



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE MODELO GEOLÓGICO PARA LA PARTE
ORIENTAL DE LA ISLA DE SAN CARLOS, ESTADO DE
TAMAULIPAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A

ARTURO RIBA RAMÍREZ



DIRECTOR DE LA TESIS: ING. MIGUEL ILDEFONSO VERA OCAMPO

MÉXICO, D. F. 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

a mis padres, que me han de estar viendo y que ayudaron a ser quien soy;
a Aída, mi amada esposa y continuo apoyo,
a Ana Citlali e Itzel Adriana, mis queridas hijas y mi razón de vivir,
a mis hermanos, Ramón, Laura, Alejandra y Roberto, mejores amigos y apoyo
incondicional.

«El azar no existe; Dios no juega a los dados»

Albert Einstein

**PROPUESTA DE MODELO GEOLÓGICO PARA LA PARTE ORIENTAL
DE LA ISLA DE SAN CARLOS, ESTADO DE TAMAULIPAS**

CONTENIDO

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	1-6
I.1 Objetivos	1
I.2 Localización del área	1
I.3 Método de trabajo	2
I.4 Trabajos previos	3
II ESTRATIGRAFÍA	7- 29
II.1 Prejurásico Superior	7
II.1.1 Unidad Lechos Rojos	13
II.1.2 Formación Minas Viejas (fm. Metate)	16
II.2 Jurásico Superior	17
II.2.1 Formación Zuloaga	17
II.2.2 Formación Olvido	22
II.2.3 Formación Pimienta	24
II.3 Cretácico Inferior	26
II.3.1 Formación Tamaulipas Inferior	26
II.4 Secciones de correlación	27
III MODELO DE EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA	30 - 37
III.1 Prejurásico Superior	30
III.2 Jurásico Superior	31
III.3 Cretácico Inferior	34
III.4 Geología estructural	35
III.5 Evolución tectónica	36
IV PERSPECTIVAS DE ECONOMÍA PETROLERA	38 - 43
IV.1 Pozos perforados	38
IV.1.1 Datos petrofísicos	38
IV.1.2 Manifestaciones	41
IV.1.3 Registros geofísicos de pozos	41
IV.2 Tipos de trampas	42
V CONCLUSIONES	44 - 47
BIBLIOGRAFÍA	48 - 50

I INTRODUCCIÓN

I.1 Objetivos.

El objetivo del presente trabajo fue generar un modelo geológico preliminar que implique las características sedimentarias y estratigráficas de las rocas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior en el área norte del estado de Tamaulipas.

I.2 Localización del área.

El área se ubica en la porción norte del estado de Tamaulipas; está limitada por los paralelos 24°30' y 25° 15' de latitud norte y los meridianos 98° 00' y 99° 10' de longitud oeste; abarca una superficie irregular de aproximadamente 4500 kilómetros cuadrados (Fig. 1.1).

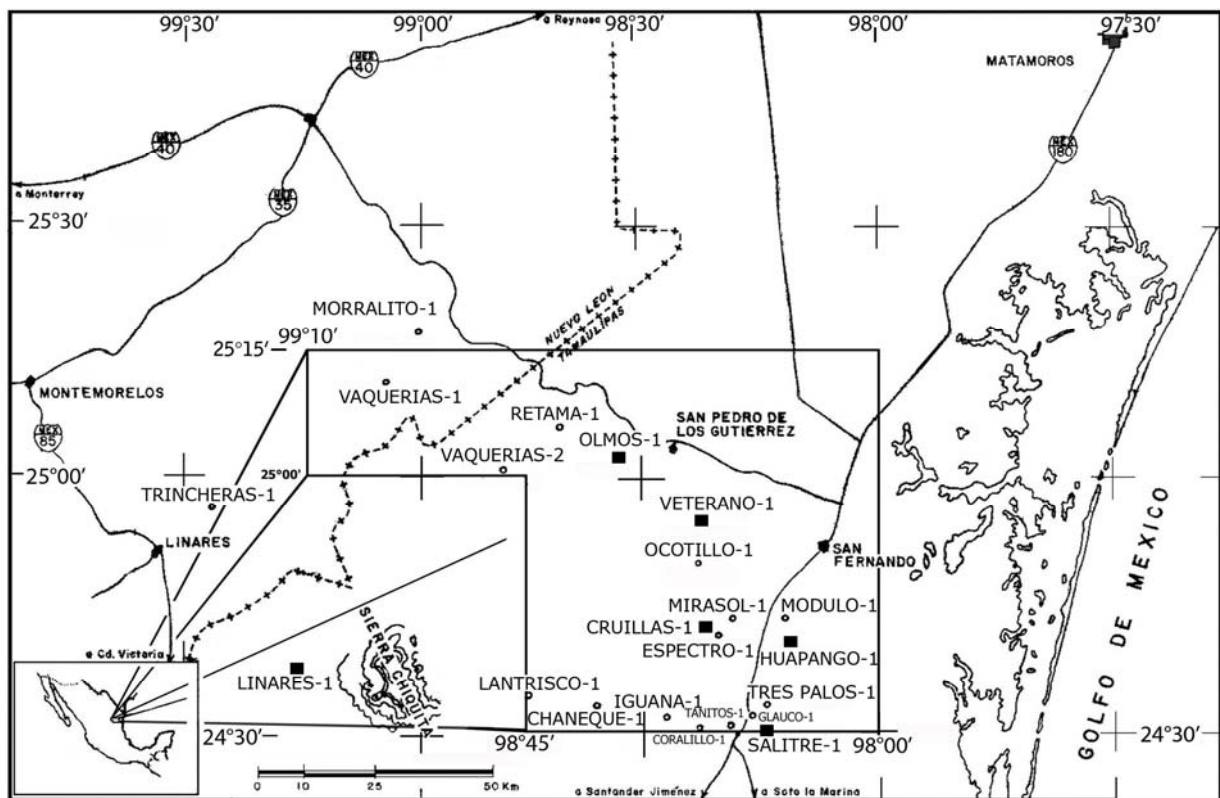


FIG. 1.1 PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA

Fisiográficamente forma parte de la planicie costera del Golfo de México, presenta un relieve suave y moderado, con una sensible inclinación hacia el oriente; corresponde a la definición de

Costa Baja (Raisz, 1959); está limitada al poniente con el límite del estado de Nuevo León y la sierra Chiquita, esta última dentro del estado de Tamaulipas, al oriente por el poblado de San Fernando, al norte por el paralelo 25°15' y al sur por el poblado de Santander Jiménez, Tamps.

Geológicamente está incluida en la Sub Provincia de la Sierra de Tamaulipas, Sierras de San Carlos – Cruillas, que forman el extremo norte de la Sierra de Tamaulipas, con afloramientos de depósitos jurásicos y cretácicos, mismos que se extienden en subsuelo hacia el oriente y sur del área.

I.3 Método de trabajo.

Para el desarrollo del presente estudio, se realizó una investigación sobre la geología regional del área con énfasis en el análisis sedimentológico y estratigráfico desde las unidades sedimentarias anteriores al Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior. Se analizaron afloramientos superficiales y estudio de pozos exploratorios de PEMEX con la finalidad de ubicar, en su contexto las muestras de canal, núcleos escasos y registros geofísicos de pozos obtenidos en los pozos estudiados.

Se contó con muestras de núcleos y registros geofísicos en los intervalos de interés pertenecientes a los pozos Olmos-1, Veterano-1, Cruillas-1, Huapango-1, Linares-1, Coralillo-1 y Salitre-1.

De los trabajos de Madrid (1973) y Zárte (1977), se tomaron como referencia las columnas estratigráficas y registros compuestos de algunos pozos incluidos en sus respectivos trabajos, siendo estos: Tres Palos-1, Trincheras-1, Vaquerías-1, Vaquerías-2, Glauco-1, Iguana-1, Mirasol-1, Módulo-1, Ocotillo-1 y Tanitos-1.

