozos Caan-1, int. 4775, Zinic-1, int.-5325, Ixtoc-18, núcleo-3, Batab-1A, int.-4900, Uech-1, int.4840, Kambu-1, núcleo-2, etc.), encontrándose en él también fenocristales de dolomita en matriz micrítica (pozo Mucuy-1, int. 5610). Tomando en cuenta los conceptos básicos de sedimentología se considera que la presencia de fenocristales de dolomita en lodo calcáreo, manifiesta que hubo dolomitización sin sedimentaria, mientras que la dolomitización en mosaico remplazando granos indica que hubo dolomitización tardía (pozos Cantarell-91, int.-2695, Chac-1-núcleo-11, Chac-2 núcleo-15, Batab-1A int. 4680, Chuc-101 int. 4108, Tunich-1 núcleo-10, Ku -407 núcleo 2, Zinic-1 int-5150, Caan-1 int. 4790etc.), De cualquier manera, los datos petrográficos nos indican que fue una dolomitización muy intensa como se

puede apreciar en la fotografía de la figura 30 procedente del núcleo 11 del pozo Chac-1 es una dolomía microcristalina, en la que se observa un oolide con porosidad móldica intra granular con impregnación de acite pesado.

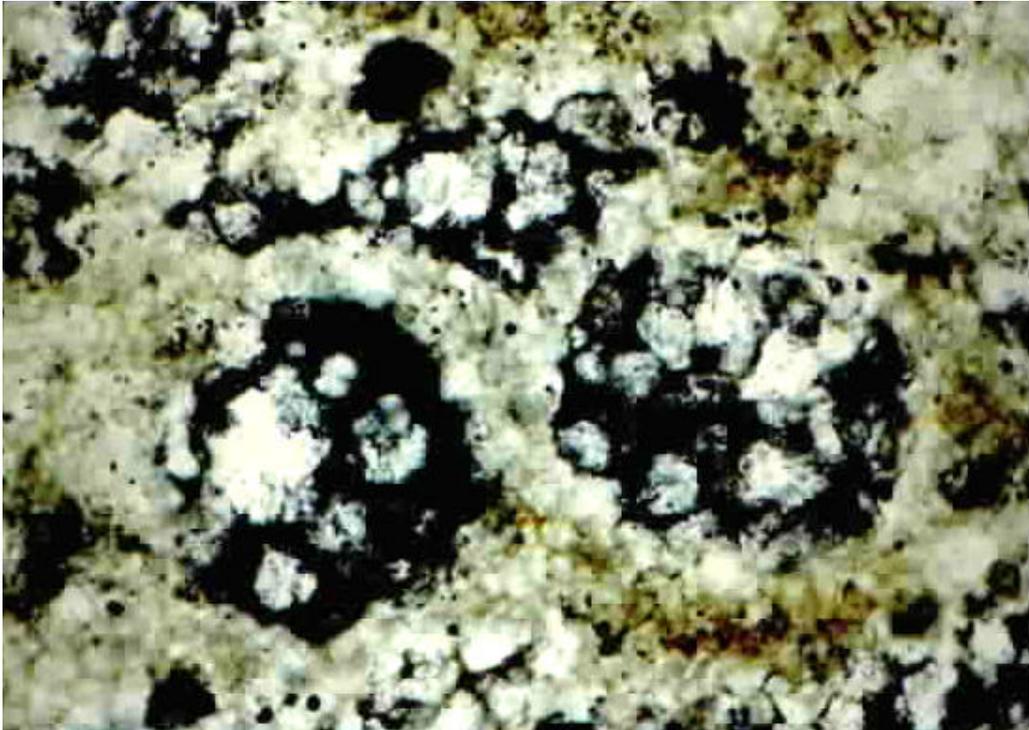


Fig. 30. Caliza dolomitizada microcristalina, con porosidad intercristalina; en su origen packstone de ooides. Obsérvense los fantasmas de granos con porosidad móldica intergranular, que han sido remplazados por cristales de dolomita pozo Chac 1, núcleo 11, ocular 12.5x objetivo 10x.

Sedimentología y Diagénesis

De acuerdo a lo anterior se deduce que las rocas del miembro oolítico “E” se formaron en zonas muy someras en un ambiente marino restringido, pero con alta energía; dando lugar a la formación de los bancos oolíticos que restringieron la circulación de aguas y permitieron la evaporación y reflujos de las soluciones cargadas de magnesio.

Estas condiciones de energía permiten postular en la Sonda de Campeche la existencia de cuatro zonas de depósito que constituyen el miembro “E” eminentemente carbonatado, pero que debido a esos cambios de energía que prevalecieron durante el Kimeridgiano Superior generaron diferentes zonas de depósito, con mayor contenido de granos (zona de barra) ó menor contenido de ellos (zona de laguna y prebarra) y que fueron migrando con la transgresión, tendiendo a acuñarse hacia el continente con influencia terrígena como se ve en el plano de litofacies de la figura 31 y cuyas facies a continuación se describen:

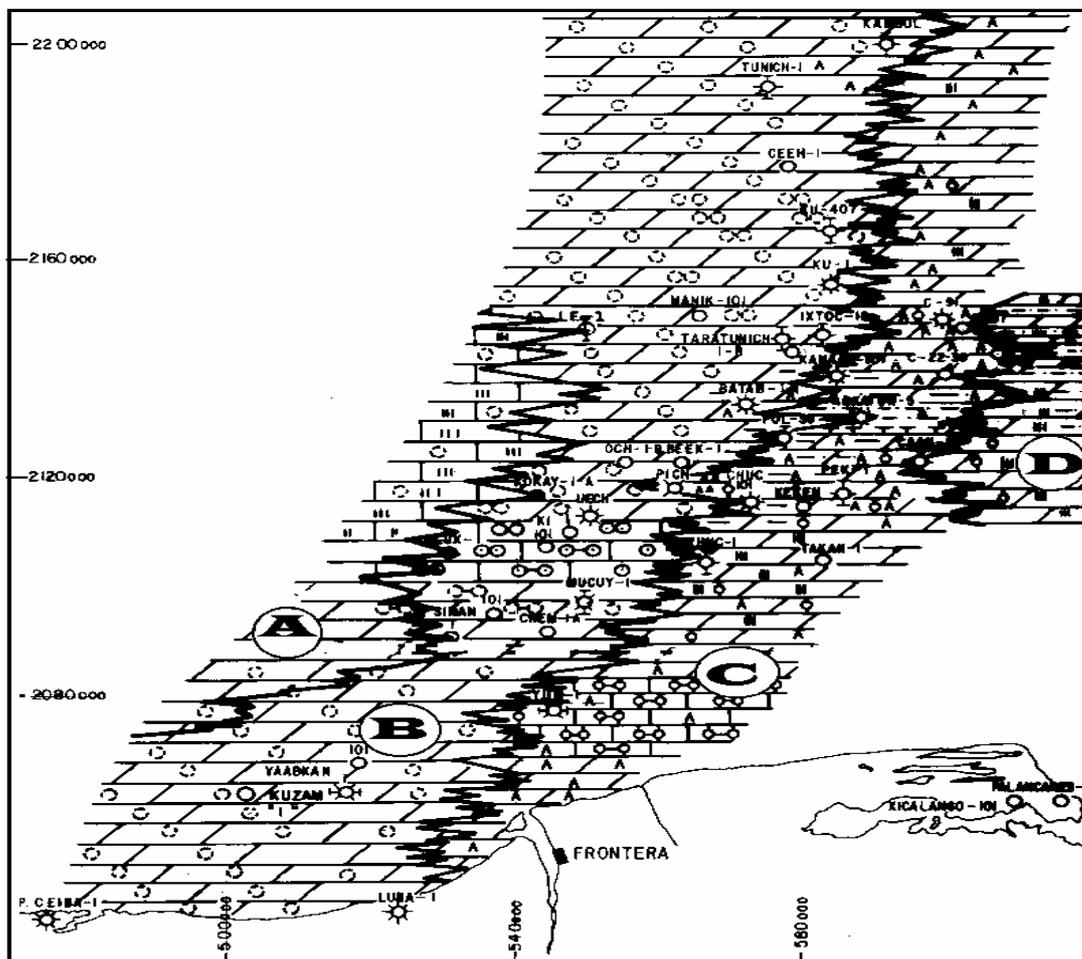


Fig. 31. Plano de distribución de litofacies del Kimmeridgiano Superior, donde se observan los diferentes litosomos que constituyen el Miembro "E". A) Facies Carbonatada micrítica-bentonítica, B) Facies Carbonatada oolítica, C) Facies Carbonatada-evaporítica, D) Facies Carbonatada terrígena.

A) *Facies Carbonatada micrítica bentonítica*. Se localiza en la porción occidental de la Sonda de Campeche, La constituyen carbonatos representados principalmente por lodos calcáeos bentoníticos con escasos ooides y pelletoides (pozos: Kokay-1A, Ayin-1, Dzunum-1). Por su litología se infiere que el depósito de sus sedimentos se llevó a cabo en una zona anterior a la barra ó prebarra, en una zona de mediana energía en la que se depositaron los carbonatos arcillosos, bentoníticos con la inclusión de oolitas provenientes de la zona principal de barra.

B) *Facies Carbonatada oolítica*. Se localiza en la porción centro occidental de la Sonda de Campeche. La constituyen carbonatos integraos principalmente por granos bioclastos y oolitas, forman parte de la denominada barra oolítica. Como resultado del análisis de los estudios de los pozos Uech1, Uech-21,

Mucuy-1, Och-1B y Ki-101, se deduce que el depósito de estos sedimentos se llevó a cabo en un ambiente de plataforma interna, en la que se desarrolló una barra de barrera oolítica en las zonas de mayor energía. Dicha barra tuvo una orientación NNE-SSW y queda orientada en la porción occidental del prospecto como se puede apreciar en la figura 31.

C) *Facies Carbonatada evaporítica*. Se localiza en la porción centro oriental de la Sonda de Campeche. La constituyen carbonatos representados por mudstones a wackestones y ocasionalmente packstones de pelets, asociados con oolitas, evaporitas y terrígenos según se ve en los pozos Zinie1, Chuc-101, Pich-1, Pek-1 y Abkatún-5. Esta litología indica que su depósito se realizó en una zona de submareas con una energía baja, que permitió la precipitación de lodos calcáreos y evaporitas, por lo general constituyen grumos.

D) *Facies Carbonatada terrígena*. Se localiza en la porción occidental de la Sonda de Campeche. La constituyen carbonatos con influencia terrígena (limos, arenas finas y anhidritas), según se aprecia en los pozos Caan1, Cantarell-57, Chac-1, Chac-2 y en el campo Ek-Balam. Estos depósitos son propios de la zona de supramarea con baja energía. Hacia esta porción este miembro tiende a cambiar debido a la casi nula energía marina y al aumento de la influencia continental.

Evaluación de la unidad

Este miembro tiene un espesor muy irregular, se le ha podido medir un espesor promedio de 140 metros y su distribución en el área cubre toda la zona de estudio (? 4000 km²). Las mejores porosidades y texturas se tienen hacia la porción occidental y coinciden con la franja oolítica. Este carácter tiende a cambiar hacia la parte oriental de esta unidad, donde existe más influencia continental y terrígena.

Como resultado de la dolomitización se mejoró la porosidad y aumentó la permeabilidad, lo que condujo a mejorar las posibilidades receptoras de este miembro, al permitir generar las condiciones necesarias para tener una gran acumulación de hidrocarburos en este nivel estratigráfico, dando lugar a excelentes yacimientos tales como los campos: Uech, Och y Batab en la porción occidental, así como en el campo Cantarell en la porción oriental, lo que hace al miembro "E", el de mayor interés económico petrolero en la Sonda de Campeche a nivel Jurásico.

VI.3) Titoniano

Antecedentes

El Titoniano está representado en México de la siguiente manera (fig. 6):

En el norte del país (Cuenca de Burgos, Cuenca de Sabinas, Cuenca Tampico Misantla y Sierra Madre Oriental), por las formaciones La Casita y Pimienta.

En la porción centro oriental (Cuenca de Veracruz), por la Formación Tepexilotla.

En el sur y sureste del país (Cuenca Salina del Istmo, Sierra de Chiapas y Plataforma de Yucatán), por las formaciones Chinameca y Todos Santos.

a) La Formación La Casita ya fue descrita con anterioridad, lo único que habría que agregar es que los sedimentos depositados durante el Titoniano forman parte de esa formación la cual está constituida por una alternancia de areniscas y lutitas. En la Cuenca de Chihuahua se le observa como un mudstone arcilloso de color gris oscuro, con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino y lutitas de color gris oscuro a negro. Contiene amonitas como: *Kossmatia sp.*, *Virgastosphintes sp.* y microfósiles como: *Calpionella elliptica*, *Calpionella alpina*, *Cadosina sp.*, *Saccocoma sp.*, *Rhaxella sp.* y *Geodites sp.*

b) La Formación Pimienta, aflora en la Sierra Madre Oriental, en la porción centro oriental en la Cuenca de Veracruz. Se ubica exclusivamente en el Titoniano y está compuesta por mudstone arcilloso y lutitas de color negro, con capas delgadas de pedernal negro y cuyo espesor es de ? 200 metros. Su contenido faunístico consiste en los microfósiles *Calpionella alpina*, *Calpionella elliptica* y la macro fauna *Paradontoceras sp.*, *Himalayites sp.*, *Rhynchonella lacunosa*, *Salinites inflatum (Imlay)* y *Durangites sp.*

c) La Formación Tepexilotla aflora en el extremo sur de la cuenca de Zongolica, está constituida por lutitas y areniscas de color rojizo, con intercalaciones de wackestone, packstone y grainstone de depósitos propios de un ambiente litoral costero. Hacia la porción norte de esa cuenca, se observa un cambio de facies a mudstone arcilloso y lutitas de color gris oscuro a negro que contienen amonitas de los géneros *Prontacyloceras* y *Paradontoceras*.

d) Al sur del país, en la Sierra de Chiapas bordeando el macizo granítico y en el subsuelo de la Plataforma de Yucatán, se encuentran lechos rojos de la Formación Todos Santos ya descrita anteriormente.

VI.3.1) *Formación Edzná*

Definición, Litología y Espesores

En la Región Marina, en informes finales inéditos anteriores, se ha citado a este piso y se le ha dividido en tres unidades para su estudio (AngelesAquino, 1987); se le ha considerado como un horizonte nivelador que rellenó las irregularidades topográficas del Kimeridgiano en la Región Marina (Peña-García, 1987). En este miembro, los espesores son muy regulares y su distribución muy amplia, como se ve en el plano de isopacas de la figura 32.

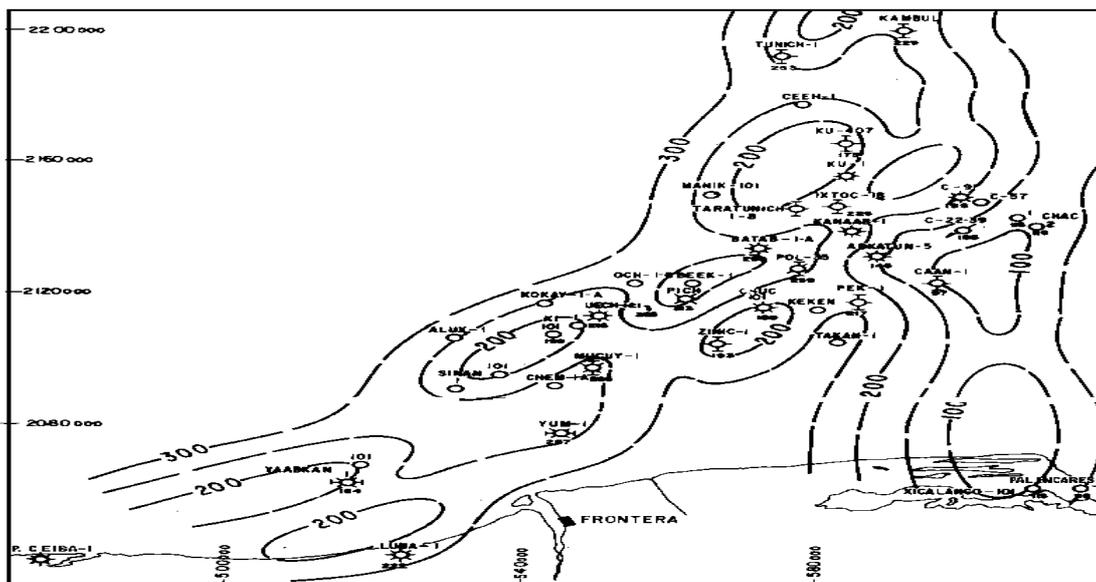


Fig. 32. Plano de isopacas de las rocas del Titoniano; en este piso los espesores son muy regulares y su distribución es amplia, en la Sonda de Campeche.

Por su similitud con la Formación Pimienta (AngelesAquino, 1988), consideró los depósitos del Titoniano equivalentes a esta formación, sin embargo, nueva información aportada por pozos más recientes mostró inconsistencias litológicas no correlacionables con la Formación Pimienta que hicieron reconsiderar al autor y propone denominar a los depósitos de este piso como Formación “EDZNÁ”. Con apoyo en el artículo 1º del “Código de Nomenclatura Estratigráfica”, que cita la conveniencia de utilizar una terminología y clasificación uniforme; en el artículo 4º que habla sobre las unidades litoestratigráficas, en el artículo 5º inciso (e) donde fija los límites de éstas y el 7º referente a la ubicación de la formación.

Para su estudio, el Titoniano ha sido dividido en tres miembros: “F, G y H”. El primero niveló irregularidades topográficas del Kimeridgiano y tiene la influencia carbonatada del horizonte “E”. El segundo es más regular, y

extensión es muy amplia y es primordialmente arcilloso; por último, el tercero es el más distribuido y es principalmente calcáreo bentonítico. A continuación se describe cada una de ellos.

MIEMBRO CALCÁREO “F”

Definición, Litología y Espesores

Esta unidad ha sido alcanzada por casi todos los pozos exploratorios de este estudio, incluyendo los pozos Puerto Ceiba, Luna, Xicalango y Palancares en la Región Sureste. Tiene espesores que varían desde 20m (pozo Caanl) hasta 110 m (pozos Batab 2 y 3), como se ilustra en el plano de isopacas de la figura 33, elaborado con los datos de todos los pozos que integran este trabajo y consignados en la tabla de la figura 6.

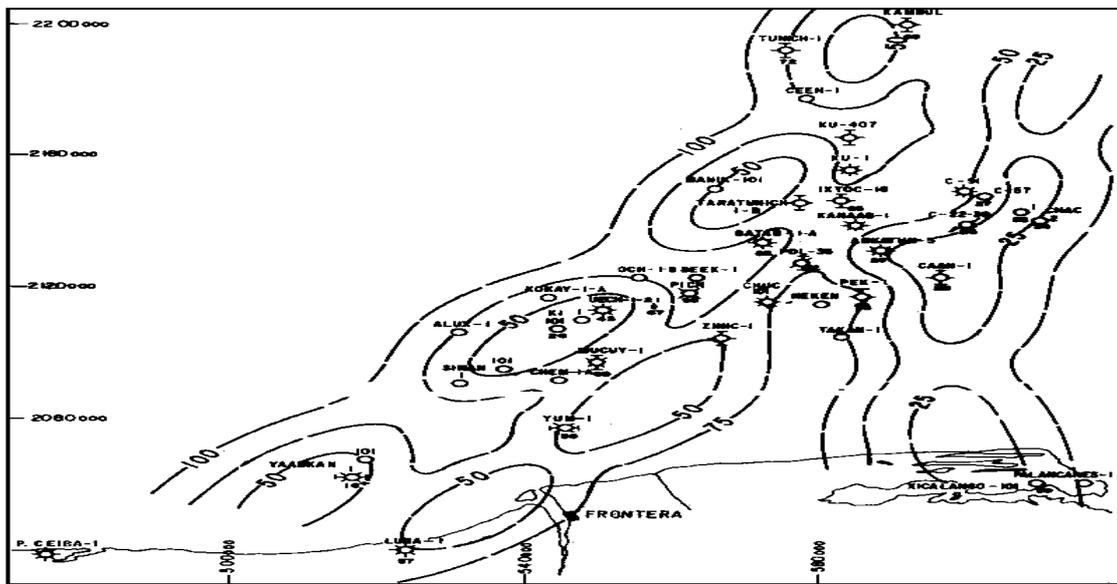


Fig. 33. Plano de isopacas del miembro “F” del Titoniano, en estas rocas los espesores son irregulares porque nivelan las unidades subyacentes.

El miembro “F”, está constituido por un mudstone arcilloso de color gris claro a café claro, con abundante materia orgánica, ocasionalmente con delgadas intercalaciones de lutita limosas gris oscuro a negro. Estos sedimentos están uniformemente distribuidos en la Sonda de Campeche y de acuerdo a datos paleontológicos (Ornelas-Sánchez et al., 1993), así como petrográficos y geofísicos marcan los límites de las unidades estratigráficas que marcan el inicio del Titoniano.

Edad

En lo que respecta a los fósiles, se observó que sobresale la presencia de radiolarios y saccocomas. Su posición y correlación estratigráfica está bien marcada en los registros compuestos de los pozos estudiados (ver registros compuestos anexos), así como en las secciones transversales que se construyeron con estos para ilustrar su continuidad. Ornelas Sánchez, et al. (1993), la incluye en su trabajo de biozonificación del Jurásico Superior, dentro de la biozona de *Saccocoma archnoidea* y *Eothryx alpina*, situada entre el Titoniano Inferior y Medio.

Relaciones Estratigráficas

El miembro "F" suprayace al miembro "E" del Kimeridgiano y subyace a la miembro "G" del Titoniano, su distribución cubre toda el área de estudio. El plano de litofacies de la figura 34, muestra como esta unidad es por lo general carbonatada y está constituida por carbonatos arcillosos, que se dolomitizan gradualmente hacia el oriente (pozos Chuc y Caan) y de acuerdo a la información proporcionada tendería a cambiar a terrígenos arcillosos con influencia carbonatada hacia el continente (pozo Colóal).

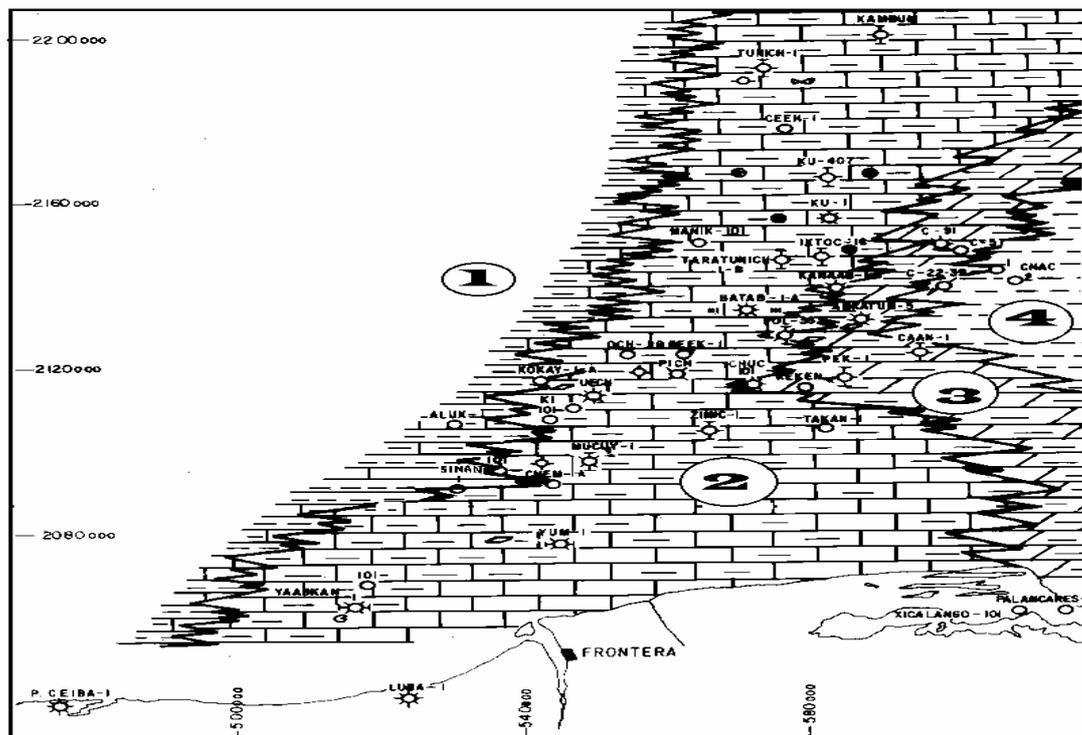


Fig. 34. Plano de distribución de litofacies del Miembro Carbonatado "F". Obsérvese como toda la unidad es carbonatada. La parte central del área (1 y 2) está ocupada por carbonatos arcillosos que se dolomitizaron al oriente (3) y tienden a hacerse terrígenos más al oriente (4) por influencia continental.

Petrografía

El análisis petrográfico del miembro carbonatado “F” lo resume como una unidad carbonatada constituida por micritas arcillosas, en partes recrystalizadas y dolomitizadas, consistiendo estas últimas en dolomías microcristalinas muy arcillosas. La figura 35 correspondiente al núcleo 14 del pozo Chaé2, representa en términos generales las características de este miembro, con abundancia de radiolarios por lo general calcificados y parcialmente recrystalizados y piritizados, e indican condiciones reductoras. Es abundante también la presencia de materia orgánica sobre todo en la porción occidental del área donde existen condiciones anóxicas que facilitan su preservación (Pozos Ayin-1, Dzunum-1 y Kokay-1A).

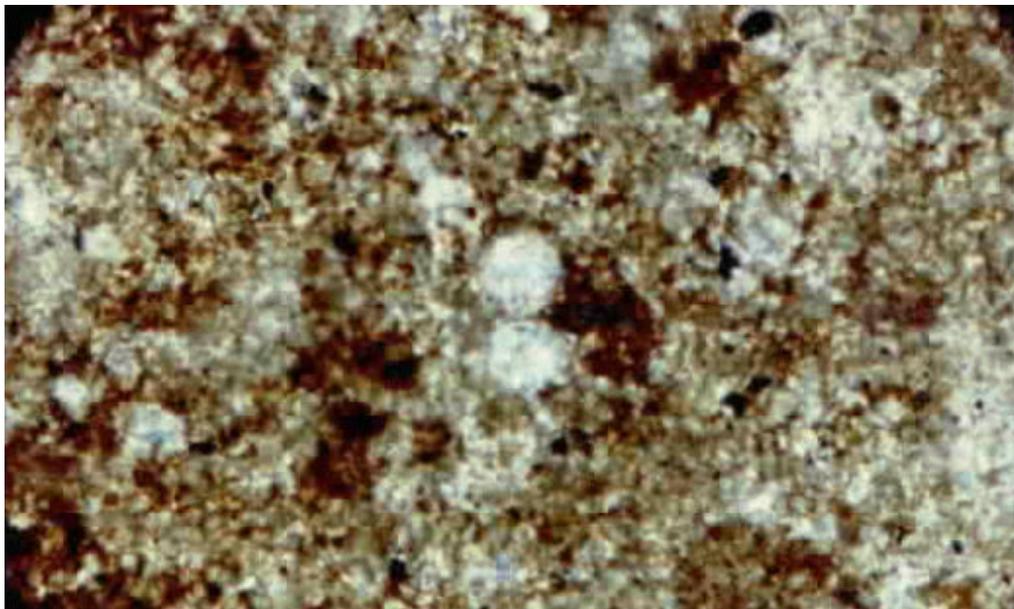


Fig.35. Wackestone de radiolarios calcificados, arcilloso con materia orgánica y aceite residual, se observa ligeramente recrystalizada. Pozo Chaé2, núcleo-14, ocular 12.5x, objetivo 2.5x. Edad: Jurásico Sup. Titoniano. Ambiente: cuenca.

Las micritas arcillosas se observan principalmente en la parte central del área en los pozos: Chem-1A int.5450-5560, Mucuy-1 int. 5408-5548, Zinic-1 int. 4950-5000, Pich-1 int. 4720-4810, Batab 1A int. 4400-4500, Ixtoc-18 int. 4360-4440, Ceeh-1 int. 2660, Ku-407 int. 3510-3550, Ki-101 int. 5220-5250 y Uech-21 int. 4820-4890.

Las micritas dolomitizadas y recrystalizadas se observan en la porción centro oriental en los pozos Caan-1 int. 4390-4402, Pol-35 int. 4665-4697, Abkatún-5 int. 4150-4180 y Pek-1 int. 5210-5290.

En las porciones extremo oriental y occidental se presentan zonas interdigitadas que indican cambios transicionales de estas facies carbonatadas a terrígenas carbonatadas tales como lutitas calcáreo bentoníticas, limosas tal como se ve en los pozos Cantarell-2239 int. 4330-4355, Chac-2 int. 4408-4440, Chac-1 int. 4186-4210, Akal-3 int. 2485-2510, Cantarell-91 int. 2346-2430, Ayin-1 y Dzunum-1.

Sedimentología y Diagénesis

Tomando como antecedente la información anterior, existe un marcado cambio ambiental entre este miembro y el “E”, comenzando por el cambio radical a carbonatos arcillosos que sugieren condiciones menores de energía. La predominante presencia de radiolarios piritizados y calcificados, indica tirantes de agua más profundos y menos circulación de oxígeno.

Por último, la posición estratigráfica la marca como una unidad en la que se inician los depósitos de mar abierto, terminando así el marino restringido. La distribución de estas facies y sus límites estratigráficos están bien marcados en las secciones de correlación, que la cortan en forma transversal y la sitúan en la base del Titoniano como se observa en la figura 36.

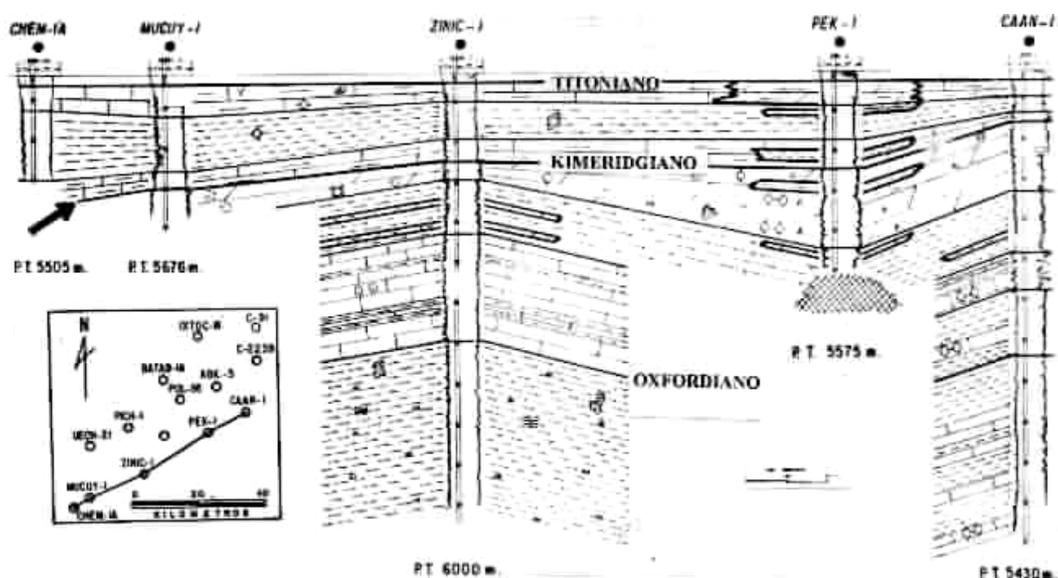


Fig. 36. Sección de correlación estratigráfica, con sensible dirección SWNE, que muestra los límites superior e inferior del Titoniano. La flecha marca el límite inferior del cuerpo “F”, equivalente también la base del Titoniano. (ver simbología en la figura 13).

Evaluación de la Unidad

Por su litología y contenido de materia orgánica podemos considerar a estas rocas potencialmente generadoras, sin embargo, la recristalización y dolomitización a que están sometidas las hacen también una buena roca almacén.

MIEMBRO ARCILLOSO “G”

Definición, Litología y Espesores

Esta miembro ha sido alcanzado por casi todos los pozos que integran este trabajo a excepción del Taratunich-1B. Su espesor varía desde 39 m. (Pozo Caan-1) hasta 171m (pozo Yum-1), con un espesor promedio de 5m. Siendo su distribución un tanto irregular en lo que a espesores se refiere, presenta una variación de estos espesores más desarrollada al occidente como se observa en el plano de isopacas de la figura 37.

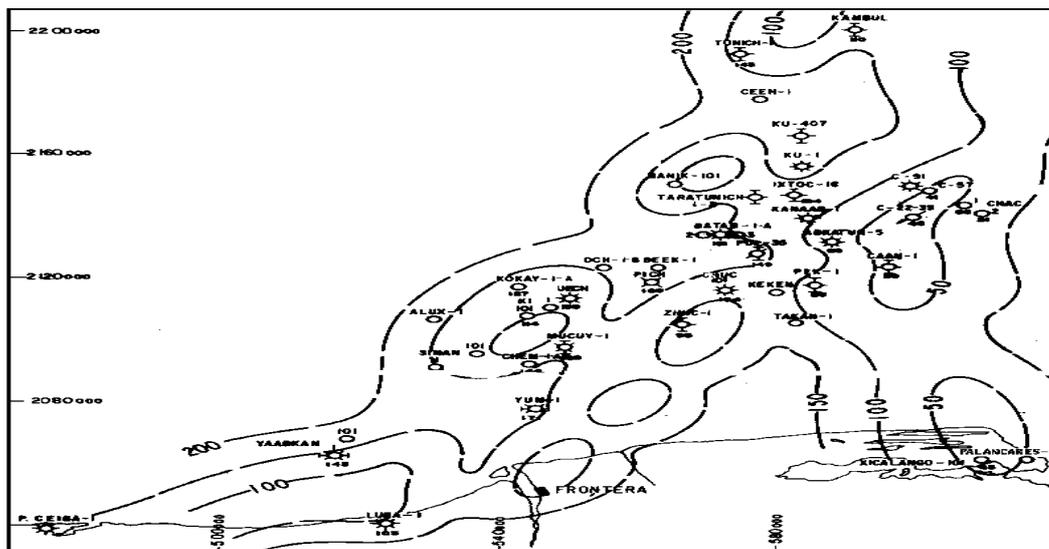


Fig. 37. Plano de isopacas de la unidad “G” del Titoniano. Los espesores más desarrollados se observan hacia el occidente.

A grandes rasgos las rocas predominantes del miembro “G”, son lutitas calcáreas arenosas, de colores gris oscuro a negro, con intercalaciones de margas y calizas arcillosas de colores oscuros.

Edad

La edad del miembro “G” ha sido determinada de acuerdo a la zonificación realizada por el Dpto. de Paleontología de la Zona Sur (1980), por la presencia de saccocomas de los géneros *Eotrix alpina*, *lombardia arachnoidea*, *Lombardia angulosa*, *filamentosa* y radiolarios calcificados y piritizados. Mas recientemente Ornelas Sánchez et al. (1993), zonificó el Jurásico Superior de la Región Marina, queda situada en la denominada Biofacies de *Saccocoma arachnoidea* y *Eotrix alpina* del Titoniano Inferior-Medio. Cantú-Chapa clasificó en esta facies el amonideo *Suarites sp.* en el núcleo 7 del pozo Tunich-1. La microfotografía de la figura 38 muestra las características generales de esta unidad; es decir, sus rasgos principales tales como su textura, sus estructuras sedimentarias su fauna y la materia orgánica que nos hablan entre otras cosas del comportamiento de este miembro como unidad generadora.

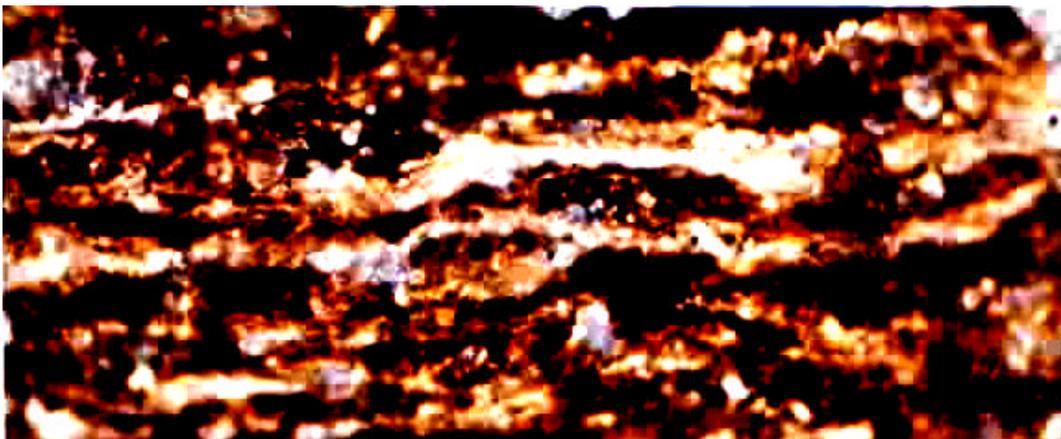


Fig. 38. Lutita calcárea arenosa con saccocomas y radiolarios calcificados, presenta microlaminaciones onduladas. Como accesorios se observan abundantes cristales de cuarzo detrítico y tiene impregnación de aceite residual. Edad Jurásico Superior (Tioniano). Ambiente cuenca. Pozo Pich-1. Núcleo 5. Objetivo 2.5x. Luz natural.