En los pozos con muestras de núcleo y registros geofísicos, se construyó la correspondiente columna estratigráfica para correlacionarla con las columnas de los pozos incluidos en los trabajos de Madrid (*op. cit.*) y Zárte, (*op. cit.*). Lo anterior se tuvo como base para elaborar las secciones de correlación estratigráfica y con esto interpretar y delinear el comportamiento de las

facies a través de la columna de interés en diferentes sectores del área. Se elaboraron series de bloques diagramáticos que ilustran, de manera esquemática, el modelo de la distribución de los ambientes sedimentarios y la evolución tectónica-sedimentaria del área. Se identificaron zonas de interés económico petrolero y se evaluó la porosidad a partir del registro sísmico de porosidad y, en su defecto, los registros eléctricos. Se tuvo acceso al Proyecto Santa Teresa (PEMEX) de sísmica de refracción para ver la tendencia general de echados en subsuelo. Por último se integró, interpretó y evaluó toda la información recabada y se procedió a redactar el trabajo.

I.4 Trabajos previos.

La exploración petrolera en la cuenca de Burgos comenzó a fines de la década de 1920 por compañías extranjeras, las que con el apoyo de estudios geológicos realizaron las primeras perforaciones de pozos.

Petróleos Mexicanos dio inicio a la exploración en 1939, pero es hasta 1945 cuando obtienen el éxito, al descubrir un yacimiento comercialmente explotable de gas y condensado, al perforar el pozo Misión-1 en areniscas del Oligoceno.

Existen trabajos realizados en las inmediaciones y dentro del área, en donde se pueden destacar a Bell (1920), Miller (1927), Hegwein (1930), Humphrey (1954), Imlay (1954), por mencionar algunos.

Más recientemente se han realizado otros trabajos en esta porción de México; tal es el caso de Madrid (1973), en unidades jurásicas, quien deduce una *unidad A* de intermarea y/o lagunas penesalinas, *una unidad B* que abarca planicies de mareas, submarea a laguna interbancos, y una *unidad C* de submarea con aguas de mar abierto pero con condiciones reductoras; estableció además, que la unidad A corresponde a la Formación Zuloaga, y las unidades B y C a la Formación Olvido; este autor sugiere además, que en lugar de usar el término Formación La Casita, sería preferible denominarla como Formación Pimienta. Deduce también que la unidad B está constituida de tres facies, con características definidas (identifica dos cuerpos oolíticos llamados Lengüeta Inferior y Lengüeta Superior con grado avanzado de cementación. Aguayo

(1977), en su estudio diagenético de la Formación Novillo (Zuloaga), al oriente de la Paleopenínsula de Tamaulipas, le atribuye a esa formación un ambiente costero lagunar de agua somera y restringida, reconociéndole cinco facies sedimentarias: a) areno-conglomerática, b) arcillo-evaporítica, c) dolomía con evaporitas, d) lutita y caliza microcristalina y e) caliza con ooides y bioclastos; consideró que la facies "C" es la más importante desde el punto de vista económico, debido a su gran permeabilidad ya que pudo ser preservada a causa de la migración temprana de gas metano, el cual se generaba en la zona lagunar.

Zárate (*op. cit.*), interpretó en su área de estudio una secuencia estratigráfica, constituida de la más antigua a la más reciente por Complejo Basal, Lechos Rojos, Formación Metate, Formación Zuloaga, Formación Olvido, Formación Pimienta; en el área oriente de San Carlos, definió para la Formación Zuloaga las siguientes facies: anhidritas varvadas, lodos calcáreos laminados, bancos oolíticos, carbonatos evaporíticos y lodos calcáreos con bioclásticos y peletoides. Finalmente determinó que los sedimentos con mejores rasgos con atractivo económico petrolero como roca almacenadora son: las dolomías porosas de la parte inferior de la Formación Zuloaga, las calcarenitas de la Zuloaga, la microdolomías de las facies carbonato evaporitas, que tienen como sello las mismas evaporitas de la Formación Olvido.

Basáñez y Bello (1981), determinaron para la Formación Metate (Minas Viejas), dos ambientes sedimentarios: lacustre continental y lagunar; para la Formación Zuloaga los ambientes continental, de supramarea, planicie de mareas y lagunar, y para la Formación Olvido, supramarea, planicie de mareas, lagunar y bancos oolíticos. Mencionan además, que las formaciones Zuloaga y Olvido son transicionales litológicamente y tanto vertical como horizontalmente no tienen límites bien definidos; en general la Formación Zuloaga tiende a ser de facies más lagunar que la Olvido; la facies arenosa de planicie fluvial es el contacto en las formaciones Metate (Minas Viejas) (sobreyacente) y Zuloaga (lateralmente). Finalmente interpretan que los hidrocarburos fueron generados y entrampados en rocas jurásicas, en donde las trampas son de carácter estratigráfico y no solamente estructural y también que los tres

factores de generación, almacenamiento y sello, corresponden a las facies de planicie de mareas, bancos oolíticos y supramarea.

Suárez (1984), considera que la Formación Olvido tiene seis facies sedimentarias claramente diferenciables; además que las rocas sedimentarias jurásicas muestran evidencias de haber sido afectadas por procesos físicos y químicos que cambiaron su textura original (cementación, disolución, dolomitización y dedolomitización), y actuaron directamente sobre la porosidad y permeabilidad. Estableció una correlación entre algunas facies de la Formación Olvido con buena porosidad, y entre otras pudieron actuar como sello.

Echánove (1986), realizó un trabajo con objetivo terciario en la cuenca de Burgos, en donde estableció que los yacimientos de este tiempo son múltiples y de amplia extensión; además subdividió a la provincia en franjas geológicas alargadas y subparalelas, que de poniente a oriente les denomina: Jurásico-Cretácico, Paleoceno, Eoceno-Oligoceno y Mioceno.

Zwanziger (1987), efectuó un análisis paleogeográfico evolutivo de la cuenca de Chihuahua-Coahuila y gran parte del noreste de México para el Mesozoico, involucrándose en éste, al área de estudio.

Finalmente García *et al.* (1989), en su trabajo de "Interpretación Geológica-Regional en el Prospecto Magiscatzin", mencionaron que la sedimentación mesozoica se desarrolló en una margen pasiva, relacionada con la apertura del Golfo de México a partir del Triásico Superior, manteniéndose en el basamento inestabilidad y hundimiento progresivo producto de accidentes transformantes que funcionaron hasta el Jurásico Superior; superficialmente reconocieron veintitrés unidades litoestratigráficas del Mesozoico; una del Triásico Superior (Formación Huizachal), dos del Jurásico Medio (La Joya y Minas Viejas), cuatro del Jurásico Superior (Zuloaga, Olvido, La Casita y La Caja) y dieciséis del Cretácico Inferior-Superior. Finalmente, dedujeron que dentro de la secuencia litoestratigráfica reconocida se tienen los tres elementos mayores para considerarla con potencial petrolero. Como rocas generadoras, las del Jurásico

Superior así como a las del Cretácico, como rocas almacenadoras las del Jurásico Superior (unidades oolíticas) y Cretácico Superior (carbonatos) y como sello a las del Jurásico Superior (evaporitas) hasta las del Cretácico Superior (unidades arcillosas); pero a causa del alto nivel de erosión actual en los pliegues, estos parámetros pierden cierto valor económico.

La tabla de correlación estratigráfica (Tabla 1.1) es un resumen de varios de los análisis estratigráficos antes mencionados.