Relaciones Estratigráficas

Los límites estratigráficos del miembro “G” están dados en la base, por el miembro “F”, al cual suprayace en forma concordante; en la cima, por el miembro “H”, al que subyace también concordantemente. Su distribución en el área es amplia, cubre toda el área de estudio (?4000 km²). Es un tanto irregular y presentan una variación de espesores mejor desarrollada en la porción occidental que en la oriental

Coincidiendo con esta variación se tiene la distribución de facies, las que son terrígenas hacia el occidente y constituyen lutitas calcáreas arenosas y bituminosas como se ve en los pozos: Yaabkan1, Yum-1, Chem-1A, Mucuy-1, Zinic-1, Kokay-1A, Uech-1, Uech-21, Pich-1, Chuc-101, Pek-1, Caan-1, Pol-35, Pol-79, Batab-1a, Batab-2, Batab-3 e Ixtoc-18. y carbonatadas hacia el oriente constituyen margas y calizas arcillosas como también se aprecia en los pozos: Kambul-1, Tunich-1, Ceeh-1, Ku-407, Cantarell-91, Cantarell-57, Cantarell-2239, Chac-1 y Chac-2. Una visión más objetiva la tenemos en el plano de litofacies de la figura 39.

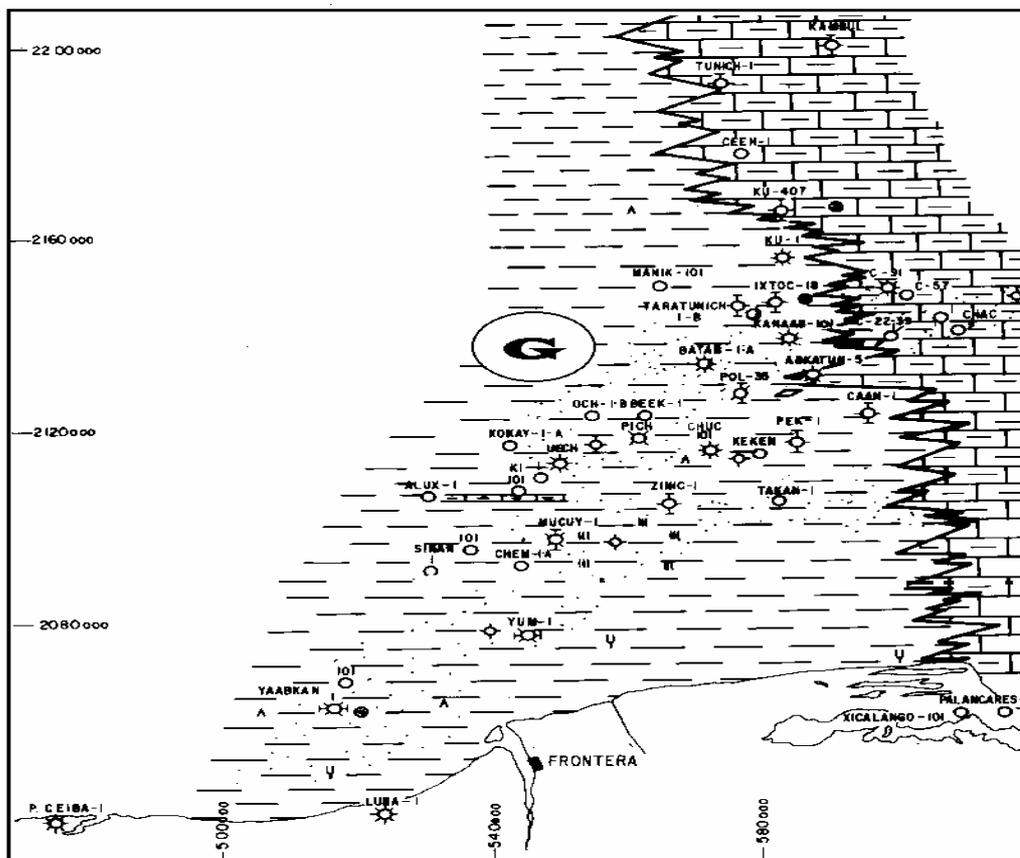


Fig. 39. Plano de distribución de litofacies del miembro "G" del Titoniano. Este miembro es predominantemente terrígeno, y tiende a hacerse carbonatado hacia el oriente. Se considera que es la principal roca generadora de hidrocarburos en la Sonda de Campeche.

Petrografía

El análisis petrográfico del miembro "G", lo define como una lutita calcárea arenosa, de color gris oscuro a negro, ligeramente bentonítica, con microlaminaciones onduladas y abundante materia orgánica dispersa y

concentrada. En varias muestras se observan abundantes saccocomas y radiolarios calcificados y piritizados. Como accesorios contiene cuarzo detrítico y pirita diseminada. La microfotografía de la figura 40 indica en forma más objetiva lo aquí escrito.

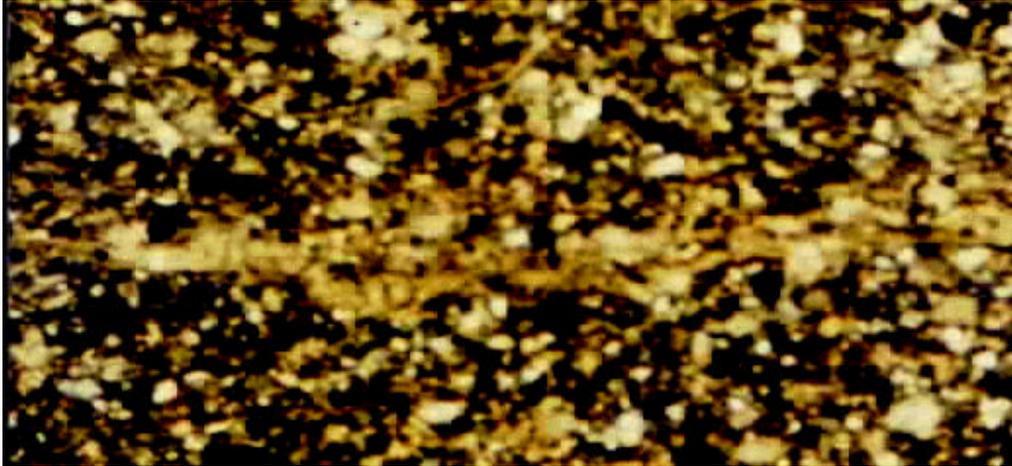


Fig. 40. Lutita calcárea arenosa, con saccocomas y radiolarios calcificados. Los puntos claros corresponden a cuarzo detrítico y los oscuros a material bituminoso. Edad Jurásico Superior (Titoniano). Ambiente cuenca. Pozo Pich-1. Núcleo 5. Objetivo 2.5x.Luz polarizada.

Sedimentología y Diagénesis

El análisis sedimentológico indica que la abundancia de la materia orgánica está en relación directa con la arcillosidad y con los tirantes de agua, como se puede ver en la porción occidental, donde estos depósitos son más arcillosos como en los pozos: Yaabkan-1 (int. 6167), Yum-1 (int. 4609), Chem-1A (int. 5270), Mucuy-1 (int. 5416), Zinic-1 (int. 5000), Kokay-1A (int. 4620), Uech-1 (int. 4668), Uech-21 (int. 4690), Pich-1 (int. 4560), Chuc-101 (int. 3939), Pek-1 (int. 5133), Caan-1 (int. 4341), Pol-35 (int. 4506), Batab-1A (int. 4259) e Ixtoc-18 (int. 4266) entre otros. Son menos arcillosos en la porción oriental como lo demuestran los pozos: Ku-407 (int. 3416), Kambu-1 (int. 3132), Tunich-1 (int. 4210), Cantarell-91 (int. 2270), Cantarell-57 (int. 2444), Cantarell-2239 (int. 4285), Chac-1 (int. 4127) y Chac-2 (int. 4356) entre otros. Tomando como antecedente el análisis antes mencionado se deduce que el incremento de sedimentos arcillosos y de fauna pelágica indican un aumento en la batimetría que redundaría en la formación de zonas anóxicas, propiciando la reducción y degradación de la materia orgánica.

Evaluación de la Unidad

Los análisis ópticos y geoquímicos realizados por el IMP a estos depósitos indican excelentes valores de carbón orgánico (3), como se observa en el

plano de la figura 51 donde podemos ver ejemplificado este miembro con sus valores de COT (Carbón Orgánico Total) que tienden a incrementarse al occidente del área. Contiene también magnífica materia orgánica, principalmente de tipo algáceo. Además, de acuerdo a los análisis del Índice Tiempo Temperatura (ITT), esta unidad ha alcanzado la ventana de generación en casi toda el área (Holguín-Quiñones, 1985), al coincidir con el tipo de hidrocarburos como se observa en el plano de selección de áreas en donde los aceites más ligeros se incrementan hacia el sur coincidentemente con los mejores valores de ITT. Todo esto la ubica como la principal generadora de hidrocarburos del Jurásico Superior, así como de toda la columna geológica presente en la Sonda de Campeche.

MIEMBRO CALCAREO “H”

Esta unidad ha sido alcanzada por todos los pozos que integran este trabajo. Sus espesores varían de 26m (pozo Abkatún 5) a 83m (pozo Chem1A), los más delgados se presentan en el oriente y los más gruesos en el occidente como se puede ver en el plano de isopacas de la figura 41.

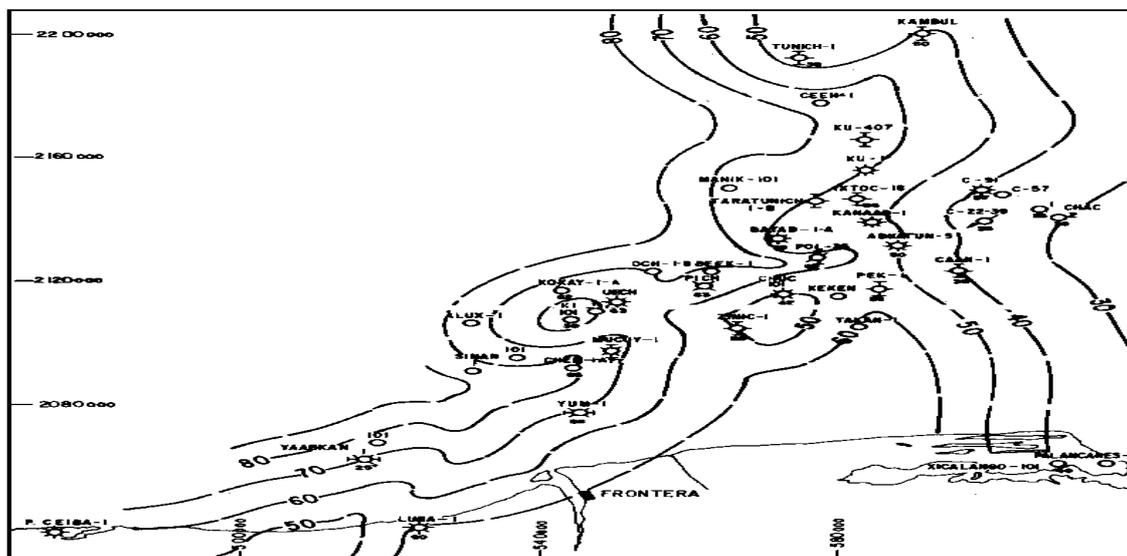


Fig. 41. Plano de isopacas del Miembro “H” del Titoniano, su distribución es amplia, sus espesores tienden a adelgarse hacia el oriente en la Sonda de Campeche.

Las rocas que la constituyen son principalmente carbonatos arcillosos y bentoníticos (mudstones), algunas veces de aspecto cretoso, que tiende a dolomitizarse hacia la porción oriental como se puede ver en los pozos

Kambul-1, Tunich-1, Cantarell-91, 57, 2239, Chac-1, 2, Caan-1,201 y Pek-1; como se aprecia en el plano de litofacies de la figura 42.

Edad

La edad de la unidad está establecida por la presencia de los calpionélidos: *Calpionella alpina*, *Crasicollaria massutiniana*, así como saccocomas, radiolarios calcificados. Por otro lado, Cantú-Chapa definió los amonoideos del género *Durangites sp.* en el núcleo 8 del pozo Chac1, *Salinites sp.* y *Protoncycloceras sp.* en el núcleo 14 del pozo Chac2, estableciendo que son de la cima del Titoniano, reafirmando lo anterior, Ornelas Sánchez et al. (1993) sitúa estos depósitos en la biozona de *Crasicollarias* y Cantú-Chapa (1982) en la biozona de *Durangites* y *Salinites*, ambos del Titoniano Superior.

Relaciones Estratigráficas

Este miembro corresponde a la cima del Jurásico Superior (Titoniano), suprayace en forma normal al horizonte "G" y subyace transicionalmente al Cretácico Inferior, ambos contactos son concordantes; la distribución lateral del miembro "H" es bastante uniforme y amplia y cubre toda el área de estudio. Verticalmente solo presenta delgadas intercalaciones de lutitas de cuatro a seis metros de espesor.

Petrografía

Con base en las descripciones petrográficas que se llevaron a cabo en todos los pozos que integran este prospecto, se resume lo siguiente: la litofacies "H" está constituida por un mudstone arcilloso gris claro a café claro, ligeramente bentonítico, con restos de materia orgánica, microlaminaciones onduladas, pirita diseminada y granos de cuarzo detrítico; se tiene una excepción en el pozo Chuc-101, donde se presenta como una dolomía arcillosa, café claro microcristalina (D2b a D3a), de acuerdo a la clasificación de Folk (1965). Contiene materia orgánica, pirita diseminada, bentonita y presencia de aceite residual.

Sedimentología y diagénesis

Considerando las teorías de algunos investigadores, tales como McKenzie, Gebelein, Muir, Sears y Lucía, (1980), Friedman (1978), Dunham (1969), Huang (1968) y Folk (1965), que han estudiado los procesos de dolomitización en todo el mundo, se puede deducir que la presencia de zonas dolomitizadas en la porción oriental de la Sonda de Campeche, podría ser debido a que estos carbonatos se formaron en tirantes de agua muy profundos, cerca de la zona de

reflujo, donde todavía existía influencia de soluciones cargadas de magnesio provenientes de salmueras, o zonas de sabkha, en el supuesto caso que la dolomitización sea sinsedimentaria.

En el plano de litofacies de la Figura 42 se observa como la dolomitización probablemente por reflujo, solamente alcanzó la porción oriental a la altura del área Cantarell, como lo demuestran los pozos Kambu-1 int. 3082-3125; Tunich-1 int. 4172-4200; Ku-407 int. 3374-3400; Cantarell-91 int. 2233-2250; Chac-1 int. 4992-4125; Chac-2, int. 4326-4350; Caan-1, int. 4315-4325 y Pek-1, int. 5075-5125. Así mismo, se interpreta la distribución de facies de este horizonte como netamente carbonatado.

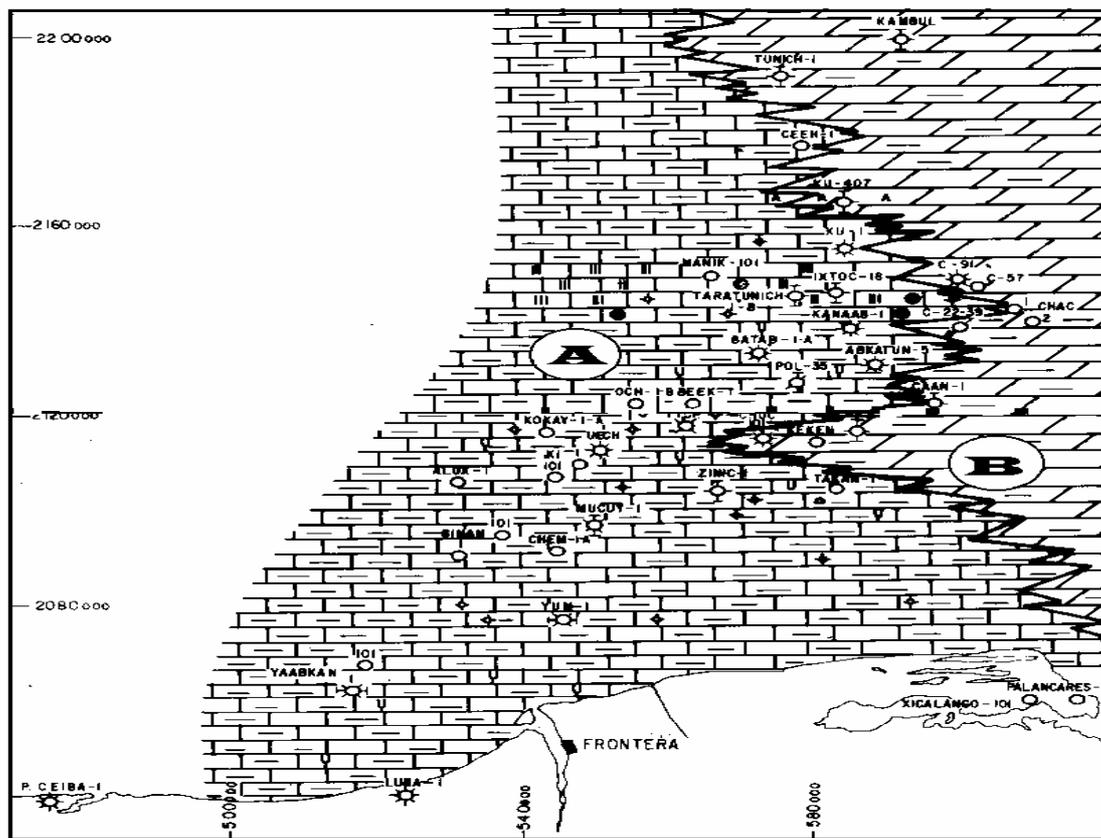


Fig. 42. Plano de litofacies del Miembro "H" del Titoniano, constituida por calizas arcillosas (A) que tienden a dolomitizarse hacia el oriente (B), donde constituyen dolomías arcillosas

Por su contenido de materia orgánica y la presencia de aceite residual, observado en los análisis petrográficos, podemos considerar al miembro "H", como potencialmente generador de hidrocarburos en la Región Marina.

VII) PALEOGEOGRAFIA

La información proporcionada por los 46 pozos que incluyen este trabajo, la adicional tomada por los pozos perforados en la Península de Yucatán, así como de trabajos llevados a cabo en la zona profunda del Golfo de México, nos permiten establecer el marco paleogeográfico de la Región Marina durante el Jurásico Superior.

Algunos pozos perforados sobre la Plataforma de Yucatán (pozos Yucatán1, 2 y 4), penetraron un complejo metamórfico constituido por esquistos de cuarzo y clorita cristaloblástica, el cual, se puede considerar como una de las fuentes de origen de los sedimentos jurásicos; mismo que posteriormente fue cubierto por el mar, como secuela de la transgresión jurásica.