PERIODO	ÉPOCA	E D A D	PROSPECTO MAGISCATZIN-1 SECTOR SUR	COSTA DEL GOLFO E.U.A. MODIFICADA VARIOS AUTORES	Á R E A D E T R A B A J O							
					POZO OLMO-1	POZO VETERANO-1	POZO CRUILLAS-1	POZO HUAPANGO-1	POZO LINARES-1	POZO LANTRISCO-1	POZO CORALILLO-1	POZO SALITRE-1
CRETÁCICO	INFERIOR	APTIANO	LA PEÑA	PEARSALL	OTATES	OTATES	OTATES		OTATES	OTATES	OTATES	OTATES
		BARREMIANO	TAMAULIPAS INFERIOR	SLIGO	FORMACIÓN TAMAULIPAS INFERIOR							
		HAUTERIVIANO										
		VALANGINIANO	TARAISES	HOSSTON								
		BERRIASIANO										
JURÁSICO	SUPERIOR	TITONIANO	LA CASITA	GRUPO COTTON-VALLEY	FORMACIÓN PIMIENTA							
		KIMERIDGIANO	LA CAJA	HAYNESVILLE BUCKNER								
		OXFORDIANO	OLVIDO ?	SMACKOVER	FORMACIÓN ZULOAGA							
		ZULOAGA	NORPHLET									
	MEDIO	CALOVIANO	M. VIEJAS	LOUANN	MINAS VIEJAS	P. T. P.	MINAS VIEJAS	LECHOS ROJOS				MINAS VIEJAS
		BATONIANO	?	WERNER	P. T. P.	P. T. P.						
	INFERIOR	BAJOCIANO	LA JOYA					BASAMENTO METAMÓRFICO				
		AALENIANO										
		TOARCIANO										
		PLIENSBACQUIANO										
SINEMURIANO												
HETANGIANO			EAGLE MILLS									
TRIÁSICO	SUPERIOR	RAETIANO	HUIZACHAL									
		NORIANO										
		CARNIANO										

TABLA 1.1 CORRELACION ESTRATIGRÁFICA

P. T. P.
 PROFUNDIDAD TOTAL DE POZO
 AUSENTE POR EROSIÓN O NO DEPÓSITO
 NO AFLORA

II- ESTRATIGRAFÍA.

Para el análisis estratigráfico del área de estudio, se utilizó la información de núcleos y registros geofísicos de los intervalos de interés pertenecientes a los pozos Olmos-1 (Fig. 2.1), Veterano-1 (Fig. 2.2), Cruillas-1 (Fig. 2.3), Huapango-1 (Fig. 2.4), Linares-1 (Fig. 2.5), Coralillo-1 (Fig. 2.6) y Salitre-1 (Fig. 2.7). La leyenda para todos los pozos está en la figura 2.8.

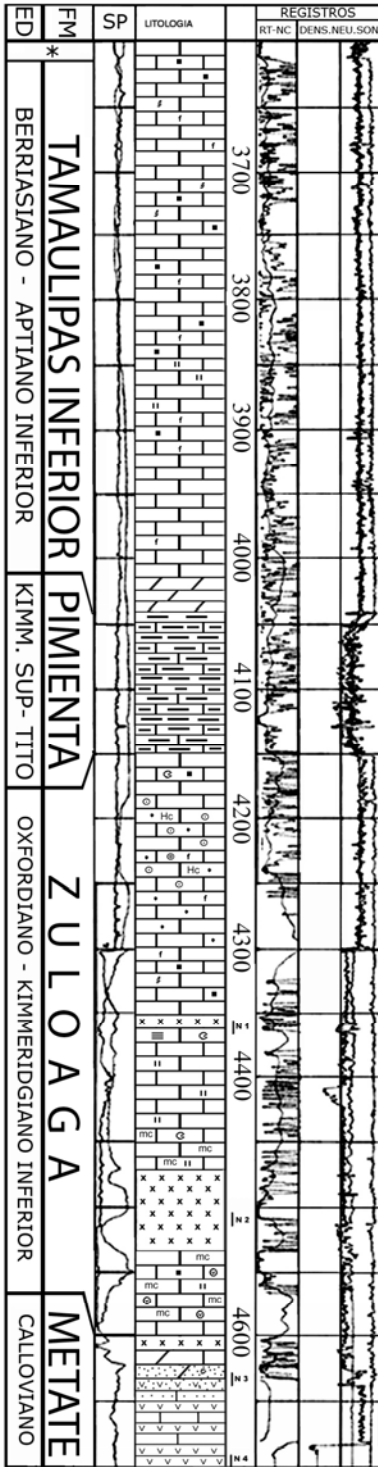
II.1 Prejurásico Superior

Las rocas basales en el noreste de México, están representadas por rocas metamórficas que varían de gneises y filitas hasta metagrauvascas, asociadas con intrusiones graníticas y granodioríticas (Madrid, 1976).

La edad del basamento ha sido obtenida a través de estudios radiométricos de algunas muestras de pozos, como en el caso del análisis hecho al núcleo 7 del pozo Linares-1, que dio una edad de 234 ± 8 m.a., en una roca clasificada como granodiorita de biotita; el pozo Trincheras-1 cortó un granito de biotita con una edad radiométrica de 170 m.a. En los pozos Ocotillo-1 y Salitre-1 se analizaron esquistos que dieron edades de 204 ± 4 m.a. y 173 ± 3 m.a. respectivamente (Madrid, 1973). En los pozos Coralillo-1, Chaneque-1, Espectro-1, Glauco-1, Huapango-1, Lantrisco-1 y Linares-1, se cortó basamento metamórfico variando de pizarras a esquistos.

OLMOS - I

K.B. 99.9 m.

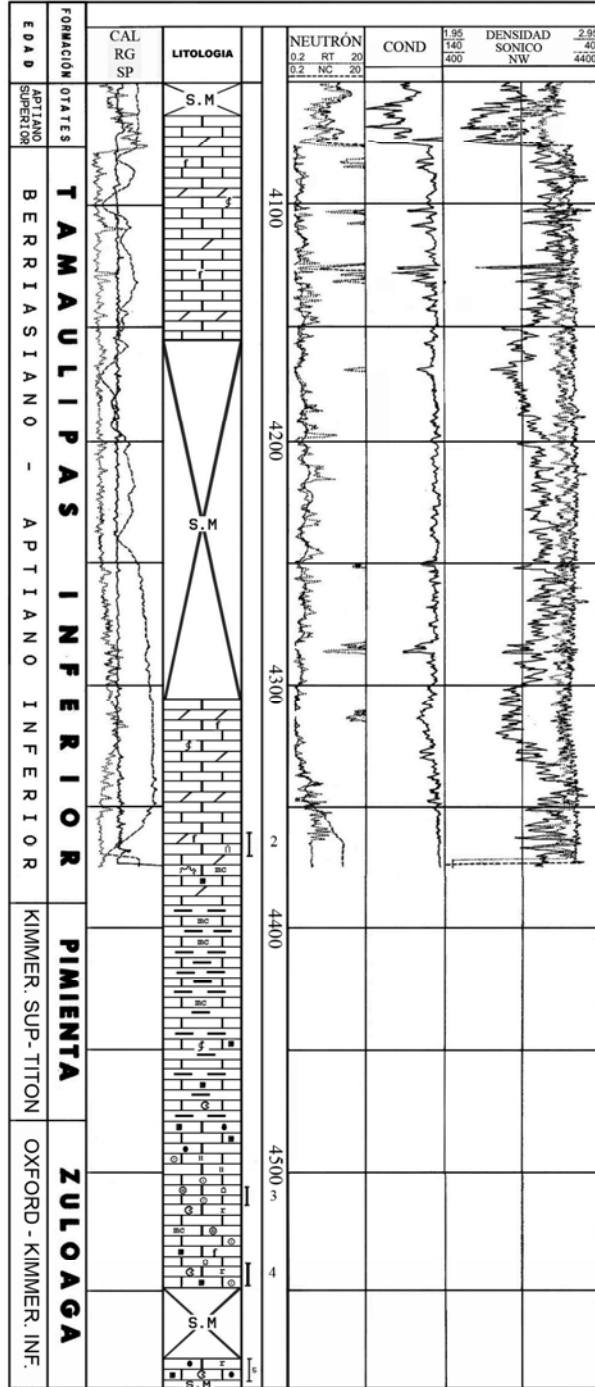


* FM. OTATES - APTIANO SUPERIOR P.T. 4700

FIG. 2.1 COLUMNA ESTATIGRÁFICA DEL POZO OLMOS - I

VETERANO - I

K.B. 128.2 m.



P.T. 4589.3 m.b.m.r.