Dentro de este marco transgresivo, sobre una superficie de rampa, tuvo lugar el depósito de la secuencia sedimentaria del Jurásico que migró en sentido de la transgresión. La figura 43, representa un índice paleogeográfico que ilustra el avance de los sedimentos hacia el continente siguiendo este modelo.

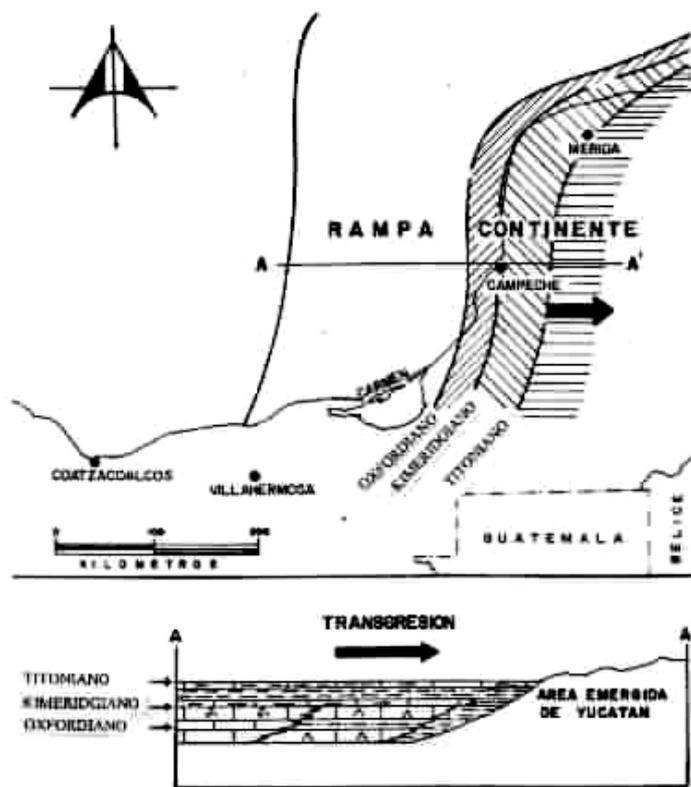


Fig. 43. Plano índice paleogeográfico que indica los avances del mar sobre el continente durante el Jurásico Superior en un modelo típico de rampa.

A) Los depósitos más antiguos conocidos en la zona corresponden al Oxfordiano (Campos Chac, Ek-Balam y Bacab), cuyo depósito tuvo lugar en mares someros epicontinentales de topografía irregular, de acuerdo a toda la información sedimentaria anteriormente descrita. La figura 44 es un esquema paleogeográfico para este piso, las facies encontradas hasta la fecha son principalmente terrígenas.



Fig. 44. Plano de distribución paleogeográfica del Oxfordiano, presenta facies marinas de aguas someras al occidente, que tienden a hacerse continentales hacia el oriente al marcar una probable línea de costa entre ambas.

Cambios eustáticos ocasionados probablemente por la apertura del Golfo de México, provocaron alteraciones en la energía, dando lugar a flujos de material detrítico como los observados en el pozo Chael, en el núcleo 16 entre otros, sugiriendo que al ser acarreados por corrientes marinas y fluviales, este sedimento quedó atrapado por los desarrollos orgánicos presentes, tales como: algas, esponjas, estromatopóridos, etc.

Los datos sedimentarios obtenidos en los pozos Chael, Cantarell 2239, Cantarell-91 y Caan-1, indican que estas áreas constituían zonas de inundación que conformaban extensos estuarios; en los que abundaba la materia orgánica principalmente de tipo vegetal, como se observa en los pozos Chael, en el núcleo 16 y Cantarell-2239, en el intervalo 4776. Se supone que dicha materia

vegetal actuaba a manera de “baffles” ó “Bindstones” (Embry and Klovan, 1971) al atrapar el sedimento como se puede ver en la fotografía de la figura 45.

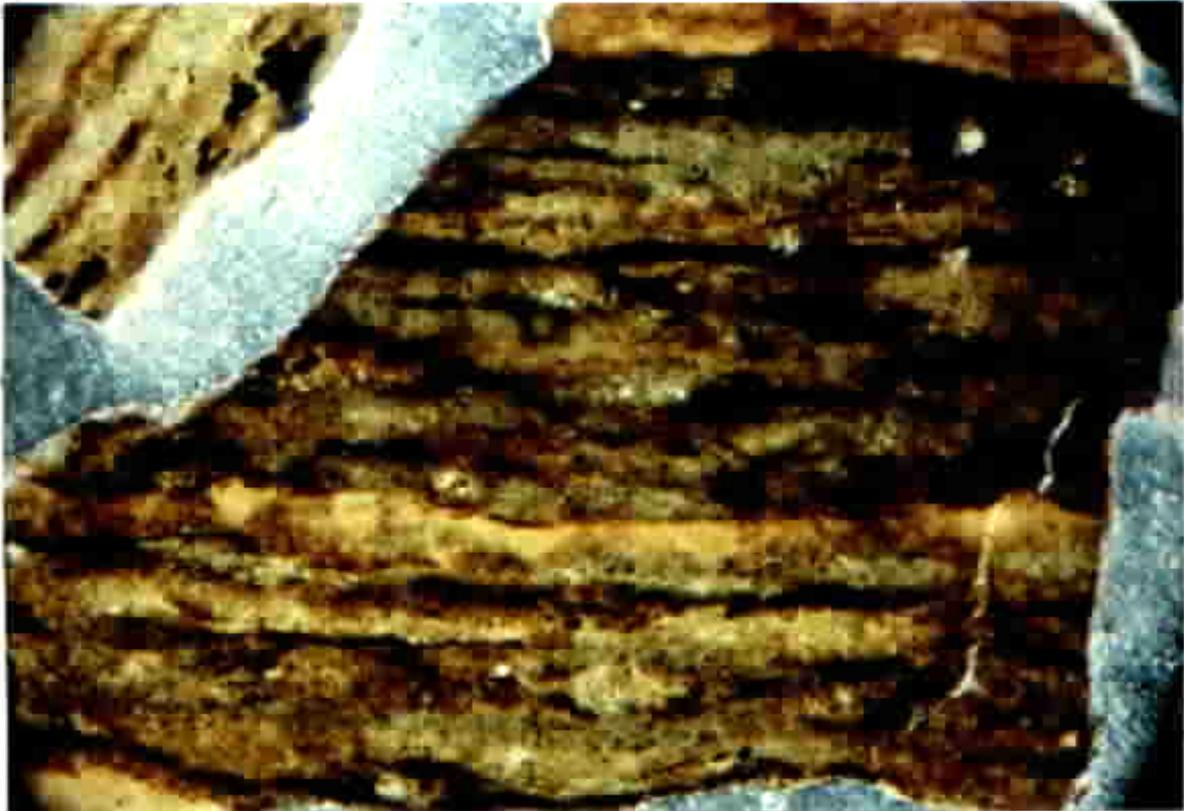


Fig. 45. Esquirla que exhibe material algáceo atrapando material detrítico (limos y arenas) entre sus espacios, esto dio lugar a la formación de limolitas y arenas bituminosas de este nivel estratigráfico Jurásico Superior (Oxfordiano). Pozo Cantarell-2239, intervalo 4776. Ambiente: Intermæa. Objetivo 2.5X; Ocular 12.5X . Luz polarizada.

En la parte más baja de la secuencia sedimentaria del Oxfordiano conocida hasta la fecha, en el pozo Caan-1 en el intervalo 5370-5375, se observó un packstone de peletoides que sugiere la existencia de condiciones ambientales de alta energía. Por tal razón, se postula que hacia la porción occidental, probablemente existían condiciones favorables para la formación de barras oolíticas.

Por lo que respecta a los cuerpos arenosos del Oxfordiano, presentes en los campos Ek-Balam y Bacab, se considera que los depósitos situados en la

porción noreste del área, corresponden a un sistema de barras de barrera y arenas costeras, cuyas fuentes de aporte pudieron ser el Bloque de Yucatán y el Macizo Granítico de Chiapas, dada la cantidad de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos que constituyen estas arenas y que también forman dichos paleoelementos. De acuerdo a la clasificación de Dott (1974), modificada por Potter (1984) esta suposición es muy factible.

La presencia de sedimentos rojizos es propia de zonas de intermarea y supramarea (pozos Caan-1 int. 4985-5050, Bacab-2 núcleo-4, Ek-Balam-DL3 núcleo 5 y Balam-101 int. 4826-4850), donde estuvieron expuestos subaéreamente, debido probablemente a inestabilidad climática postulada por la existencia de estructuras varvadas (pozo Chae-1 núcleos 16 y 17). Dichos cambios propiciaron condiciones reductoras ó de restricción en la circulación, en los que ocurrió la piritización o la evaporación.

La diagénesis presente en los sedimentos del Oxfordiano, tal como la silicificación y la piritización (pozos Chae-1 núcleos-16 y 17 y Caan-1 núcleo-3), indican en el caso de la primera, zonas de sobre concentración de sílice proporcionado por organismos; o bien, por la abundancia de bentonita, cuyo componente principal, la montmorillonita, es rica en este elemento (Pozos Cantarell-2239, int. 4720-4750, Chac-1 int. 4550-4645, Cantarell-91 int. 3170-3210). Por su parte la piritización, es una respuesta a la presencia de condiciones reductoras de poca oxigenación (Pozos Chae-1 int. 4730-4870, Caan-1 int. 5200-5300 y Cantarell-91 int. 3070-3090).

B) Durante el Kimeridgiano, la transgresión jurásica cambia las condiciones de depósito en la Sonda de Campeche, dando lugar a la presencia de ambiente propicios para la acumulación de carbonatos (pozos: Kambul-1, Ku-407 y Tunich-1). En algunos casos las condiciones de energía fueron suficientes para el desarrollo y crecimiento de bancos oolíticos que se alinean en forma de franjas (pozos: Pto. Ceiba-1, Luna-1, Sinan-1, Uech-1, Och-1B, Batab-1A, Ku-407, Tunich-1 y Kambul-1).

La figura 46 es un modelo sedimentario de este piso que ilustra la distribución de la barra oolítica frontal interrumpida por canales de marea; mismos que aportaron el material para que se formaran pequeños deltas de marea que evolucionaron constituyendo barras interiores, en una zona de laguna.

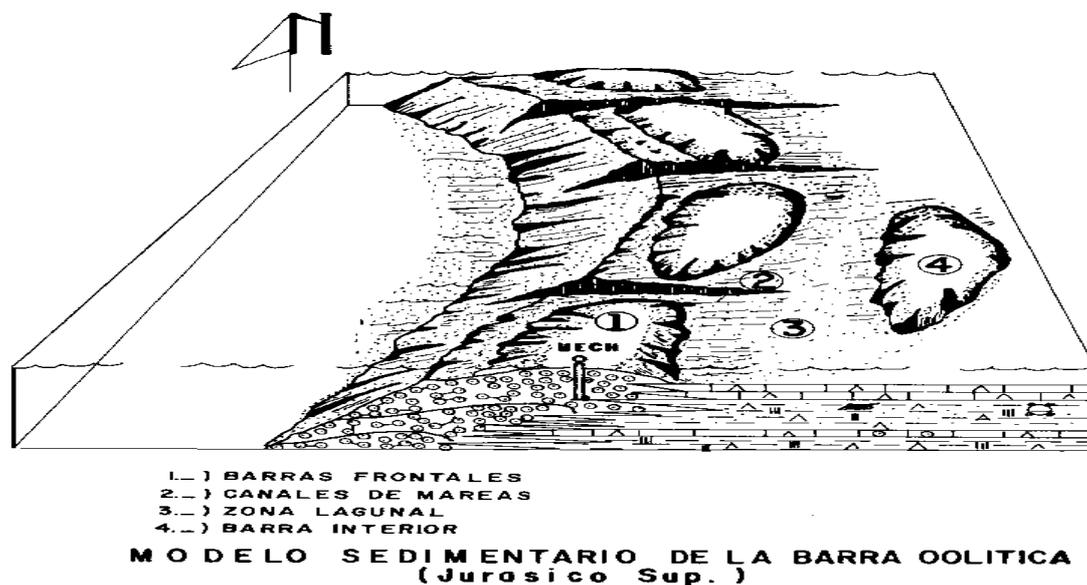


Fig. 46. Modelo sedimentario del Kimeridgiano, que resume los ambientes someros de alta y baja energía en mares abiertos y restringidos en la Sonda de Campeche. En el modelo se ilustra la probable situación del campo Uech, uno de los más representativos en este piso.

La barra frontal restringió la circulación de las aguas hacia el oriente, dando margen al depósito simultáneo de evaporitas (pozos Pich1, Pek-1 y Chuc-101), que permiten postular para el Kimeridgiano la existencia de condiciones de intermarea y supramarea en un ambiente litoral.

Debido a cambios en las condiciones de energía, se tuvieron durante el Kimeridgiano ambientes reductores de escasa circulación en la que se depositaron sedimentos terrígenos con abundante materia orgánica (pozo Kokay-1A), mismos que fueron cubiertos por los carbonatos anteriormente mencionados por lo menos en dos ocasiones, constituyendo las unidades “B, C, D y E”.

Varios procesos diagenéticos son observados en las rocas carbonatadas del Kimeridgiano, de ellos, el más importante es la dolomitización, que en este caso favoreció el desarrollo de la porosidad (pozos: Batab1A, int. 4680; Chuc-101, int. 4108; Caan-1, int. 4740). Con menor profusión se presentan los procesos de silicificación (pozo Zinic, int. 54205445), recristalización (pozo Ki-101, int. 5300), compactación, lixiviación y estilolitización (pozo: Zinid, int. 5575-5645; los cuales son el resultado de las condiciones ambientales para esta edad. Estas condiciones dieron lugar a cuatro zonas de depósito, las que migrando con la transgresión tienden a acuñarse contra el continente y cuyos

límites de control se localizan a la altura del pozo Colón-1. La figura 47 es un esquema paleogeográfico de las rocas de edad Kimeridgiano donde se distingue cada una de dichas zonas con sus facies características.

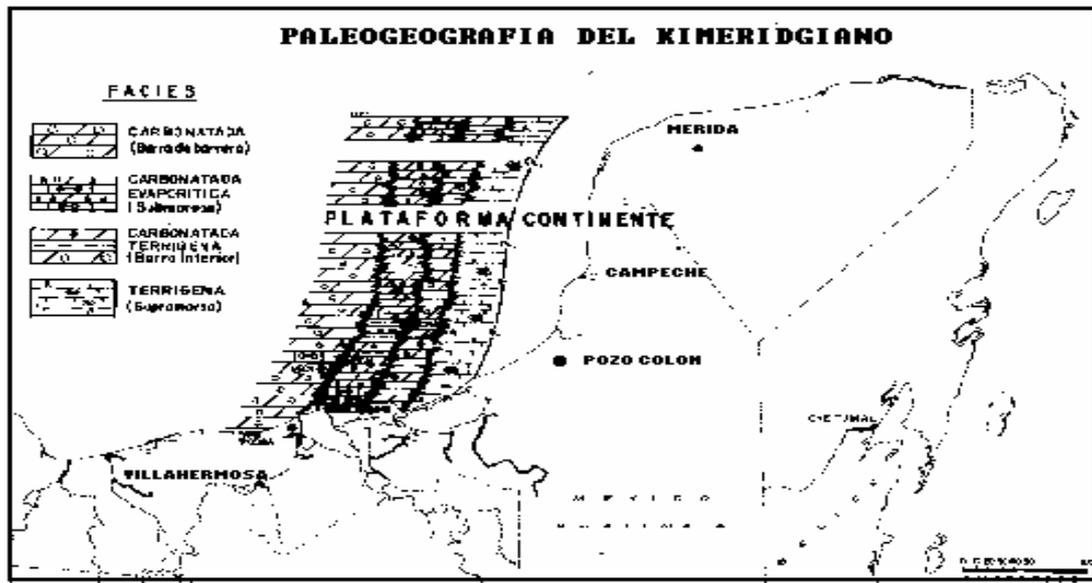


Fig. 47. Plano de distribución paleogeográfica de las rocas de edad Kimeridgiano en la región de la Sonda de Campeche, que muestra las diferentes facies de un ambiente litoral en una secuencia transgresiva, mostrando la línea de costa que avanza sobre el continente.

En la zona carbonatada oolítica del Kimeridgiano proliferaron los bancos oolíticos (Campos Puerto Ceiba, Luna y Uech), que formaron un sistema de barras de barrera que denotan la existencia de un ambiente de alta energía.

Por su parte, la facies carbonatada- evaporítica, también del Kimeridgiano es propia de un ambiente de submarea con baja energía. La presencia de lodos calcáreos y evaporitas con abundancia de peletoides, grumos carbonatados y perturbaciones biógenas así lo confirman (pozos: Pick1 int. 4830-4870, Chuc-101 int. 4258-4300 y Pek-1 int. 5292-5450).

La zona carbonatada con influencia terrígena del Kimeridgiano corresponde a un ambiente de intermarea con energía moderada, en el cual se formaron barras interiores constituidas por ooides y material detrítico fino que denota la influencia continental (campos Caan, Cantarell y Bacab). Finalmente hacia el oriente se tiene la zona terrígena, en un ambiente de supramarea en la que la influencia continental es muy marcada como se ve en los campos Chac, Cantarell y Balam.

C) Durante el Titoniano se acelera el movimiento transgresivo, provocando un cambio radical en el ambiente de depósito en la Sonda de Campeche. Este se

torna de aguas profundas, en el que se depositan sedimentos arcillosos con abundante fauna pelágica como se ve en el núcleo 5 del pozo Pich-1 donde abundan los radiolarios, el cuarzo detrítico y la materia orgánica propia de zonas anóxicas.

En el plano paleogeográfico de la figura 48 se presenta un esquema paleogeográfico del Titoniano, en el que las facies conocidas son predominantemente carbonatadas arcillosas, pueden graduar hacia el oriente y hacerse terrígenas en la zona litoral por influencia del continente, como se observó en los lechos rojos perforados en el pozo Colón. En el esquema se trata de representar estas facies carbonatadas afectadas por la dolomitización y marcar sus diferentes medios de depósito de acuerdo a los estudios sedimentarios llevados a cabo en este piso y de los cuales ya se ha hablado ampliamente con anterioridad.