FIG. 2.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL POZO VETERANO - I

CRUILLAS - I

K.B. 166.2 m

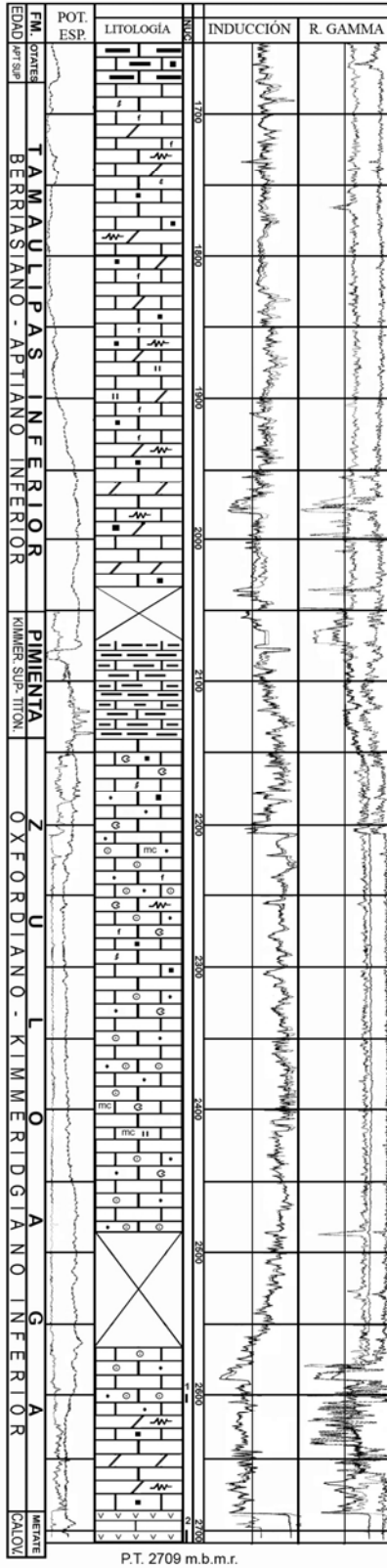


FIG. 2.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL POZO CRUILLAS - 1

HUAPANGO - I

K.B. 87.8 m.

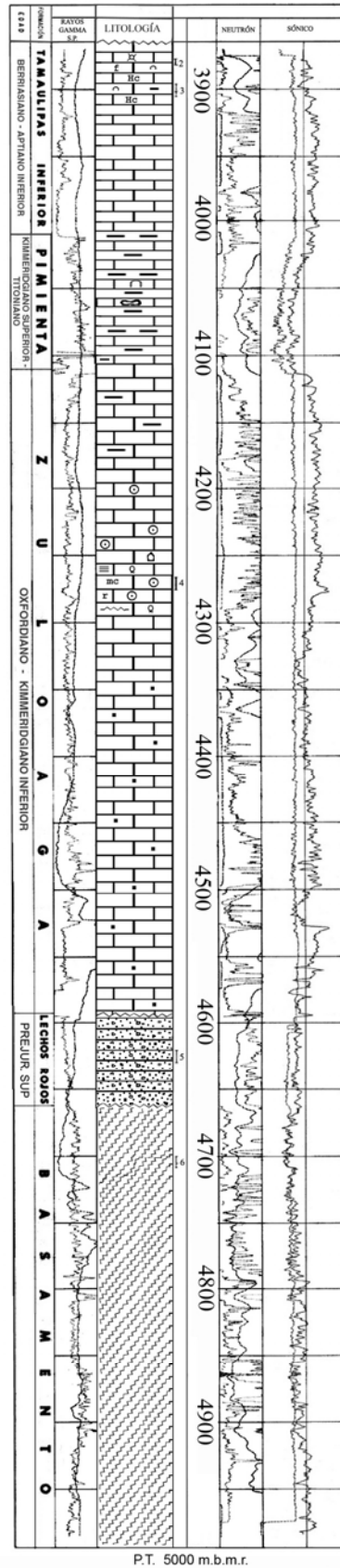
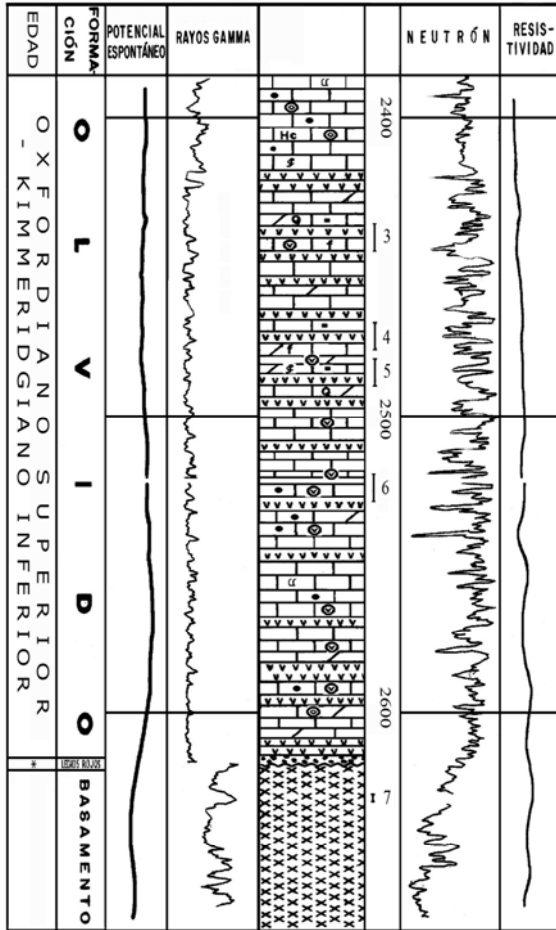


FIG. 2.4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL POZO HUAPANGO-1

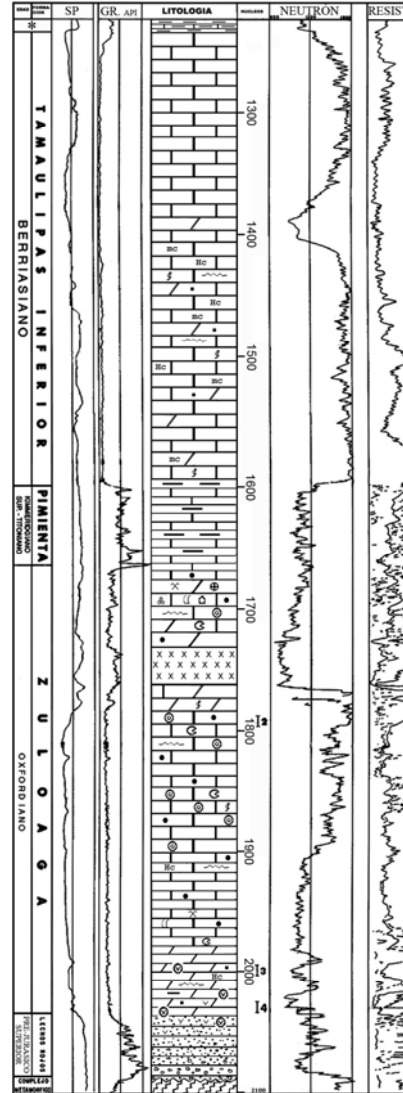
LINARES - 1



* PREJURÁSICO SUPERIOR P.T. 2672.0 m.b.m.r.

FIG. 2.5 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL POZO LINARES-1

CORALILLO - 1



* FM. OTATES - APTIANO SUP.