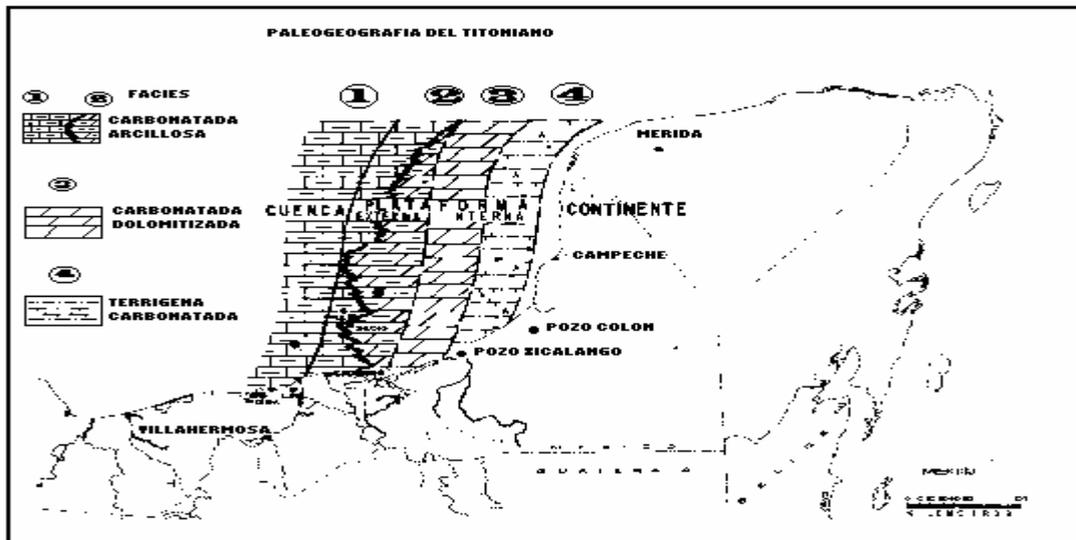


Fig. 48. Plano de distribución paleogeográfica del Titoniano en la región de la Sonda de Campeche, que marca un movimiento más rápido de la línea de costa, al producir cambios radicales en el depósito. En el esquema se ejemplifican cuatro zonas de depósito: 1-) Zona Carbonatada arcillosa, 2-) Zona Carbonatada arcillosa parcialmente dolomitizada, 3-) Zona Carbonatada dolomitizada, 4-) Zona Carbonatada con influencia terrígena continental.

La línea de costa del Titoniano se sitúa al occidente del pozo Colón; ya que en éste, dicho nivel está representado por sedimentos continentales que subyacen a rocas carbonatadas del Cretácico inferior. En forma transicional a estos depósitos continentales, se postula una franja de carbonatos dolomitizados que se considera ubicada en la zona de reflujos; y cuyo límite occidental podría situarse a la altura del pozo Xicalango (fig. 48).

La porción occidental comprende el área de estudio y fue discutida en el capítulo de estratigrafía. En él se recalcó la importancia de las rocas del Titoniano como generadoras de hidrocarburos, en vista del alto contenido de materia orgánica y del grado de madurez que alcanzaron.

El cambio brusco de las meso dolomías del Kimeridgiano a las calizas arcillosas del Titoniano (Pozos Uech1, int. 4840 y Batab-1A, int. 4480), hacen inferir una subsidencia muy rápida de la plataforma; la que continúa en forma gradual hasta dar lugar a los depósitos arcillosos del miembro "F". Fue precisamente en este intervalo donde hubo una gran cantidad de aporte de material detrítico y materia orgánica proveniente de la plataforma como puede observarse en los pozos Och1B, int. 4560-4570, Chem-1A, int. 5560-5590, Batab 3, int. 4520-4568 entre otros. Estas descargas se llevaron a cabo probablemente por la baja energía predominante en esta edad, dándole a estos depósitos un carácter orgánico carbonatado arcilloso.

Probablemente la subsidencia de la cuenca se hizo más lenta y el aporte de terrígenos fue mayor hasta que estos alcanzaron el nivel de compensación de carbonatos, al dar lugar a la formación de los depósitos arcillosos del miembro "G", en el cual se ve que el aporte de terrígenos aumenta en este nivel estratigráfico y disminuye la precipitación de carbonatos; abundan los radiolarios y aumenta la presencia de Saccocomas y materia orgánica, como se puede ver en los pozos Och1B, int. 4450-4560, Chem-1A, int. 5270-5460, Kokay-1A int. 4620-4750, Pek-1, int. 5150-5215, Pich-1 int. 4560-4720, Pol-35, int. 4550-4600, Mucuy-1, int. 3370-5540, entre otros, lo que le da a esta unidad un carácter orgánico arcilloso propio de zonas anóxicas.

Durante el Titoniano Superior parte alta de este piso en el miembro "H", disminuyó el aporte de terrígenos y aumentó la precipitación de carbonatos proliferaron los amonoideos y los calpionélidos y los sedimentos se hicieron más claros y carbonatados según se puede ver en todos los pozos que integran este trabajo.

De acuerdo a lo anterior podemos considerar que en la parte alta del Titoniano existieron condiciones de mares abiertos mejor oxigenados, generándose lodos calcáreos que constituyeron mudstones bentoníticos con una gran proliferación de nanoplancton calcáreo que dieron lugar a las calizas bentoníticas criptocristalinas, que caracterizan el Cretácico Inferior en la Sonda de Campeche.

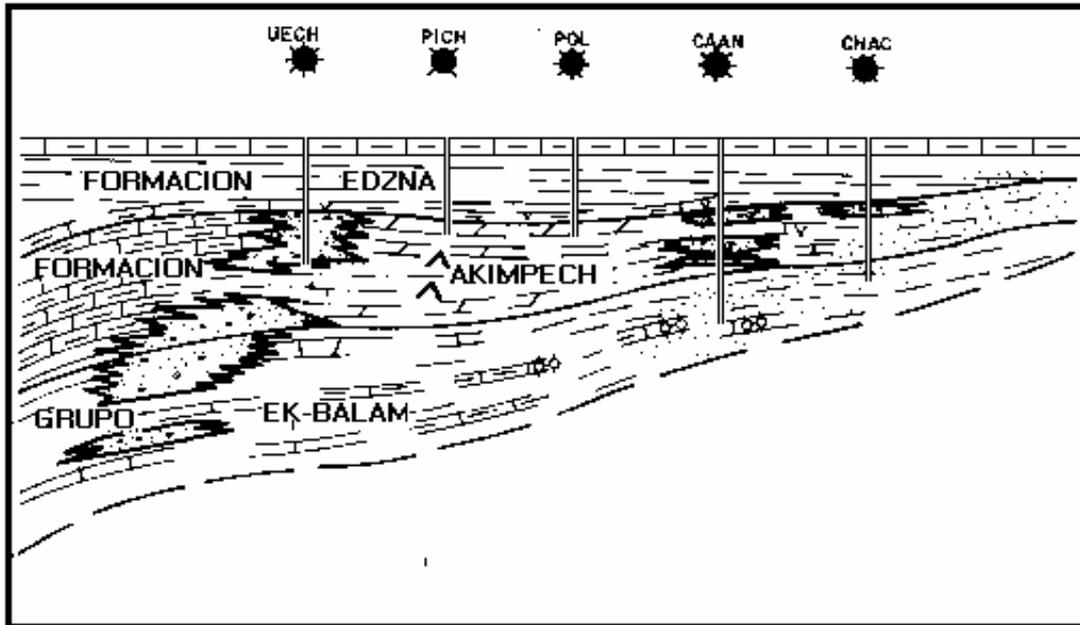


Fig. 49. Sección estratigráfica esquemática, del Jurásico Superior de la Sonda de Campeche que ilustra la extensión de las barras oolíticas a niveles inferiores en la porción occidental del área.

En respuesta a las condiciones paleogeográficas citadas, se plantea en el corte esquemático de la figura 49, el avance transgresivo hacia el oriente de los depósitos durante el Jurásico Superior.

De igual manera, con la información petrográfica y sedimentológica obtenida en todos los pozos estudiados y compilados en este trabajo (aproximadamente 4500 muestras y 30 núcleos), se estableció la relación que existe entre los parámetros sedimentarios y paleogeográficos que rigen en la Sonda de Campeche y se anotaron en forma sistemática todos los elementos obtenidos cada cinco metros utilizando el método sedimentario ya explicado con detalle en la introducción de este trabajo, marcando con línea gruesa los elementos encontrados con más frecuencia; con delgada, los encontrados con menos frecuencia y con línea suspendida, los encontrados ocasionalmente. Esta estadística conlleva a una visión más real de los acontecimientos geológicos mencionados anteriormente y apoya todas las premisas que en este trabajo se postulan para el Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. Para tal efecto el autor adaptó esta información al modelo de Friedman relativo a los ambientes de depósito y los consignó en la tabla de la figura 50.

VII) GEOLOGÍA ECONÓMICA

El avance de la prospección petrolera en la Sonda de Campeche ha permitido definir la secuencia estratigráfica del Jurásico Superior como un objetivo de primer orden. Mediante la integración de la información obtenida se plantean sus principales características en cuanto a generación, acumulación y entrapamiento de hidrocarburos, para establecer zonas de interés económico petrolero. A continuación se describen cada una de estas características.

Generación

Los estudios estratigráficos, sedimentológicos y geoquímicos realizados en la Sonda de Campeche, revelan que en toda la columna jurásica conocida actualmente, existe materia orgánica con posibilidades para generar hidrocarburos. Esta es principalmente de tipo algáceo, herbáceo y leñoso, cuya presencia varía de regular a abundante. Los datos de los resultados geoquímicos más importantes obtenidos en cada uno de los pisos del Jurásico Superior se sintetizan en la tabla de la figura 51.

| TITONIANO | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------|------|------|------|------|-----|------------------|------------|---------|
| | PROF. | C.O.T. | Q1 | Q2 | Q3 | IH | IQ | MATERIA ORGANICA | | I.A.T. |
| POZOS | MTS. | % | PPM | PPM | PPM | | | % | TIPO | |
| CHUC-101 | 3956-65 N-3 | 3.125 | 119 | 8343 | 103 | 267 | 3 | 25 | A-C | -3 a 4 |
| IXTOC-18 | 4250 | 1.500 | 212 | 1448 | 727 | 96 | 48 | 8 | A-C-L | 3 a +3 |
| | 4370 | 1.950 | 1495 | 4219 | 8411 | 216 | 431 | 5 | A-C-L | -3 |
| KU-407 | 3491-500 N-1 | 1.452 | 57 | 3749 | 296 | 258 | 20 | 25 | A (amorfo) | +2 a -3 |
| PICH-1 | 4520-29 N-3 | 1.062 | 70 | 3965 | 196 | 373 | 18 | 6 | A | -3 |
| | 4604-13 N-4 | 1.007 | 78 | 4834 | 181 | 480 | 18 | 30 | A | -3 |
| | 4604-13 N-4 | 3.480 | 293 | 7249 | 264 | 208 | 8 | 30 | A | -3 |
| | 4705-08 N-5 | 2.045 | 272 | 2939 | 274 | 144 | 13 | 20 | A | -3 |
| POL-77 | 4390 | 0.930 | 1190 | 1620 | 380 | 174 | 41 | 13 | A-L-C | -3 y 3 |
| ZINIC-1 | 4150-200 | 3.810 | 1096 | 2184 | - | - | - | 69-31 | L-A | 2.5 |
| TUNICH-1 | 4377-86 N-8 | 1.500 | 0 | 1056 | 913 | 704 | 61 | 15 | A-C | +2 |
| AKAL-3 | 2444-46 N-6 | 3.245 | 50 | 3592 | 800 | 1107 | 25 | 7 | A-I-H | 2 |
| | 2444-46 N-6 | 2.650 | 52 | 3098 | 907 | 1169 | 34 | 10 | A-I | 2 |
| CHAC-1 | 4099-105 N-8 | 1.117 | 64 | 4810 | 340 | 431 | 29 | 15 | A-L-C | +2 |
| | 4150-59 N-9 | 1.400 | 42 | 225 | 128 | 52 | 9 | 15 | A-C | +2 a -3 |
| CHAC-2 | 4347-56 N-14 | 0.370 | 21 | 332 | 107 | 90 | 29 | 5 | A-C | 2 a -3 |
| PTO. CEIBA-1 | 3600-4300 | - | - | - | - | - | - | 6 | L-A-C | -2 |
| PTO. CEIBA-101 | 4000-4350 | - | - | - | - | - | - | 13 | mixta | 2 a -3 |

| KIMERIDGIANO | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------|------|------|------|-----|-----|------------------|-------|---------|
| | PROF. | C.O.T. | Q1 | Q2 | Q3 | IH | IQ | MATERIA ORGANICA | | I.A.T. |
| POZOS | MTS. | % | PPM | PPM | PPM | | | % | TIPO | |
| BATAB-1A | 4500 | 0.985 | 2947 | 354 | 373 | 36 | 38 | 5, 2,3 | A-L-C | -3 a +3 |
| | 4700 | 0.545 | 95 | 906 | 524 | 166 | 96 | 3 | C | |
| | 4800 | 0.675 | 134 | 2628 | 998 | 389 | 348 | 20 | A | 3 a +3 |
| CAAN-1 | 4555 | 0.255 | 277 | 9 | - | - | - | 4 | L-C | +2 a -3 |
| CHUC-101 | 4127 | 0.392 | 1135 | 221 | 428 | 56 | 109 | 4 | C-L-A | +2 a 4 |
| IXTOC-18 | 4530 | 2.282 | 135 | 4390 | 941 | 192 | 41 | 20 | A-C | +3 |
| PICH-1 | 4829-38 N-6 | 0.570 | 53 | 1190 | 208 | 209 | 36 | 1 | A | - |
| TUNICH-1 | 4442-51 N-9 | 0.335 | 30 | 340 | 1092 | 95 | 307 | 4 | C-H-A | 2 a +2 |
| AKAL-3 | 2539-48 N-7 | 0.207 | - | 28 | 586 | 13 | 283 | HUELL | L-A | - |
| CHAC-1 | 4430-38 N-13 | 0.487 | 139 | 120 | 367 | 25 | 75 | 1 | L-C-H | - |
| CHAC-2 | 4473-81 N-15 | 0.017 | 23 | - | 240 | - | 224 | 1 | C | - |
| PTO. CEIBA-101 | 5434-5440 | - | - | - | - | - | - | 40 | A | - |

| OXFORDIANO | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|--------|------|------|-----|-----|-----|------------------|-------|---------|
| | PROF. | C.O.T. | Q1 | Q2 | Q3 | IH | IO | MATERIA ORGANICA | | I.A.T. |
| POZOS | MTS. | % | PPM | PPM | PPM | | | % | TIPO | |
| CAAN-1 | 4942-50 N-3 | 0.243 | 70 | 30 | 266 | 12 | 109 | 7 | L-A-C | +2 a -3 |
| CHAC-1 | 4850-59 N-16 | 0.965 | 3297 | 1968 | 794 | 204 | 82 | 10 | A-L-C | +2 a -3 |
| | 4850-59 N-16 | 0.215 | 26 | 83 | 664 | 39 | 309 | 12 | L-C | +2 a -3 |
| | 4859-68 N-17 | 0.197 | 14 | 103 | 785 | 52 | 398 | 2 | A-L-C | 3 a +3 |

Fig. 51. Tabla que indica los principales parámetros geoquímicos obtenidos de los principales pozos del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. C.O.T. = Carbón Orgánico Total; Q1= Hidrocarburos libres; Q2= Hidrocarburos potenciales; Q3= Cantidad de CO₂; IH= Índice de Hidrógeno; IO = Índice de Oxígeno I.A.T = Índice de Alteración Térmica.

De acuerdo a la información anterior podemos ver que son las rocas arcillo carbonosas del Titoniano (unidades F, G y H); las que tienen la mejor calidad como generadoras de hidrocarburos. Estas rocas están presentes en toda el área y contienen abundante materia orgánica de tipo algácea herbácea, la cual alcanzó un grado de madurez adecuado para la generación de hidrocarburos líquidos y/o gaseosos. En relación a su contenido de carbón orgánico total (COT), contiene un potencial generador que varía de bueno a excelente. Como se aprecia en el plano de isocarbón de la figura 52

Con menor extensión, dado su patrón sedimentológico, las rocas del Kimeridgiano en sus porciones arcillosas (unidades B y D), presentan un contenido bueno de materia orgánica de tipo algácea, (pozos Batabl A, Zinic-1 y Kokay-1A); con un grado de alteración térmica que la ubica en la fase de generación de aceite y/o gas. Con base en su contenido de carbón orgánico total se les considera un potencial generador de regular a bueno (pozos Kokay

1A, int. 5070-5110, Zinic-1, int. 5600-5780, Puerto Ceiba-101, int. 5434-5440); pueden ser en parte la fuente de los hidrocarburos líquidos alojados en los cuerpos oolíticos dolomitizados en la Sonda de Campeche.

En el Oxfordiano el contenido de materia orgánica es bueno, sin embargo, ésta es principalmente de tipo leñoso con un grado de madurez avanzado que la ubica en la fase de generación de gas. Recientemente, Guzmán Vega y Rocha M. (1994), usando biomarcadores e isotopía estudiaron el origen y evolución de los hidrocarburos de la Sonda de Campeche y concluyen que estos aceites provienen de facies carbonatadas hipersalinas del mismo Oxfordiano y su madurez se incrementa en sentido de los campos Lum Ek-Balam-Chac.

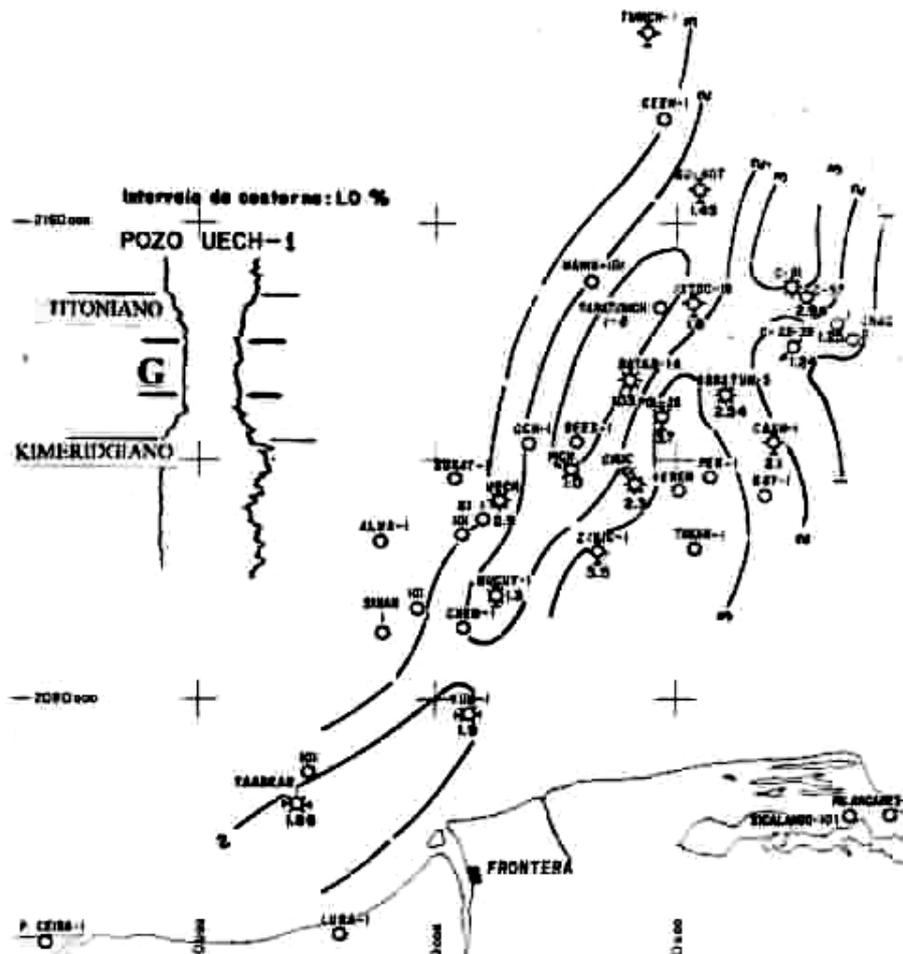


Fig. 52. Plano de isilíneas que muestra la distribución de Carbón Orgánico Total (COT) de la parte media del Titoniano (Miembro "G"), donde se pueden observar valores muy altos que tienden incrementarse hacia el occidente del área, hacia las áreas más profundas.

Migración

Los estudios sedimentarios realizados por el autor, los geoquímicos realizados por investigadores (Rocha-M., Guzmán-Vega, Holgín- Quiñones, Pérez-Ortiz, Tejada-Galicia, Anunziata-Romero) conllevan a pensar que la mayoría de los hidrocarburos atrapados en las rocas jurásicas, migraron por capilaridad. Es decir, los hidrocarburos a nivel molecular se disolvieron y junto con las aguas, por presión diferencial, migraron de las rocas generadoras (Titoniano, Kimeridgiano u Oxfordiano) a las rocas almacenadoras (Kimeridgiano y Oxfordiano). Evidencias de este tipo de movimientos intersticiales, se observan al analizar en el microscopio la textura de las rocas, en las que se observa flotando en el seno de los fluidos, material deslavado de la roca almacén, como se observa en la fotografía de la figura 53.

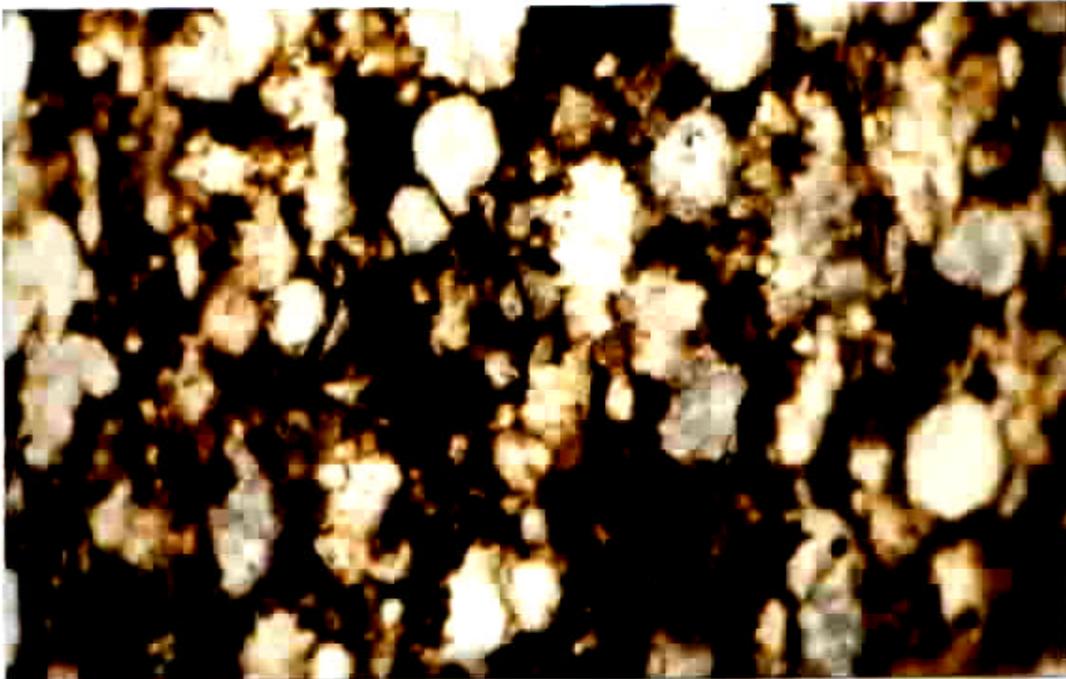


Fig. 53. Microfotografía de lámina delgada que muestra material deslavado que ha sido desprendido por el flujo ascendente de los hidrocarburos, como muestra de los movimientos intersticiales que se llevan a cabo entre los espacios inter cristalinos y/o inter granulares de las rocas. Pozo Batab2; Objetivo 10X; Luz polarizada.

Acumulación

En la secuencia sedimentaria del Jurásico Superior existen rocas con capacidad apropiada para almacenar fluidos. Estas están presentes principalmente en el Kimeridgiano (facies C y E), constituyen la franja de bancos oolíticos dolomitizados ubicada en la porción occidental de la Sonda de Campeche. En

dicha franja se tiene la mayor potencia de desarrollos oolíticos; así como los mejores valores de porosidad. En la región CantareHCaan, también en el Kimeridgiano, se desarrollan bancos oolíticos de menor extensión y espesor los cuales son suficientes para constituir yacimientos económicamente explotables. Otras rocas con calidad de almacenadoras son los cuerpos arenosos del Oxfordiano, presentes en los campos Ek, Balam, Lum, Bacab y Chac, situados en la porción NE del área, constituidas por una gran cantidad de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca, con porosidades que varían de 10% a 25% y permeabilidades con un rango de 450 a 2250 milidarcys. La producción de estas arenas ya fue comprobada con la perforación del pozo Ek101 resultando productor de aceite de 28° API y posteriormente por el Balam1, con una producción de 5983 b/d.

Roca Sello

Las rocas sello están representadas por los cuerpos arcillosos del Titoniano, Kimeridgiano y Oxfordiano, que son generadoras e impermeables y además de las evaporitas y los cuerpos de sal que han intrusionado la columna jurásica constituyendo trampas combinadas como en el campo EkBalam. Se tienen también las calizas criptocristalinas del Cretácico Superior que en condiciones naturales son prácticamente impermeables y su distribución cubre toda el área de estudio.

Entrampamiento

Como resultado de los trabajos realizados por el área de geología de yacimientos, se concluye que: todos los yacimientos hasta ahora conocidos que constituyen trampas en el Jurásico en la Sonda de Campeche, se comportan como trampas combinadas. Por su origen, se pueden considerar estratigráficas, tanto las de la franja oolítica del Kimeridgiano, como las de las barras arenosas del Oxfordiano; sin embargo, los procesos dâstróficos posteriores generaron deformaciones transformando estos reservorios en anticlinales resultado de la acción de un sistema combinado de esfuerzos dando lugar a todos los yacimientos jurásicos que hoy conocemos en la Sonda de Campeche.

Selección de Áreas

En toda la secuencia del Jurásico Superior se observan evidencias de hidrocarburos, mediante la observación de las muestras de canal y de núcleos.

Estos hidrocarburos de acuerdo a estudios geoquímicos, se encuentran más evolucionados en la porción Sur del área (Campos Pto. Ceiba, Luna, Yum, Citam, Hayabil, Sinan, Uech, Och, etc.) y menos evolucionados en la región norte del área (Campos: Ku, Cantarell, Zaap, Chac, Batab, etc.).

De acuerdo a lo anterior, con miras a la selección de áreas, se marcó el límite entre aceite pesado y ligero de acuerdo a los análisis de los factores de generación y acumulación ya tratados con anterioridad y se les asignaron valores que fueron consignados en el plano de la figura 54. Se consideró que la suma de los dos valores (generación y acumulación), aún cuando tienen cierto grado de subjetividad, se pueden configurar y servir de guía para la selección de áreas y jerarquización de localizaciones.

Se obtuvieron en primer término dos divisiones mayores en base a la calidad de aceite esperado, denominadas zonas “A” y “B”. A la zona “A” le corresponde la distribución de aceite ligero, cubre las porciones centro y sur del área; mientras que a la zona “B” le corresponde la distribución de aceite pesado y queda circunscrita a la porción norte.

A su vez, se subdividieron estas dos zonas en cuatro áreas respectivamente, se jerarquizaron con base en la coincidencia de sus factores en áreas de 1°, 2°, 3° y 4° orden. Considerando como de primer orden aquellas áreas en las que todos los parámetros de generación, acumulación y entrapamiento de hidrocarburos están presentes y de 2°, 3° ó 4° orden aquellas donde falta uno o más parámetros.

Dentro de la zona “A” de aceite ligero, en la que el rango de calificaciones varía de 10 a 2, se jerarquizaron cuatro áreas, considerando como de primer orden, aquellas cuyos valores están entre 8 y 10 como lo son las localizaciones Ixmimí-1, Chum-1 y Pep-1, que se ubican en la porción sur occidental de la Sonda de Campeche. Con respecto a la zona “B”, de aceite pesado, el valor máximo es de 6 y se postula al noreste de las localidades IBZaap-Takín y se jerarquizaron dos áreas que enmarcan los valores de 2 a 6 respectivamente, que incluyen entre las más importantes las localidades Maloob, Bacab, Taki, Ek y Balam; algunos de ellos constituyendo actualmente campos en desarrollo.

Si bien las localidades de la Zona “B” son las que para objetivo Kimeridgiano tienen las calificaciones más bajas, es conveniente citar que en estas se cubre también el objetivo de las rocas del Oxfordiano, lo que aún cuando quedan en la zona de aceite pesado, las ubica en buen plano desde el punto de vista de la prospección petrolera.

para las rocas del Oxfordiano. Apoyado en el Código de Nomenclatura Estratigráfica (1983) en sus artículos 3 a 9 y 22 a 30 relativo a las unidades litoestratigráficas, respaldado por la Guía Estratigráfica Internacional (1974) en sus capítulos 3 y 5 relativos a estas mismas unidades.

Sedimentarias

El depósito de los sedimentos que constituyen las rocas del Jurásico Superior se llevó a cabo en un marco eminentemente transgresivo, donde dos tipos principales de ambientes incidieron en la sedimentación. Uno marino restringido, con zonas de intermarea, submarea y supramarea con poca circulación de agua y depósitos pelíticos, micríticos y evaporíticos. Otro, marino abierto, con zonas de alta y baja energía, con depósitos de carbonatos tamaño rudita y arcillosos de texturas finas.

Geoquímicas

En la secuencia sedimentaria del Jurásico Superior existe materia orgánica principalmente de tipo algáceo y en menor proporción de tipo leñoso, carbonoso y herbáceo, con grado de alteración térmica de moderada a fuertemente madura, que la ubica en la fase de generación de hidrocarburos líquidos a gaseosos y de acuerdo al Índice Tiempo Temperatura (ITT), prácticamente toda el área de estudio se encuentra en la fase de generación.

Diagenéticas

Los procesos diagenéticos más frecuentes son la dolomitización, la disolución, la micritización, la piritización y la silicificación; que influyeron notablemente en la acumulación de los hidrocarburos. El proceso de dolomitización, generalmente se refleja en el incremento de porosidad, por su parte el proceso de recristalización incrementa el contenido de carbonatos fácilmente fracturables, dándole a las rocas carbonatadas calidad de rocas almacenadoras.

Estructurales

En la Sonda de Campeche existen tres estilos estructurales: uno debido a esfuerzos de distensión llevado a cabo durante el Jurásico que generó fallas normales con sensible dirección norte sur en toda la región, otro ocasionado por esfuerzos de compresión llevados a cabo durante el Cretácico que provocaron el basculamiento de bloques y fallamiento inverso (Pilar de Akal), un tercero llevado a cabo durante el Oligoceno-Mioceno que ocasionó deformaciones intensas con sensible dirección NWSE, cubriendo los estilos anteriores y produciendo empujes salinos que inyectaron la sal a niveles

superiores formando fallas radiales y fracturamiento en bloques (Complejo Cantarell). Como última etapa en estos procesos diastróficos a manera de una tafrogénesis vino una etapa de relajamiento de la cubierta sedimentaria más reciente dando lugar una gran cantidad de fallas lístricas y de crecimiento que generaron entre otras cosas Cuencas de depósito como lo son las de Macuspana y Comalcalco entre las más importantes.

Económicas

Desde el punto de vista económico petrolero se califica a las unidades “C y E” del Kimeridgiano, como almacenadoras del Jurásico, dado que existen yacimientos en estas facies tanto en la porción occidental (Campos: Uech, Batab y Och), como en la porción oriental (Campo Cantarell), con producciones que varían de 4000 a 10 000 barriles por día de aceite; lo cual la transforma en la unidad de más importante del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. Por lo que respecta a las arenas del Oxfordiano, el pozo Ek101, comprobó su potencial almacenador al resultar productor de aceite de 28° API, con una producción inicial de 1288 barriles por día.

Selección de Áreas

Con base en la calidad de los aceites se dividió La Sonda de Campeche en dos zonas: “A” de aceite ligero y “B” de aceite pesado; cuya distribución es como sigue: de acuerdo a su grado de importancia, se subdividieron y jerarquizaron en cuatro áreas exploratorias de 1°, 2°, 3° y 4° orden; lo que sirve de guía para establecer el orden de perforación de las localizaciones exploratorias aprobadas, cuyo objetivo es el Jurásico.

Epílogo

De esta manera se cumple con el objetivo de este trabajo, que estuvo enfocado a establecer la Estratigrafía del Jurásico Superior en su concepción más amplia, asentando las bases para la investigación y la prospección petrolera en la Sonda de Campeche.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Aguayo-Camargo E., 1966. Estudio geológico de la zona transicional comprendida entre la

Cuenca de Macuspana, Campeche y la porción

occidental de la Plataforma de Yucatán. UNAM. Tesis Profesional.

Amos S., Quezada-Muñetón J. M., 1989. Stratigraphic Correlation Chart, Gulf of Mexico Basin: University of Texas at Austin and Petróleos Mexicanos.

Angeles-Aquino F. J., 1985. Prospecto "Tunich-Abkatun-Ixtoc". Superintendencia de Paleosedimentación, Zona Marina, Petróleos Mexicanos, 48 pgs., inédito..

Angeles-Aquino F. J., 1986. Prospecto Jurásico. "Área Marina". Superintendencia de Paleosedimentación, Zona Marina, Petróleos Mexicanos, 48 pgs., inédito.

Angeles-Aquino F. J., 1987. Prospecto Tunich-Puerto Ceiba Jurásico. Evaluación geológica del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. Superintendencia de Paleosedimentación, Zona Marina, Petróleos Mexicanos, 86 pgs., inédito.

Angeles-Aquino F. J., 1988. Estudio estratigráfico sedimentológico del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche, México. Revista Ingeniería Petrolera, volumen XXVIII, N° 1, pgs. 45-55.

Angeles-Aquino F. J., 1990. Unidades litoestratigráficas del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. Resumen de la X convención geológica nacional de la Sociedad Geológica Mexicana, pgs. 69-70.

Angeles-Aquino F. J., 1995. Postulado Sedimentológico sobre la formación de hidrocarburos en la Sonda de Campeche, México. Revista Ingeniería Petrolera. volumen. XXXV, N° 3. pgs. 44 - 59.

Angeles-Aquino F. J., García-Hernández J., 1989. Prospecto CEEHCHUC. Estudio estratigráfico sedimentológico de la porción oriental de la Sonda de Campeche. Superintendencia de Paleosedimentación, Zona Marina, Petróleos Mexicanos, 69 pgs., inédito.

Angeles-Aquino F. J., Ortuño-Maldonado E. Soriano-Mercado E., 1991. Prospecto Tunich-Puerto Ceiba Cretácico. Evaluación geológica del Cretácico en la Sonda de Campeche.

Superintendencia de Paleosedimentación, Región Marina, Petróleos Mexicanos, 40 pgs., inédito.

Angeles-Aquino F. J., Reyes-Núñez. J., Quezada-Muñetón. J. M., Meneses-Rocha. J. J., 1994. Tectonic Evolution, Structural Styles and Oil Habitat in the Campeche Sound, Mexico. Transactions of the Gulf Coast Association of geological Societies Vol. XLIV, pgs. 53-62.

Angeles-Aquino F. J., Vizcarra-Valenzuela C., Puerto-Zapata C., León-Tapia C., Fuentes-López U., 1983. Monografía Petrolera de la Zona Marina. Superintendencia General de Exploración, Petróleos Mexicanos, 110 pgs., inédito..

Araujo-Mendieta J., Basañez-Loyola. M. A., Márquez M. A. D., 1986. Estudio estratigráfico sedimentológico de las rocas del Jurásico en el prospecto "Área Marina de Campeche". Proyecto C-5008 IMP, inédito.

Arroyo-Pichardo A., 1974. Prospecto "Agua Territoriales" (Golfo de México). Superintendencia de Interpretación Geofísica, Superintendencia de Exploración, Zona Sur, Petróleos Mexicanos, inédito.

Bally W. A., Villaseñor-Hernández J., Quinteros Carrillo R., Cruz Rodríguez A., Castillo-Zavala P., 1994. Estudio sísmico-estructural Ayin-Zazilha-Ha. Subgerencia de Interpretación Geofísica Geológica, Gerencia de Exploración, Región Marina, Petróleos Mexicanos, inédito.

Basañez-Loyola M. A., Brito-Arias. M., 1988. Estudio diagenético del Jurásico Superior en pozos de la Zona Marina de Campeche. Proyecto C-3043 IMP, inédito.

Bass M. N., Zartman, R. E. 1969. "The basement of Yucatán Peninsula". (abs.). Amer. Geophys. Union Trans., 50, 313.

Bonet F., 1973. Microfacies del Jurásico Superior-Cretácico en la región de Tlaxiaco, Oaxaca; Proyecto C-1005 del Instituto Mexicano del Petróleo y Petróleos Mexicanos, 43 pgs., 39 láminas, inédito.