FIG. 2.6 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL POZO CORALILLO - 1

SALITRE - 1

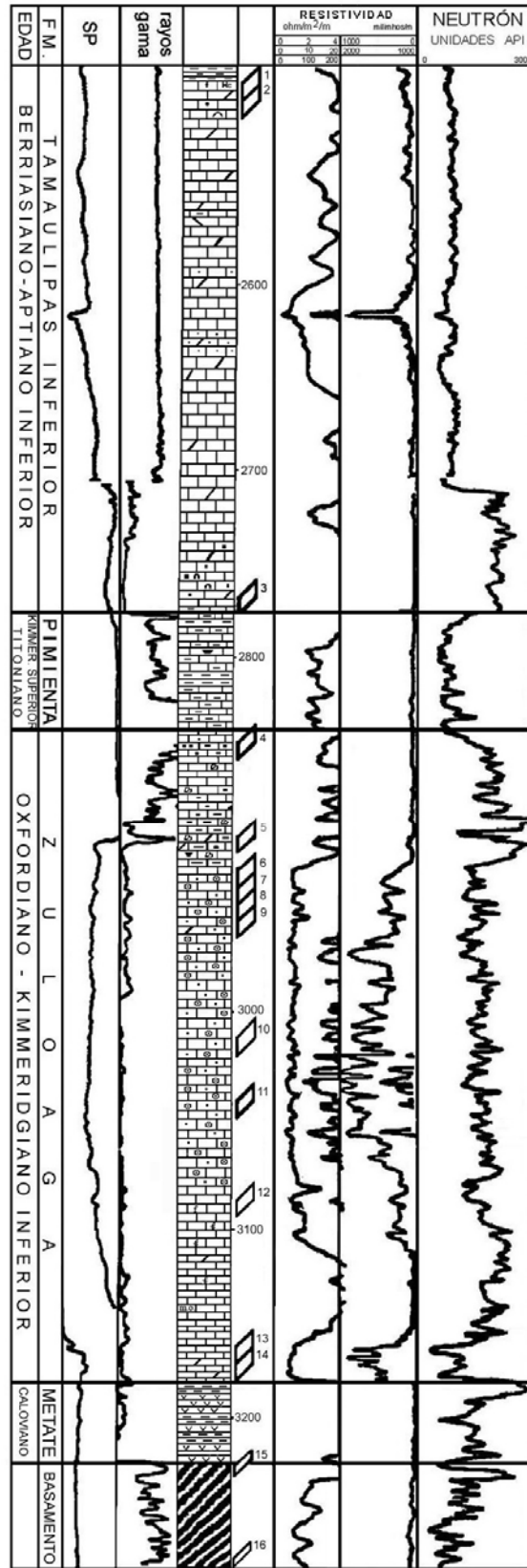


FIG. 2.7 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA
DEL POZO SALITRE - 1

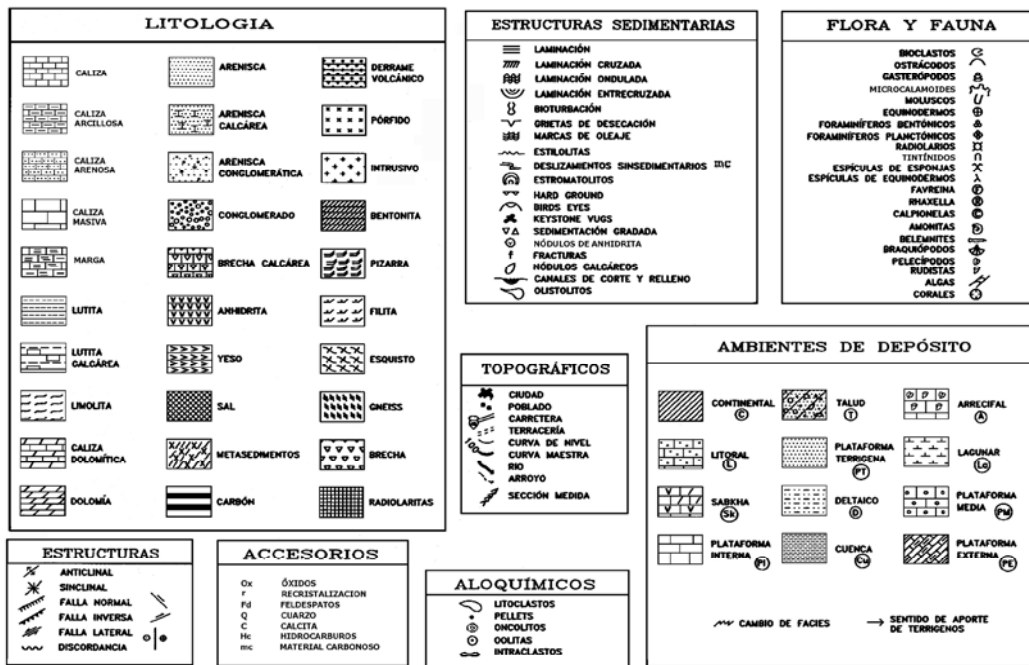


FIG. 2.8 SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LAS FIGURAS DEL TEXTO

King (1951), estableció que, de acuerdo a las características litológicas que presenta el basamento cortado por el pozo Chapa-101, localizado al noroeste del área, en el borde oriental de la península de Tamaulipas, éste corresponde a una extensión del Sistema Ouachita hacia México. Por otra parte, Flawn (1968), consideró que este basamento puede corresponder a facies tectónicas similares a las de la parte interna del Cinturón Ouachita, localizado en Texas. Estas rocas fueron afectadas durante el Pérmico-Triásico Temprano, al ocurrir la colisión entre América del Norte-África-América, que formó el cinturón tectónico Marathon Ouachita, prolongándose por Tamaulipas y posiblemente hasta el estado de Puebla (García, 1987). Posteriormente, durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, cuando se inició la disgregación de Pangea, las rocas paleozoicas fueron afectadas por esfuerzos regionales de tensión, dando lugar a la formación de sistemas de fosas y pilares, que constituyen el marco estructural y estratigráfico básico de la región del Golfo de México.

II.1.1 Unidad Lechos Rojos.

a) Definición.

Seems (1921) e Imlay *et al.* (1948), usaron el nombre de Formación Huizachal para las capas rojas de edad Triásica aflorantes en el valle de Huizachal. Mixon *et al.* (1959), propusieron nombres formacionales para las dos secuencias de lechos rojos que afloran en la región de Ciudad Victoria, Tamps., y asignaron el nombre de Formación La Boca a la parte inferior de probable Triásico y Formación La Joya para la sección del Jurásico, y las dos quedan dentro del Grupo Huizachal. Carrillo (1961), utiliza para los lechos rojos los nombres de Huizachal para las rocas de edad Triásico Tardío-Jurásico Temprano, Formación Cahuasas para las del Jurásico Medio y Formación la Joya, para las rocas de la base del Jurásico Superior.

Al oeste del área, dentro del estado de Nuevo León, García *et al.* (*op. cit.*), reportan la presencia de la Formación Huizachal y encima de ella, en contacto, mediante discordancia angular, se encuentra la Formación La Joya.

En el subsuelo del área de estudio, encima de las rocas de basamento, se tiene en algunos pozos un paquete delgado de conglomerados, areniscas conglomeráticas y areniscas hematizadas, que en ocasiones se encuentran intercaladas con evaporitas. Debido a que las relaciones estratigráficas y edad de esta unidad no son claras en el subsuelo, ha sido mencionado por diversos autores como Unidad Lechos Rojos, y agrupan en ella a todas las rocas con estas características, depositadas antes del Oxfordiano.

b) Litología y espesores.

La Unidad Lechos Rojos está constituida principalmente por conglomerados, areniscas y areniscas conglomeráticas de colores rojizos, con clásticos angulosos a subangulosos de origen ígneo y metamórfico.

En el pozo Huapango-1 se cortaron aproximadamente 70 m de rocas pertenecientes a esta unidad; están constituidas en su base por fragmentos subangulosos de rocas ígneas

y metamórficas: hacia la parte media y superior predominan las areniscas, principalmente cuarzoarenitas con clastos subredondeados y bien clasificados, cementados por arcilla y abundante hematita. Se presentan algunos estratos de lutitas y limolitas de color rojo intercalándose con las areniscas.

En el área de estudio, la Unidad Lechos Rojos también fue cortada por los pozos Coralillo-1 y Linares-1, con espesores de 54 m y 4 m respectivamente: además de los pozos Chaneque-1 con 19 m; Espectro-1, 34 m; Glauco-1, 44 m; Lantrisco-1, 25 m; Tanitos-1, 63 m y Trincheras-1 con 71 m (Madrid, *op. cit.* y Zárate, *op. cit.*).

La Unidad Lechos Rojos se distribuye sobre el borde de la paleoisla de San Carlos y en pequeñas porciones emergidas que existieron al oriente de ella.

c) Relaciones estratigráficas.

La Unidad Lechos Rojos sobreyace de manera discordante al basamento en los pozos Huapango-1, Linares-1, Coralillo-1, Chaneque-1, Lantrisco-1 y Tanitos-1, e infrayace de manera transicional y concordante a la Formación Minas Viejas en los pozos Espectro-1 y Tanitos-1: y aparentemente en la misma forma a la Formación Zuloaga en los pozos Huapango-1, Linares-1, Coralillo-1 y Lantrisco-1.

d) Edad y Correlación.