- Buffler R. T.**, 1984. Proyecto de perforación en el mar profundo, trayecto 77, Sureste del Golfo de México, Geological Society American Bulletin, v. 95, pgs. 226-238.
- Buffler R. T.**, 1980. Estructura e Historia Geológica Inicial de la Profunda Cuenca Central del Golfo de México. Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Texas.
- Cal y Mayor-Cabrera J.M.**, 1987. Potencial generador de hidrocarburos del Jurásico en la Sonda de Campeche. Boletín de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México, volumen XVII, N° 5, pgs. 10-20.
- Cantú-Chapa A.**, 1977. Las amonitas del pozo Chac-1, Norte de Campeche (Golfo de México). Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, volumen IX, N° 2, 38 pgs., 2 figs.
- Cantú-Chapa A.**, 1982. The Jurassic-Cretaceous Boundary in the subsurface of eastern Mexico. Journal of Petroleum Geology 4, 3, pgs. 311-318.
- Cantú-Chapa A.**, 1992. El Kimeridgiano Inferior del Subsuelo en el Este de México. Revista Mexicana del Petróleo. Año xxxiv, pgs. 30-35.
- Cantú-Chapa A.**, 1994. Informe bioestratigráfico. IPN, ESIA. Sección de Estudios de Postgrado e Investigación. Programa de postgrado de Geología.
- Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica**, 1983, 1984. Código Estratigráfico Norteamericano, difundido en México bajo los auspicios de: Instituto de Geología de la UNAM, Sociedad Geológica Mexicana y Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 87 pgs.
- Coney P. J.**, 1983. Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe. Revista del IMP, pgs. 6-15.
- Contreras y Montero B., Gómez-Luna M. E., Martínez-Cortés A., González-Casildo V.**, 1991. Catálogo de las amonitas de México parte I, Jurásico Superior. Departamento de paleontología, Subdirección de Tecnología de Exploración, Instituto Mexicano del Petróleo, inédito.
- Dickinson W. R.**, 1980. Plate Tectonic Evolution of Sedimentary Basins. Simposium. American Association of Petroleum Geologists. Monterey California.
- Dott, R. H., Jr.**, 1974. Paleocurrent analysis of severely deformed flysch-type strata - a case study from South Georgia Island. J. Sediment. Petrol. 44, 1166-1173.
- Dunbar C. O., J. Rodgers**, 1957. Principios de Estratigrafía. Editado por John Wiley & Sons, Inc.
- Dunham R. J.**, 1969. Early vadose silt in Townsend mound (reef), New Mexico. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, special publication N°14. pgs 139-191.
- Dunham R. J.**, 1962. Clasificación de carbonate rocks according to depositional texture. Reprinted from classification of carbonate rocks. A Simposium, Memoir N° 1, American Association of Petroleum Geologists.
- Embry A. F. and Klovan J. E.**, 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories. Bull. Can. Petrol. Geol. 19, pgs. 730-781.
- Flores-Balboa R.**, 1987. Análisis estratigráfico sedimentológico del Jurásico Superior en la Sonda de Campeche. Petróleos Mexicanos. inédito.
- Flores-Vargas A.**, 1978. Paleosedimentología y Diagénesis del área Chac. Superintendencia de Paleosedimentación. Zona Sur, Petróleos Mexicanos, pgs. 1-11, inédito..
- Flores-Vargas A.**, 1982. Paleosedimentación y Diagénesis de las rocas carbonatadas productoras en el área Chac, de la Sonda de Campeche, México. Boletín de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México, Vol. XXII, pgs. 18-24.
- Flores-Vargas A., Baro-Santos A.**, 1977. Secciones geológicas regionales entre los pozos Chac-1, Kukulcán-1, Campotón-1, Yucatán-1 y entre los pozos Chac-1 y Ticul-1.

Superintendencia General de Exploración, Zona Sur, Petróleos Mexicanos, inédito.

Folk R. L.; 1965; Petrology of sedimentary Rocks. The University of Texas. Geology 370 K, 383 L, 383 M. HEMPHILL'S Austin, Texas, 159 pgs.

Friedman G. M., Sanders J. E., 1978. Principles of Sedimentology. Published by John Wiley & Sons, Inc.

Fuentes-López U., Vizcarra-Valenzuela C., Del Alto-Ramírez A., 1978. Secciones geológicas regionales entre los pozos Akal-1, Chac-1, Kukulkán-1, Colón-1 y entre los pozos Tunich-1, Bacab-1, Akal-1, Chac-1, Chac-2, Chilám-1. Informe Geológico 1082. Distrito CD. Pemex Tabasco, Superintendencia de Exploración, Zona Sur, Petróleos Mexicanos, inédito.

González-Pech G. 1979. Interpretación sísmico-estructural de la estructura Nohoch. Departamento de Geología de Subsuelo, Superintendencia de Exploración, Zona Sur, Petróleos Mexicanos, inédito.

Grabau A. W., 1913. Principles of Stratigraphy. Seiler, New York.

Guía Estratigráfica Internacional 1974. Preparada por la Subcomisión Internacional de Clasificación Estratigráfica (SICE), 205 pgs.

Guzmán-Vega M., Rocha M. M., 1994. The habitat of petroleum of the Mexican Southeastern Basin: A Biological Marker Approach. Final Report. IMP / PETROBRÁS.

Holguín-Quiñones N., 1985. Evaluación geoquímica del Sureste de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos petroleros. Vol. 37, pgs. 3-48.

Holguín-Quiñones N., Anunziata-Romero M., 1983. Estudio Geoquímico de pozos de exploración en la Sonda de CampechePlataforma de Yucatán. Proyecto C-1142, Subdirección de Tecnología de Exploración, Instituto Mexicano del Petróleo, 60 pgs. inédito.

Juárez-Gómez R. E., Landeros-Flores R., 1987. Informe final del pozo Kokay 1A.

Superintendencia de Operación Geológica, Coordinación de Exploración, Zona Marina, Petróleos Mexicanos, inédito.

Keer P. F., 1965. Mineralogía Optica. McGraw-Hill, Book Company. Inc. New York.

Krumbein W. C., Sloss L. L., 1969. Estratigrafía y Sedimentación. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México.

Landeros-Flores R., Neri-León L., 1984. Apéndices paleontológicos de los pozos: Taratunich-1B, Chuc-101, Ku-407, Kambul-1, Mucuy-1, Ixtoc-18, Abkatun-5, Yum-1, Pich-1, Yaabkan-1, Caan-1, Cantarell-2239, Zinic-1 y Pol-79. Departamento de Paleontología, Superintendencia de Exploración, Zona Marina, Petróleos Mexicanos, inédito.

Longoria-Treviño J. F. 1984. Arrecifes y Bancos Calcáreos. Geociencias Program The University of Texas at Dallas.

Longoria-Treviño J. F., 1974. Stratigraphic, Morphologic and Taxonomic studies of Aptian planktonic foraminifera. Tesis de doctorado, publicada por la Revista Española de Micropaleontología, IMP y la Universidad de Texas y de Dallas, 107 pgs. 27 láminas.

Longoria-Treviño J. F., 1993. La terreno estratigráfica: un ensayo de metodología para el análisis de terrenos con un ejemplo en México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, volumen XLIII, num. 2, pgs. 30-48.

Longwell R. Ch. y Flint F. R., 1965. Geología Física. Editorial Limusa Wiley, S. A. México

Lugo-Rivera E., Díaz-Puebla A., Neri-León L., Del Alto-Ramírez, Maldonado-Maldonado J., Ponce-Ramírez M., 1976. Informe final del pozo Chac N°-1. Petróleos Mexicanos, Superintendencia General de Exploración, Departamento de Operación Geológica. Zona Sur, inédito.

Mata-Jurado M.E., 1980. "Sedimentología de las rocas carbonatadas del campo Akal, en el Área Marina de Campeche". Trabajo Recepcional, Escuela de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, inédito.

- Mc Kenzie J.A., Hsü K. J., and Schneider J. F.**, 1980. Movement of subsurface waters under the sabkha, Abu Dhabi, UAE, and its relation to evaporite dolomite genesis, In: *Concepts and Models of Dolomitization* (Ed. by D. H. Zenger J. B., Dunham and R. L. Ethington) Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Miner. 28, 11-30.
- Meneses de Gyves J.**, 1980. Geología de la Sonda de Campeche. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, volumen XXXII, N° 1, pgs. 1-26.
- Meneses-Rocha J.** 1987. Marco tectónico y paleogeografía del Triásico Tardío-Jurásico en el Sur este de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, volumen XXXIX, N° 2, pgs. 3-69.
- Monroy-Santiago F., Ruiz-Morales S. J.**, 1994. Interpretación sedimentológica de las rocas almacenadoras del Jurásico Superior Oxfordiano de la Sonda de Campeche. Libro de resúmenes de la XII Convención Geológica Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana. pgs.110-112.
- Namson J., López-Arriaga F., Hernández-García S., Castillo-Celestinos F. X., Goo-Santos R., Murillo-Alvarado A., Ruiz-Molina S., Reyes-Tovar E.**, 1995. Proyecto: Interpretación geológica del subsuelo "Área Cantarell", Subgerencia de control geológico de la perforación, Gerencia de Exploración, Región Marina, Petróleos Mexicanos, inédito.
- Olivas-Ramírez M.**, 1975. Aspectos paleogeográficos de la región Sureste de México en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. XXVI, pgs. 323-336.
- Olivera-Basurto M.**, 1981. Estudio estratigráfico de las rocas carbonatadas del área de Palizada Campeche. Superintendencia de Paleosedimentación, Zona Sur, Petróleos Mexicanos, 11 pgs., inédito.
- Ornelas-Sánchez M., Aguilera-Franco N., Franco-Navarrete S., Granados-Martínez M., Bello-Montoya R.**, 1993. Biozonificación y análisis de facies del Jurásico Superior en pozos del Área Marina de Campeche; Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología; volumen 6 num. 1 pgs. 11-47.
- Ortuño-Maldonado E., Angeles-Aquino F. J.**, 1994. Estudio estratigráfico sedimentológico del Cretácico en la Sonda de Campeche, México. Libro de resúmenes de la XII Convención Geológica Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana, p. 8.
- Palacios-Salinas H.**, 1992. Manual para el estudio microscópico de rocas sedimentarias; Instituto Politécnico Nacional, Secretaría de Educación Pública.
- Peña-García J. S.**, 1987. Compilación de las monografías petroleras de las Zonas Norte y Noreste de la República Mexicana. Petróleos Mexicanos; inédito.
- Pettijohn J. F., Potter E. P.**, 1964. Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures. Springer-Verlag, Berlin Göttingen Heidelberg.
- Pettijohn J. F.**, 1957. Sedimentary Rocks. Harper and Brothers. New York.
- Ponce de León-Obregón A.** 1986. Estudio bioestratigráfico de las rocas del Jurásico en el prospecto "Área Marina de Campeche". Proyecto C-5008, Subdirección de Tecnología de Exploración, Instituto Mexicano del Petróleo, inédito, 34 pgs. 18 lams
- Potter E. P.**, 1984. Sandstone Petrology and Plate Tectonic classification of Basins. Prepared for Megasedimentology Geol. 653 pgs. 15.
- Potter E. P., Pettijohn J. F.**, 1977. Paleocurrents and Basin Analysis; Springer-Berlin Göttingen Heidelberg.
- Puerto-Zapata R. C., Díaz-Zamora F.**, 1984. Estudio sísmológico estructural determinado por el método tridimensional en el Área Marina de Campeche; Revista Ingeniería Petrolera de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México.
- Reyes-Núñez J.**, 1979. La exploración geofísica en la Plataforma Marina de Campeche. Congreso Panamericano de Ingeniería del Petróleo.

Salmerón-Ureña P., 1980. Bioestratigrafía de las rocas carbonatadas de los pozos del área Chae Champotón-Palizada. Proyecto C- 1085. Subdirección de Tecnología de Exploración, Instituto Mexicano del Petróleo, inédito.

Salmeron-Ureña P., 1982. Estudio bioestratigráfico de las rocas carbonatadas del Mesozoico y Terciario del Área Marina de Campeche. Proyecto C-1110. Subdirección de Tecnología de Exploración, Instituto Mexicano del Petróleo, inédito.

Sánchez-Montes de Oca R. 1979. Geología del Área Marina de Campeche. XVII Congreso Nacional de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México.

Sánchez-Montes de Oca R., López-Ticha D., Angeles-Aquino F. J., Bortolotti Andrade C., Espinoza López L., Veles Scholvink D., 1979. IX Excursión geológica al sureste de México, Superintendencia General de Exploración, Zona Sur, Petroleos Mexicanos; inédito.

Sánchez-Ortiz B., Puerto-Zapata R. C., 1978. La actividad geofísica exploratoria en el Área Marina de Campeche. Congreso de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México.

Sangree J. B., Mitchum R. M., García-Fernández R., Baltazar-Chongo O., Durán-G., Hernández-Carrera G., Baldit-Sandoval A., 1995. Estratigrafía de secuencias del proyecto Lum. Subgerencia de Interpretación Geofísica Geológica, Gerencia de Exploración, Región Marina, Petróleos Mexicanos, inédito.

Soto-Jaramillo F., Zamudio-Angeles D., 1988. "Estudio bioestratigráfico del Cretácico y Terciario Inferior en los pozos del Área Marina de Campeche". Proyecto C-5014, 76 pgs., inédito.

Spalleti L. A., 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. IMPSEG. Facultad de Ciencias Naturales, UNLP, Carrera de Investigador, CONICET. Buenos Aires, Argentina, 175 pgs.

Stanford-Bestt J., 1989. Sismología estratigráfica en la exploración y desarrollo de campos en la Sonda de Campeche. Boletín de la

Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, vol. XXXIX, num.3.

Viñas-Gómez F., Ponce de León-Obregón A., 1988. Estudio bioestratigráfico de las rocas del Jurásico en el prospecto UechPek de la Zona Marina de Campeche; Subdirección de Tecnología de Exploración, IMP.166 pgs. informe inédito.

Weyl R., 1974. El desarrollo paleogeográfico de América Central, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. XXV, pgs. 375-415.

GLOSARIO

Acción de las Olas: Lo que hacen es mover o regular los fondos marinos.

Acreción: Cierre de una cuenca oceánica, equivalente a sutura.

Alteración: Es un fenómeno o un proceso físico o químico por las aguas cargadas de ácidos o por los cambios bruscos de temperatura.

Ambiente Continental: Se lleva a cabo sobre los continentes, incluyendo los cuerpos de agua situados dentro de ellos tales como ríos y lagos.

Ambiente Marino: Es exclusivo de zonas ocupadas por el mar.

Ambiente Mixto: Se lleva a cabo en las zonas litorales donde existe influencia tanto marina como continentales.

Ambientes: Se consideran oficialmente tres tipos. Continental, Mixto o Transicional y Marino.

Amonitas: Grupo de moluscos cefalópodos extinguidos relacionados con el actual nautilus perlífero de concha dividida en cámaras. Abundantes en el Mesozoico.

Análisis Elemental: Permite determinar la cantidad y tipo de materia orgánica en función de establecer las relaciones atómicas H/C y O/C.

Anhedral: Son cristales cuyos límites no presentan caras cristalinas.

Aragonita de Magnesio: Es una variedad de aragonita que contiene más o menos una parte por millón de magnesio.

Arcosa: Es una roca que contiene más del 30% de feldespatos (Krinine).

Argilita: Es una roca sedimentaria de grano fino que carece de fisilidad y de más dureza que una roca arcillosa.

Bafflestone: Constituida por fragmentos de organismos que entrapan los organismos entre ellos.

Bentonita: Es una lutita o arcilla plástica de origen ígneo, compuesta en su mayor parte de montmorillonita.

Berma: Pequeña terraza que se origina por la acción de las olas de tormenta dentro de los ámbitos de playa distal o frontal y cuya granulometría es mayor que los depósitos equivalentes a dichas playas.

Bindstone: Lo constituye una masa algácea que junta los sedimentos.

Bioclastos: Son uno de los constituyentes más importantes de las calizas, los tenemos

formando colonias como los corales en fragmentos,

formando restos que han sido transportados antes de formar la roca.

Bioherma: Es una estructura en forma de montañas, constituida por el crecimiento in situ de secreción de esqueletos de organismos césiles.

Biolitita: Es una caliza formada por enlazamiento de organismos durante la depositación (clasificación de Folk).

Biostroma: Es una acumulación en forma laminar de restos de esqueletos.

Bitúmen: Es aquella materia orgánica soluble en solventes convencionales.

Bounstone: Dunham denominó así a las rocas carbonatadas que presentan evidencias de haber sido ligadas durante el depósito, es sinónimo de las rocas arrecifales que forman estructuras ligadas o estromatolitos o la biolitita de Folk.

Brecha de Colapso: Es una brecha formada por el rompimiento de partículas como resultado de la disolución subyacente de evaporitas y por la subsecuente relitificación de las partículas angulares.

Brecha Sedimentaria: Es una roca sedimentaria terrígena de grano grueso, formada por la litificación de grava angular.

Brecha volcánica: Es una roca piroclástica formada principalmente por bloques

Brecha: Es un término generalizado para cualquier roca constituida por partículas irregulares o angulares.

Calcarenita: Es una roca caliza constituida por partículas del tamaño de la arena (clasificación de Grabau)

Calcilita: Es una roca caliza constituida por partículas del tamaño de la arcilla o el limo (clasificación de Grabau)

Calcirudita: Es una roca caliza constituida por partículas del tamaño del guijarro y/o canto rodado (clasificación de Grabau).

Calcita de Magnesio: Es una variedad de la calcita que contiene más de 10% moles de $MgCO_3$ en solución sólida.

Caliza: Roca carbonatada formada principalmente por calcita ($CaCO_3$), misma que se forma por precipitación debido a la pérdida de CO_2 , o bien porque los organismos

fijan el carbonato de calcio, o por ellos mismos o fragmentos de ellos.

Capa: Una capa o capas es la más pequeña unidad litoestratigráfica formal de las rocas sedimentarias.

Capacidad: Es el volumen de sedimentos que puede transportar una corriente.

Carbonatos Cristalinos: Dunham denominó así a todos los carbonatos que no retienen su textura de depósito.

Carbono Orgánico Total (COT): Es una medición de la riqueza orgánica de las rocas sedimentarias, es utilizado para la caracterización del potencial petrolero de las rocas generadoras y está basado en el origen de reservas petroleras conocidas.

Carga: Se dice que una corriente tiene una carga cuando transporta un volumen total de sedimentos y se expresa en unidades de masa/tiempo.

Casificación de Dunham: Esta clasificación esta basada principalmente en la textura de depósito misma que está definida por tres características principales 1°) presencia o ausencia de lodo (fango de carbonato) que es básico para distinguir una roca carente de lodo como el "grainstone" de una roca constituida por lodo como "mudstone"; 2°) abundancia de granos que permite subdividir a las rocas con lodo en " mudstone, wackestone, packstone". 3°) Presencia o evidencia de ligamento durante el depósito que caracteriza las rocas arrecifales como el bounstone.

Catagénesis: Proceso en el cual los sedimentos ya consolidados son sepultados por nuevos sedimentos alcanzando temperatura y presión adecuadas para generar nuevos cambios en la materia orgánica formando el kerógeno.

Cementación Tardía: Se lleva a cabo posterior a la depositación.

Cementación temprana: Es la que ocurre contemporánea a la depositación.

Cemento de Espato Calizo (Espatita): Lo constituyen cristales de 10 micras o más de diámetro, es transparente en lámina delgada, se forma por precipitación entre los granos formando cemento.

Clasificación de Embry y Klován: Propusieron una modificación a la clasificación de Dunham en cuanto a rocas arrecifales (boundstone), dicha clasificación propone dos tipos de rocas existentes en rocas arrecifales Aloctonas y Autoctonas. Las rocas Alóctonas se

subdividieron en dos tipos denominadas "Floatstone y Rudstone" y las Autóctonas en tres denominadas " Bafflestone, Bindstone y Framestone".