Por posición estratigráfica se asigna una edad Pre-jurásico Superior y se correlaciona con la Formación Minas Viejas y con la Sal Louann del este de Texas.

e) Ambiente sedimentario.

Por las características litológicas se infiere un ambiente de depósito continental, probablemente de abanicos y planicies aluviales, como resultado de la erosión de las áreas continentales que estuvieron afectadas por largas estaciones secas bajo condiciones desérticas.

II.1.2 Formación Minas Viejas.

a) Definición.

Esta unidad litoestratigráfica, fue nombrada informalmente por Stabler (1972), como Anhidrita Metate, para designar a una secuencia de 45 m de evaporitas laminares de color rojo y blanco, con intercalaciones de lutitas y limolitas de color gris oscuro y pardo rojizo, observadas en el pozo Metate-1. Madrid (1976), propuso que fuera considerada como formación, ya que la "litología que la representa constituye una unidad litoestratigráfica cartografiable y de extensión considerable". Sin embargo Humphrey y Díaz (1956), ya habían nombrado Formación Minas Viejas a una secuencia de evaporitas con pequeñas proporciones de terrígenos y algunos carbonatos, que subyacen a la Formación Zuloaga en la porción oriental de la Sierra Madre Oriental. Por lo que se considera que es más adecuado utilizar el nombre formacional de Minas Viejas en lugar de Formación Metate. Sin embargo ha sido una costumbre utilizar el nombre de Formación Minas Viejas para esta unidad cuando aflora y el nombre Formación Metate para trabajos de subsuelo. Se considera que, de acuerdo con el Código de Nomenclatura Estratigráfica, el nombre de una unidad tiene preferencia sobre otro de acuerdo a la antigüedad de la primera definición y no de acuerdo a su forma de aparición (si aflora o no) en el presente trabajo se utilizará lo nomenclatura de Humphrey y Díaz mencionada anteriormente.

b) Litología y espesores.

El pozo Olmos-1 cortó 66 m de anhidrita nodular de color blanco y de textura sacaroide que alterna con intervalos delgados de caliza de color gris oscuro y escasa limolita roja; hacia la parte inferior contiene principalmente halita.

En el pozo Salitre-1 la formación está constituida por anhidrita de color blanco, cristalina con trazas de limolita pardo rojiza y escasa caliza; tiene un espesor de 35 m y finalmente, en el pozo Cruillas-1 se cortaron 23 m de la Formación Minas Viejas. En este intervalo se encuentra el núcleo 2, constituido de anhidrita de color blanco, de aspecto sacaroide con

intercalaciones de estromatolitos y laminaciones de carbonatos y margas de color pardo rojizo.

García *et al.* (*op. cit.*), reportan la presencia de más de 200 m de yeso y anhidrita de la Formación Minas Viejas en afloramientos localizados al oeste de Linares, N.L.

c) Relaciones estratigráficas.

La Formación Minas Viejas sobreyace discordantemente a rocas del basamento en el pozo Salitre-1; en los pozos Olmos-1 y Cruillas-1 no se llegó a su base y en los pozos Espectro-1, Glauco-1 y Tanitos-1 cubre en forma concordante a la Unidad Lechos Rojos (Zárate, *op. cit.*). Es cubierta de manera transicional por la Formación Zuloaga en los pozos Olmos-1, Cruillas-1 y Salitre-1, además de los pozos Espectro-1, Glauco-1, Tanitos-1 y Vaquerías-1 (Madrid, *op. cit.* y Zárate, *op. cit.*).

d) Edad y correlación.

La edad de esta unidad es incierta debido a que carece de fósiles, probablemente por la alta salinidad que no permitió el desarrollo normal de vida. Por posición estratigráfica se le asigna al Calloviano (Madrid, *op. cit.*). Se correlaciona con la Sal Louann del este de Texas y con la Formación Huehuetepic de la región de Poza Rica; se considera equivalente a la Formación Minas Viejas de los estados de Coahuila y Nuevo León.

e) Ambiente sedimentario.

La Formación Minas Viejas se depositó en el borde oriental de la Paleo isla de San Carlos en un ambiente de intermarea a inframarea somera sobre una amplia plataforma, en un clima árido con alta evaporación, donde la marea normal y la energía de las olas fue muy leve y bajo la influencia del paleoelemento positivo, que se vio reflejada por la presencia de carbonatos y terrígenos finos que alternan con las evaporitas en forma de capas delgadas o láminas, como resultado de tormentas que temporalmente refrescaban el agua marina. La ausencia de bioturbación puede ser atribuida a las altas salinidades que son esperadas en un ambiente muy restringido que produce evaporitas.

Por otro lado, el espesor de la formación está directamente relacionado con la paleotopografía, es decir, aumenta hacia el oriente del paleoelemento en lo que fue posiblemente una pequeña cuenca de forma alargada. Sin embargo, por sus características litológicas que la hacen fácilmente erosionable y su plasticidad, no se puede asegurar que el espesor que presenta actualmente sea el depositado originalmente.

II.2 Jurásico Superior.

II.2.1 Formación Zuloaga.

a) Definición.

Imlay (1938), define esta unidad que consiste de “calizas dolomíticas de color gris acero y dolomías del mismo color con algunas intercalaciones de calcarenitas, presenta además un delgado espesor de conglomerados en su base”; ubica su localidad tipo en la sierra de Sombrerete, al norte del poblado Melchor Ocampo, Zacatecas (*in* Imlay, 1943).

b) Litología y espesores.

De acuerdo a sus características litológicas la Formación Zuloaga, en esta área se ha podido dividir en las facies siguientes: 1) facies de carbonatos laminares, 2) facies de carbonatos con bioclastos y peletoides y 3) facies de bancos oolíticos.

A continuación se detallarán cada una de ellas:

1.- Facies de carbonatos laminares.

Los carbonatos laminares se encuentran en la parte inferior de la Formación Zuloaga. En el pozo Coralillo-1 consiste en su porción inferior de macro y microdolomías con porosidad intercrystalina por disolución, además de abundante pirita, evaporitas y silicificación, y en su parte superior de mudstone a wackestone con pelets y bioclastos. En pequeñas porciones se alcanzan a observar calizas con laminaciones de material algáceo, abundante pirita y evaporitas. Esta facies presenta un espesor de 125 m.

En el pozo Olmos-1 contiene 200 m de mudstone de color gris oscuro a negro, arcilloso, con microlaminaciones y material carbonoso; en la parte inferior se observan además alternancias de mudstone a wackestone de pelets, de color gris a gris oscuro, contiene pirita diseminada, nódulos de evaporitas y hacia el contacto con la Formación Minas Viejas se tiene un pequeño espesor en donde alternan evaporitas con laminaciones de color negro de carpetas de algas con areniscas calcáreas.

La facies de carbonatos laminares en el pozo Salitre-1, está constituida por mudstone de color gris oscuro con laminaciones de carpetas algáceas, escasos bioclastos, pelets e intraclastos, en la parte inferior se tiene wackestone a packstone con abundantes coprolitos (*Favreina sp.*), bioclastos, intraclastos, pirita rellenando microfracturas y materia orgánica en espacios intergranulares; cerca del contacto con la Formación Minas Viejas se tienen porciones recrystalizadas, dolomitizadas y con escasa silicificación, además de nódulos de evaporitas. Tiene un espesor de 85 m.

2.- Facies de carbonatos con bioclastos y peletoides.

Esta facies se presenta tanto en la parte inferior como superior de los bancos oolíticos con litología muy similar, o puede constituir en ocasiones, la mayor parte de la formación. En los pozos Veterano-1 y Salitre-1, la fracción inferior está constituida por wackestone de color pardo oscuro a grisáceo con bioclastos, pelets, ostrácodos, espículas y fragmentos de equinodermos; en el pozo Salitre-1 se observa recrystalización, cristales de pirita, silicificación y fracturas selladas por materia orgánica, en el primero se cortó un espesor incompleto de 20 m y en el segundo se tiene un espesor atravesado de 55 m. La parte superior se presenta en los pozos Coralillo-1, Cruillas-1, Salitre-1 y Veterano-1, con una litología de wackestone de bioclastos, pelets, intraclastos, escasos oolitos, fragmentos de equinodermos y porciones dolomitizadas; en los pozos Coralillo-1 y Salitre-1, se tiene además la presencia de pequeñas cantidades de evaporitas principalmente como pseudomorfos en las calizas.

3.- Facies de bancos oolíticos.

Los bancos oolíticos se presentan en la mayoría de los pozos estudiados y están constituidos por wackestone a packstone de oolitos, pisolitos, intraclastos y bioclastos. Los oolitos varían mucho en su tamaño (desde 0.5 hasta 2.0 mm), con frecuencia se observan micritizados, lo cual enmascara la estructura concéntrica; en ocasiones el núcleo es imposible de distinguir y la capa del borde del oolito es comúnmente la única estructura.

Los pisolitos tienen una forma menos regular que los oolitos, pueden variar de esféricos a elipsoidales, en su mayoría fueron micritizados y llegan a tener hasta 5 mm de diámetro.

Son menos frecuentes los oolitos compuestos, que generalmente contienen oolitos completos o fragmentos de ellos en su interior. Los intraclastos en ocasiones contienen fragmentos de oolitos e intraclastos más pequeños. Los bioclastos están constituidos por fragmentos de gasterópodos y pelecípodos principalmente.

En el pozo Huapango-1 (Fig. 6) se cortó el núcleo 4 dentro de esta facies, en el que se observó un grainstone de oolitos y pisolitos micritizados, con oolitos compuestos, fragmentos de equinodermos, de algas *Dasycladáceas* y *Didemnoides sp.*; también se observaron intraclastos, pequeñas porciones silicificadas y recristalización. En este pozo se cortó un espesor de 110 m perteneciente a esta facies.

En la parte superior de la Formación Zuloaga en el pozo Veterano-1 (Fig. 4) se cortaron los núcleos 3 y 4 constituidos por packstone y grainstone de oolitos y pisolitos micritizados; contienen fragmentos de crinoideos, gasterópodos, ostrácodos, *Rhaxela sp.* y algas *Dasycladáceas* como *Acicularia jurasica*. Presenta trazas de aceite residual en espacios intergranulares y en la última capa algunos pisolitos, también se observaron microestilolitas, contactos suturados entre oolitos y porciones recristalizadas. Esta facies tiene un espesor de 60 m.

La facies de bancos oolíticos en el pozo Salitre-1 tiene un espesor de 162 m, dentro de la cual se cortaron los núcleos del 5 al 11. Se observó la siguiente litología: packstone a grainstone de oolitos e intraclastos y en menor proporción pisolitos y pelets, contiene

gasterópodos, moluscos, equinodermos, *Rhaxella* sp., *Saccocoma* sp., *Didemnoidea moreti*, algas rodofíceas (*Pygnoporidium* cf. *P. lobatum*), *Rhaxella sorbyana* y escasas algas Dasycladáceas. Se observó impregnación de aceite residual en el borde de los clastos, en el interior tanto de los oolitos como de intraclastos, en fracturas y en escaso espacio intergranular; presenta porciones recristalizadas, pirita diseminada, contactos suturados entre oolitos y microestilolitas.

En afloramientos localizados al oriente del área, García *et al.* (*op. cit.*) describieron la parte inferior de la Fm Zuloaga, constituida por capas delgadas a gruesas de mudstone negro con intercalaciones de limolitas que contienen *Gryphaea* sp. y la parte superior formada por mudstone a wackestone y ocasionalmente grainstone de oolitos, pelets y bioclastos de color gris claro a oscuro, en capas medias a gruesas.

c) Relaciones estratigráficas.

En el área de estudio la Formación Zuloaga descansa discordantemente sobre basamento metamórfico como en el caso del pozo Ocotillo-1, o sobre la Unidad Lechos Rojos en los pozos Lantrisco-1, Chaneque-1, Iguana-1, Coralillo-1 y Huapango-1; y en forma concordante sobre la Formación Minas Viejas en los pozos Tanitos-1, Salitre-1, Tres Palos-1, Vaquerías-1, Cruillas-1, Espectro-1, Mirasol-1 y Olmos-1; infrayace concordantemente a la Formación Pimienta en los pozos Lantrisco-1, Chaneque-1, Iguana-1, Coralillo-1, Tanitos-1 Salitre-1, Tres Palos-1 Espectro-1, Cruillas-1 Mirasol-1, Huapango-1, Ocotillo-1, Veterano-1 y Olmos-1.

d) Edad y correlación.

De acuerdo con la posición estratigráfica que guarda con la Formación Pimienta, se le asigna una edad Oxfordiano-base Kimmeridgiano Inferior (Basáñez y Bello, *op. cit.*). Se correlaciona con la Formación La Gloria que aflora en la región del ancestral Mar Mexicano y en el área de Coahuila; su parte superior cambia y se correlaciona con la Fm Olvido presente en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, con parte de las formaciones Santiago, Tamán y San Andrés del Centro-Este de México y con la

Formación Smackover presente en el subsuelo de la región de Texas, sur de Arkansas, Mississippi y Alabama en los Estados Unidos.

e) Ambiente de depósito.

Las evaporitas y dolomías presentes en la parte inferior de la facies de carbonatos laminares, indican un ambiente de inter a supramarea, en donde se producen las condiciones adecuadas para la evaporación del agua de mar al punto de la precipitación de yeso, el agua restante adquiere la saturación necesaria para dolomitizar al sedimento; mientras que el mudstone laminar-algáceo de la porción superior, fue depositado en un ambiente de intermarea a inframarea somera, el alto contenido orgánico, los colores oscuros y la abundancia de pirita indican un ambiente reductor.

Para la facies de carbonatos con bioclastos y peletoides se infiere un ambiente de depósito de inframarea somera, con aguas más oxigenadas que propiciaron una mayor actividad biológica. En los pozos Coralillo-1 y Salitre-1 esta facies se presenta encima de los bancos oolíticos, en ella los sedimentos reflejan condiciones más someras (depósitos evaporíticos) y llegan a estar posiblemente sujetos a exposición sub-aérea.

Para el desarrollo de la facies de bancos oolíticos se necesitaron aguas someras, cálidas y supersaturadas de aragonita, con movimientos fuertes, al menos ocasionalmente y factores ambientales relativamente constantes. Todas estas condiciones están presentes en ambientes de bancos de aguas someras o barras litorales. Sin embargo, en la mayoría de los pozos esta facies se encuentra asociada con fragmentos de equinodermos, ostrácodos, gasterópodos y algas; por lo que se infiere que el depósito de esta facies se realizó en un ambiente de barrera interna. La barra de oolitos se desarrolló en el borde de la plataforma y actuó como una barrera parcial que restringió el paso del agua sobre la plataforma interna, en donde existieron condiciones hipersalinas y precipitación de evaporitas.

II.2.2 Formación Olvido.

a) Definición.

Esta unidad formacional fue definida por Heim (1940), quien describió una secuencia de 50 a 300 m de yeso, caliza, dolomía, lutita y limolita que sobreyace a la Formación Novillo (Zuloaga) e infrayace a una lutita calcárea oscura de edad Kimmeridgiano Temprano. Su localidad tipo se encuentra en el rancho Olvido, al sureste del valle Huizachal, cerca de Ciudad Victoria, Tamps.

b) Litología y espesores.

En el área de estudio solamente el pozo Linares-1 presenta características litológicas atribuibles a la Formación Olvido. Está constituida por calizas de color oscuro parcialmente dolomitizadas, con cristales de yeso, que están intercaladas con capas de evaporitas nodulares y laminares. Debido a la dolomitización sufrida en las calizas, se observaron muy pocos rasgos de los constituyentes originales, entre ellos se tienen escasos pelets, oolitos, *Cadosina* sp., ostrácodos, bioclastos y fragmentos de moluscos, hacia la parte superior de la formación se observaron fracturas silicificadas. Se cortó un espesor aparente de 227 m.

c) Relaciones estratigráficas.