Clasificación de Folk: Considera que los elementos básicos de las calizas son dos Ortoquímicos (micrita y espatita) y Aloquímicos(fósiles, olitas, pellas, etc.) , Folk sistematiza esta clasificación sin tomar en cuenta el material terrígeno en función de estos dos elementos principales.

Constituyentes Aloquímicos: Proviene de la palabra "allos" que quiere decir diferente de lo normal, son aquellos que se han formado en el interior de la cuenca pero que han sufrido transporte.

Constituyentes Ortoquímicos: Proviene de la palabra "ortos" que quiere decir verdadero, son precipitados químicos normales formados dentro de la cuenca de depósito de la misma roca y muestran nula o pocas evidencias de transporte.

Correlación: Es un procedimiento que sirve para establecer la correspondencia entre partes geográficamente separadas de una unidad geológica.

Corriente Competente: Se dice que una corriente es competente cuando puede transportar partículas de diferentes tamaños.

Corriente de turbiditas: Es una corriente con densidad variable, la cual fluye como resultado del contraste de densidad creado por la turbulencia suspendiendo un cuerpo de sedimentos en forma de corriente.

Corrientes de Deriva: Son aquellas formadas por los vientos sobre las superficies de aguas, se localizan cerca de las plataformas continentales.

Corrientes de Mareas: Son las producidas por los movimientos de la tierra y la atracción de la luna, estas corrientes son las que alcanzan más velocidad.

Corrientes de Turbidez Constantes Son aquellas producidas por los rios cargados de sedimentos que al instalarse sobre la superficie del agua o las margenes de los mares sedimentarios, descendieron muchos sedimentos y se depositaron en los fondos marinos.

Corrientes de Turbidez Espasmódicas: Son aquellas en la cual en una corriente muy pronunciada se acumulan sedimentos para precipitarse en masa y depositarse en el fondo marino.

Corrientes de Turbidez: se dividen en dos tipos constantes y espasmódicas.

Cratón: Es la parte central, extensa y estable de una masa continental.

Cuenca Batimétrica: Es una depresión cerrada sobre el suelo de un cuerpo de agua.

Cuenca Estructural: Es una cuenca tectónica en la cual los movimientos de la corteza son posteriores a la acumulación de los sedimentos.

Cuenca Morfológica: Es una depresión superficial cerrada, de cualquier origen.

Cuenca sedimentaria: Es una cuenca en la cual los sedimentos están acumulándose o ya fueron acumulados.

Cuenca Tectónica: Es una cuenca conteniendo un cuerpo grueso de estratos sedimentarios y/o volcánicos, el cual pudo depositarse a causa de anteriores movimientos de la corteza o acompañando a la acumulación de los estratos.

Delta: Es un cuerpo lobulado que consiste de sedimentos que han sido transportados al final de un cauce de río por una corriente de agua y depositado en su mayor parte subacuáticamente.

Detritus: Es toda partícula formada por el desgaste lento de otros materiales, sean o no terrígenos.

Diacrónico: se aplica a una unidad de roca que tiene una o dos superficies de límite no sincrónicas, o a un límite que no es sincrónico (que transgrede el tiempo).

Diagénesis constructiva: Es la que se lleva a cabo preservando las rocas originales

Diagénesis Destructiva: Se lleva a cabo destruyendo las rocas originales.

Diagénesis Orgánica: Es el proceso mediante el cual los compuestos orgánicos que constituyen a los seres vivos, son sometidos al metabolismo microbiano, mismo que se realiza a temperaturas no mayores de 50°C.

Diagénesis: Es la suma de cambios fisicoquímicos, inorgánicos y bioquímicos en un depósito sedimentario después de la acumulación inicial, excluyendo el metamorfismo.

Diastema: Es un intervalo de tiempo donde los estratos no son activamente acumulados en un ambiente de depósito, aunque la duración de una diastema no es especificada fácilmente, el término es apropiado donde el intervalo de tiempo que hubo sin depositación es bastante corto.

Diastrofismo: Es un conjunto de fenómenos orogénicos y epeirogénicos que motivan grandes transformaciones sobre la corteza terrestre.

Dolomías Primarias: Son de diagénesis temprana contemporáneas al depósito, deben existir PH mayor de 8 y temperaturas de 30^o 32^o C, los tirantes de agua menores a 1 cm.

Dolomías: La dolomía es una roca formada por dolomita Mg Ca (CO₃)₂, un mineral más soluble que la calcita y que se forma en presencia de fuertes concentraciones de minerales de magnesio.

Dolomitización: Forma parte de un proceso diagenético conocido como remplazamiento y mediante el cual una caliza es convertida en dolomía, este cambio puede ocurrir durante el depósito, inmediatamente después o aún después de la litificación.

EH: (Potencial de reducción). Es una unidad de medida numérica expresada en milivolts de la intensidad relativa de oxidación o reducción en una solución, o de la concentración de electrones en una misma solución.

Elutriación: Es la característica de los materiales a dejarse transportar, los más gruesos se depositan antes que los más finos.

Energía de Activación: Es la energía que se requiere para poder activar la materia orgánica, sirve para saber en que momento pueden dar hidrocarburos y bajo que condiciones de temperatura.

Eolianita: Es un depósito de duna litificado, este término se utiliza principalmente para los depósitos del Pleistoceno.

Erosión: Es un conjunto de procesos por medio de los cuales las rocas son disgregadas o disueltas y son transportadas de un lugar a otro.

Esparita: Combinación de dos palabras que indican cemento a condiciones normales.

Espato: Es la caliza espática de veta, generalmente hidrotermal.

Estabilización Mineralógica: Es la tendencia que tienen los sedimentos carbonatados a establecer un nivel de equilibrio, mediante la eliminación de condiciones inestables.

Estratigrafía: Es la ciencia que se encarga del estudio de las rocas estratificadas. Su propósito es desentrañar el origen de los sedimentos, los agentes que los transportaron, el medio en que tuvo lugar el depósito y las relaciones de unos a otros, tanto horizontal como verticalmente (Longwell y Fint).

Evaporitas: Son depósitos sedimentarios compuestos por minerales precipitados a causa de salmueras concentradas por evaporación.

Exsolución: Proceso mediante el cual se forma calcita y dolomita en forma espontánea por separación de una calcita de alto magnesio.

Facies: Son las características litológicas y biológicas de un depósito sedimentario, impartidas por el medio ambiente depositacional.

Fango de Cocolitos: Es un sedimento pelágico que consiste predominantemente de los restos de esqueletos de cocolitos.

Fango de Globigerinas: Es un fango que consiste de aproximadamente 30% de sedimentos de conchas de foraminíferos planctónicos principalmente globigerinas, pero incluye también otros géneros.

Fango: Es un sedimento pelágico que contiene más del 30% de restos de esqueletos de microorganismos.

Fenómenos Epeirogénicos: Son los responsables de el movimiento de grandes dimensiones que da origen al movimiento de grandes áreas.

Fenómenos Orogénicos: Son una serie de procesos responsables de la formación de montañas.

Floatstone: Es equivalente al wackestone pero los granos son biógenos visibles (soporte de lodo) mayores de 2 mm.

Foraminíferos: Grupo de protozoos rizópodos, principalmente marinos, que forman conchas, casi siempre de carbonato de calcio. Algunas conchas son microscópicas pero otras pueden alcanzar el tamaño de una moneda.

Formación: Es la unidad fundamental de la clasificación litoestratigráfica. Una formación es un cuerpo de roca que se identifica por sus características líticas y por su posición estratigráfica, generalmente aunque no necesariamente es tabular y se puede cartografiar en la superficie de la tierra o seguirse en el subsuelo.

Fósil: Restos de organismos o signos directos de su presencia, conservados en las rocas.

Framestone: Es equivalente a un coral todo soldado.

Grainstone: Dunham denominó así a todas aquellas rocas carbonatadas ausentes de lodo y con soporte de grano.

Grauvaca: Es una arenisca compuesta por partículas de cuarzo angular, pedernal y abundantes fragmentos de rocas metamórficas con poco o nada de cemento y de feldspatos,

conteniendo más del 12% de micas y cloritas (Krinine).

Grupo: El grupo es la unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente superior a la formación; un grupo puede estar completamente constituido por formaciones nombradas, o puede no estar totalmente compuesto por formaciones nombradas.

Hidrocarburos: Son cadenas de átomos de hidrógeno y carbono exclusivamente. De acuerdo al arreglo estructural de sus átomos de carbono en la molécula pueden ser de cadena abierta o cerrada, conforme al tipo de enlace pueden ser saturados y no saturados, conforme a su contenido de carbono e hidrógeno se presentan en las siguientes fases físicas gases, líquidos y sólidos.

Intraclastos: El término intraclasto significa "arrancado", son fragmentos de sedimentos carbonatados penecontemporáneos debilmente consolidados que han sido "arrancados" por corriente del fondo y redepositados.

Es una partícula no esquelética del tamaño de la arena o mayor, cuya textura es análoga a un fragmento de roca separada de materiales carbonatados endurecidos que están acumulándose dentro de una cuenca de depositación.

Isócrono: intervalo de igual duración.

Kerógeno: Es un nombre colectivo aplicado a gran variedad de hidrocarburos sólidos que tienen cadena larga de estructuras de polímeros, que son insolubles en solventes orgánicos y que pueden ser transformados en petróleo.

Kerógeno: Geopolímero principal precursor del petróleo, constituido por materia orgánica diseminada en las rocas sedimentarias y que es insoluble en ácidos, bases y disolventes orgánicos comunes.

Lodo de calcita microcristalina (micrita): lo constituyen fragmentos de 1 a 4 micras, subtranslúcido en lámina delgada, se forma por precipitación química rápida del agua de mar.

Mar Epírico: Es un mar extenso, sumergiendo un bloque continental, cuya gran anchura y profundidad somera hacia afuera amortiguan el flujo lunar periódico.

Materia Orgánica Húmica: Esta constituida por material leñoso, la relación Hidrógeno a Carbón es < 1 .

Materia Orgánica Sapropélica: Está constituida principalmente por algas y bacterias

alteradas. Su relación Hidrógeno a Carbón es > 1 .

Materia Orgánica: Constituida por sustancias naturales, cuya composición química promedio involucra los elementos Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitógeno y Azufre. En la misma se encuentran sustancias precursoras del petróleo que pueden ser agrupadas de la siguiente manera: Proteínas, Lípidos, Carbohidratos, Lignina y Celulosa.

Medio Ambiente Euxínico: Es el ambiente que prevalece en el fondo del agua estancada en una cuenca aislada y en la cual el sulfuro de hidrógeno está presente.

Metagénesis: Se lleva a cabo a altas temperaturas y grandes profundidades, es considerada la última etapa dentro de la transformación de la materia orgánica, en esta etapa se genera el metano y el carbón.

Micrita Vadosa: Es una roca compacta que se transforma en deleznable por constante movimiento de agua intersticial como sucede con el agua vadosa en las diferentes estaciones del año.

Micrita: Es un lodo calcáreo litificado, depositado mecánicamente, el cual ocurre como una matriz entre partículas del tamaño de la arena en una caliza, o como partículas únicas en una caliza de grano fino, es menor de 4 micras.

Microspatita: Es un mosaico de cristales neomórficos con diámetros que alcanzan de 4 a 10 micras.

Microscopía Óptica: Mediante ella es posible discriminar e identificar la materia orgánica de diferentes orígenes y determinar su grado de evolución o maduración, como es el caso de la reflectancia de vitrinita en el kerógeno, o el estudio de palinomorfos en luz transmitida.

Miembro: Un miembro es una unidad litoestratigráfica formal de rango inmediatamente inferior a la formación y siempre parte de alguna formación.

Migrabitúmen: Son bituminoides sólidos y subsólidos se estudian, se estudian químicamente, ópticamente e isotópicamente.

Mollasse: Es un cuerpo cuneiforme que consiste de una sucesión de estratos marinos someros y no marinos, cuyas partículas fueron derivadas de la erosión de rellenos geosinclinales más antiguos.

Mudstone: Dunham denominó así a todas aquellas rocas carbonatadas que tienen menos del 10% de granos-volumen, este término no

especifica composición mineralógica, ni que el lodo es de origen clástico.

Necton: Organismos acuáticos capaces de nadar únicamente distancias cortas.

Neomorfismo: Reacción isoquímica o de estado sólido en la que por cada molécula de aragonita que se disuelve precipita otra de calcita, dando como resultado cambios en la textura original de la roca.

Nivel de Compensación: Es el nivel por debajo del cual los carbonatos se van a disolver.

Nivel de Oxigenación: Es el nivel por encima del rompimiento de las olas, ocurre en el quiebre del talud con la plataforma continental.

Ooides: Es una partícula esférica, elíptica, menor de 2mm de diámetro, típicamente compuesta de carbonato de calcio y tiene un núcleo central redondeado por un borde que consiste de más de una capa, que muestra una fábrica concéntrica o radial.

Oolitas: Son partículas esféricas, con estructura interna radial-concéntrica o ambas combinadas, formadas alrededor de un núcleo constituido por un fósil, intraclasto, grano lítico o pelet; su forma varía de 0.25-2 mm de diámetro.

Packstone: Dunham denominó así a todas aquellas rocas carbonatadas con soporte de granos y presencia de fango carbonatado.

Paramorfismo: Es un intercambio iónico (calcio por magnesio) que no destruye la textura.

Pelespatita: Es una caliza cuyos intersticios entre pelets están ocupados por cemento espático (clasificación de Folk).

Peletoide: Es una partícula no esquelética del tamaño de arena semejante a un pelet, pero cuyo origen no particular es sobre entendido.

Pelets: Es una partícula no esquelética del tamaño de la arena, estructuralmente homogénea, esférica o elipsoidal que consiste de resinas no digeridas comúnmente lodo calcáreo. Estos peletes son secretados analmente por organismos que se alimentan de material de depósito.

Pellas: Son partículas redondeadas, esféricas, elípticas u ovoidales sin ninguna estructura interna, constituidos por material calcítico microcristalino, aunque se conocen algunas de diferente material mineralógico, su diámetro varía de 0.03-0.25 mm.

Pelmicrita: Es una caliza que consiste de pelets y micrita (clasificación de Folk).

Petróleo: (aceite de piedra). Es un material bituminoso compuesto principalmente de

hidrocarburos en estado gaseoso y líquido acumulados en un reservorio.

Pirólisis Rock-Eval: Es un método fisicoquímico que permite el estudio rápido del contenido de materia orgánica en las rocas.

Piso: Un piso es una unidad cronoestratigráfica de menor proyección y rango de una serie. Por lo común se usa en la clasificación y correlación dentro de un continente, aunque potencialmente puede ser reconocido en todo el mundo.

Pisolitas: Es una partícula no esquelética esférica o elíptica que tiene dos o más capas concéntricas de carbonatos, exceden de 2mm de diámetro.

Pisolitas: Son mayores que las oolitas (> 2 mm), y están formadas por incrustación de varias partículas de algas.

Plancton: Es un término colectivo para organismos acuáticos que flotan libremente en el agua, son incapaces de nadar o nadan únicamente distancias cortas.

Reflectancia de Vitrinita: Es la cantidad de luz incidente reflejada, comparada con un estándar con reflectancia conocida.

Rudstone: Está constituido por granos suspendidos (coquina) son rocas esqueléticas con soporte de grano.

Sabkha: Son zonas sensiblemente deprimidas paralelas a la línea de costa situadas en la zona de supramarea. Cuando existen fuertes vientos (ciclones, huracanes etc.) combinados con mareas altas estas zonas se inundan quedando incomunicadas, posteriormente son sometidas a la evaporación concentrando una gran cantidad de sales sobre el manto freático donde el proceso de capilaridad asciende el agua.

Secuencia Transgresiva: Es una secuencia ordenada de la depositación en el límite del avance del mar en el litoral del continente.

Sedimento: Es el material que estando suspenso en un fluido o un líquido se posa en el fondo gracias a su mayor gravedad.

Sedimentología: Es la ciencia que trata de todos los procesos que intervienen en la formación, transporte y depósito de los sedimentos. Influye también en la diagénesis y la litificación.

Sincrónico: Significa simultáneo o que ocurre al mismo tiempo.

Taxonomía: Estudio de la clasificación de los organismos según sus semejanzas y diferencias.

Tectonoestratigráfico: Es cuando la tectónica controla la estratigrafía y es simultánea a la sedimentación.

Transgresión: Es el avance sobre el litoral de un cuerpo de agua sobre la tierra adyacente.

Transporte por Solución: Se lleva a cabo sobre los materiales solubles que viajan formando parte del fluido que los transporta.

Transporte por Suspensión: Este transporte se efectúa sobre los materiales detríticos o insolubles que son transportados en el seno del mismo líquido.

Transporte por tracción de fondo: Es cuando los materiales son transportados por rodamiento y saltación al no poder ser suspendidos en un fluido.

Transporte: Es un proceso dinámico por medio del cual los sedimentos son acarreados, este puede ser por solución, por suspensión y por tracción de fondo.

Transpresión: Es la tectónica resultante de la acción de dos fuerzas tangenciales en sentidos contrarios regulados a el espaciamiento del fondo (formación de una dorsal).

Turbidita: Es un depósito hecho de una corriente común de turbiditas.

Turbiditas: Son características de taludes y cuencas profundas, que pueden ser oceanos o lagos profundos, es un deslizamiento que fluye como alud, en las turbiditas no hay acción de las olas el mecanismo de transporte es por corrientes de turbidez.

Unidad Bioestratigráfica: Es un cuerpo de roca que se define y caracteriza por su contenido fósil.

Unidad Cronoestratigráfica: Es un cuerpo de roca establecido para servir como referencia material a todas las rocas formadas durante el mismo intervalo de tiempo.

Unidad Estratigráfica: Es un estrato o conjunto de estratos adyacentes que se distinguen por una o varias de las muchas propiedades que las rocas poseen.

Unidad Geocronológica: Es una división de tiempo que se distingue por el registro de la roca preservado en una unidad cronoestratigráfica.

Unidad Litoestratigráfica: Es un estrato o cuerpo de estratos que generalmente pero no invariablemente, se presenta en capas; que por lo general, pero no invariablemente, es tabular, que se conforma según la ley de la superposición, y se diferencia y delimita sobre la base de sus características líticas y de su posición estratigráfica.

Varvas: Es en general el periodo rítmico de la deposición de los sedimentos, en donde este lapso rítmico es de un año.

Waca: Es una arenisca impura (sucia) que puede contener una variedad de fragmentos de mineral y roca, son por lo general de clasificación deficiente y contienen una cantidad apreciable de material de matriz (Petijohn, Williams, Turner y Gilber 1954).

Wackestone: Dunham denominó así a todas aquellas rocas carbonatadas soportadas por lodo calcáreo que contienen más del 10% de granos en volumen.

Yuxtaposición: Cuando dos terrenos diferentes inciden en un punto, desplazados por una falla transforme.