La Formación Olvido en el pozo Linares-1 se encuentra sobreyaciendo a la Unidad Lechos Rojos y subyaciendo a la Formación Pimienta, ambos contactos son normales y transicionales.

d) Edad y correlación.

Con base en su posición estratigráfica se le asigna una edad Oxfordiano Superior-Kimmeridgiano Inferior (Zárate, op. cit.). Se correlaciona con la parte alta de las formaciones La Gloria y Zuloaga del ancestral Mar Mexicano y golfo de Sabinas, con la parte alta de las formaciones Tamán y San Andrés del Centro-Este de México y con la Formación Buckner, de la costa del Golfo de México en Estados Unidos.

e) Ambiente de depósito.

La alternancia de carbonatos y evaporitas de la Formación Olvido, presente en el pozo Linares-1, muestra evidencias de depósito cíclico en ambientes que varían de inframarea somera a supramarea, sobre una plataforma con circulación restringida y alto grado de evaporación. La restricción en la circulación del agua se debió a la barra de oolitos desarrollada en el borde de la plataforma.

Los depósitos de intermarea consisten de calizas con oolitos y pelets dolomitizados, depositados en condiciones de alta energía. Los sedimentos de supramarea incluyen dolomías y evaporitas.

Por otra parte, la dolomitización pudo haber ocurrido en dos etapas: la primera consiste de dolomitización contemporánea en los depósitos de supramarea en respuesta a las condiciones hipersalinas del ambiente de depósito y la segunda etapa es la dolomitización gradual de los depósitos infrayacentes depositados en intermarea e inframarea por la penetración de las aguas hipersalinas.

II.2.3 Formación Pimienta.

a) Definición.

Heim (1926), la describe como “una serie de calizas densas con estratificación delgada de color negro, ricas en capas de pedernal negro”, que asignó al Jurásico Superior, cuya sección tipo está situada en el rancho Pimienta, cerca de Tamazunchale, S.L.P.

b) Litología y espesor.

La Formación Pimienta fue perforada por todos los pozos del presente estudio. Consiste de calizas y calizas arcillosas intercaladas con lutitas calcáreas y lutitas de color gris oscuro a negro con material carbonoso, fracturas selladas con calcita y escasa pirita. En el pozo Huapango-1 presenta nódulos de pedernal y tintínidos hacia la cima de la formación (Zárate, *op. cit.*).

El pozo Linares-1 contiene calizas arcillosas y lutitas con abundantes tintínidos. La Formación Pimienta ha sido dividida en tres miembros (Zárate, *op. cit.* y Suárez, 1984) de características litológicas bien definidas. Sin embargo, debido a que existen muy pocos núcleos dentro de esta formación ya que las electrosecuencias no son del todo claras, no pudieron identificarse dichos miembros, lo que es una limitación para establecer una litología general con la descripción de las muestras de canal.

Los espesores atravesados son los siguientes: Salitre-1, 62 m; Olmos-1, 106 m; Coralillo-1, 74 m; Cruillas-1, 87 m; Huapango-1, 90 m; Veterano-1, 89 m y el Linares-1, 72 m.

c) Relaciones estratigráficas.

En el área de estudio, sobreyace en forma concordante y transicional a la Formación Zuloaga en la mayoría de los pozos, a excepción del Linares-1 en que se encuentra sobre la Formación Olvido. Infrayace en todos los casos a la Formación Tamaulipas Inferior de manera transicional.

d) Edad y correlación.

En el pozo Huapango-1 se reportó la presencia de *Calpionella alpina*; en el núcleo 2 del pozo Lantrisco-1 se determinaron los siguientes organismos: *Calpionella alpina*, *Cyclagellosphaera morgerelli* y *Watznauveria barnesae*, que indican una edad Titoniano Superior. Además, Zárate (*op. cit.*), reporta abundante macro y microfauna, con la que se establece una edad Kimmeridgiano Inferior- Titoniano Superior para esta formación.

e) Ambiente de depósito.

Los sedimentos que dieron lugar a las rocas de la Formación Pimienta se depositaron en un ambiente de plataforma externa, de baja energía y condiciones reductoras, y el ambiente de depósito más profundo se ubica hacia la cima de la formación.

II.3 Cretácico Inferior.

II.3.1 Formación Tamaulipas Inferior.

a) Definición.

Stephenson (1921), utilizó por primera vez el término Caliza Tamaulipas; por su parte Muir (1936), redefinió esta unidad y estableció que la Caliza Tamaulipas incluiría a todas las rocas que infrayacen a la Formación Agua Nueva en la Sierra de Tamaulipas y hace la división de ésta en tres unidades: Tamaulipas Inferior, Horizonte Otates y Tamaulipas Superior. Ubicó su localidad tipo en el cañón de la Borrega, situada en el flanco oeste de la Sierra de Tamaulipas.

b) Litología y espesores.

Se presenta en todos los pozos estudiados con una litología muy homogénea de mudstone de color gris claro con porciones dolomitizadas, fracturas selladas con calcita, pirita diseminada y microestilolitas. El núcleo 2 del pozo Veterano-1 se cortó en la parte inferior de la formación la cual está constituida por mudstone de color gris claro, parcialmente dolomitizado; contiene abundantes tintínidos, ostrácodos, radiolarios calcificados, es ligeramente arcilloso y contiene pirita diseminada.

El pozo Huapango-1 tiene dos núcleos dentro de esta formación, con una litología constituida por caliza de color gris, pardo claro y crema, de una textura criptocristalina, con porciones arcillosas de color oscuro, con radiolarios calcificados, tintínidos, ostrácodos y con ligera impregnación de aceite en porosidad intercrystalina.

Los espesores atravesados en los diferentes pozos estudiados son: Coralillo-1, 365 m; Cruillas-1, 373 m; Huapango-1, 140 m; Lantrisco-1, 380 m; Olmos-1; 428 m; Salitre-1, 322 m; Veterano-1, 300 m; y Linares-1, 441 m.

c) Relaciones estratigráficas.

Sobreyace concordante y transicionalmente a la Formación Pimienta del Jurásico Superior y subyace de la misma manera a la Formación Otates; en el pozo Huapango-1 el contacto superior de la Formación Pimienta es por falla normal con la Formación Méndez.

d) Edad y correlación.

Con base en la litología de esta formación en el pozo Veterano-1 se identificaron: *Globochaete alpina*, *Calpionella alpina*, *Tintinnopsella carpathica*, *Tintinnopsella longa*, *Remaniella sp.*, *Calpionellopsis oblonga*, *Lorenziella hungarica*, *Lorenziella plicata*, *Remaniella dadayi*, *Calpionellopsis simplex* y *C. neocomiensis*; que indican una edad Berriasiano-Barremiano. Se correlaciona con las formaciones Taraises y Cupido del Mar Mexicano y sierra de Tamaulipas.

e) Ambiente de depósito.

De acuerdo a sus características litológicas y faunísticas, se infiere que los sedimentos que constituyen la Formación Tamaulipas Inferior se depositaron en un ambiente de plataforma externa.

II.4 Secciones de correlación

Con base en la información obtenida con el estudio de las formaciones anteriormente analizadas se construyeron cuatro secciones de correlación estratigráficas (figuras 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12).

Dentro de éstas, hay dos con dirección aproximada N-S (figs. 2.9 y 2.11) y dos con dirección aproximada W-E (figs. 2.10 y 2.11) en las que se aprecia la continuidad lateral de las diferentes formaciones.

En el caso de la Unidad Lechos Rojos y la Formación Minas Viejas la continuidad no es patente por las condiciones restringidas de depósito y también debido a que no todos los pozos alcanzaron estas unidades.

Para la Formación Zuloaga hay diversos cambios laterales de facies. La facies de bancos oolíticos es predominante dentro de esta formación en las secciones N-S, no así en las W-E en las que la continuidad lateral predominante es la de carbonatos con bioclastos y peletoides. A pesar de eso los espesores se conservan más o menos constantes dentro de ciertos intervalos y las facies también son más o menos correlacionables considerando que su ambiente de depósito es de inframarea somera a supramarea por lo que estas variaciones laterales son normales.

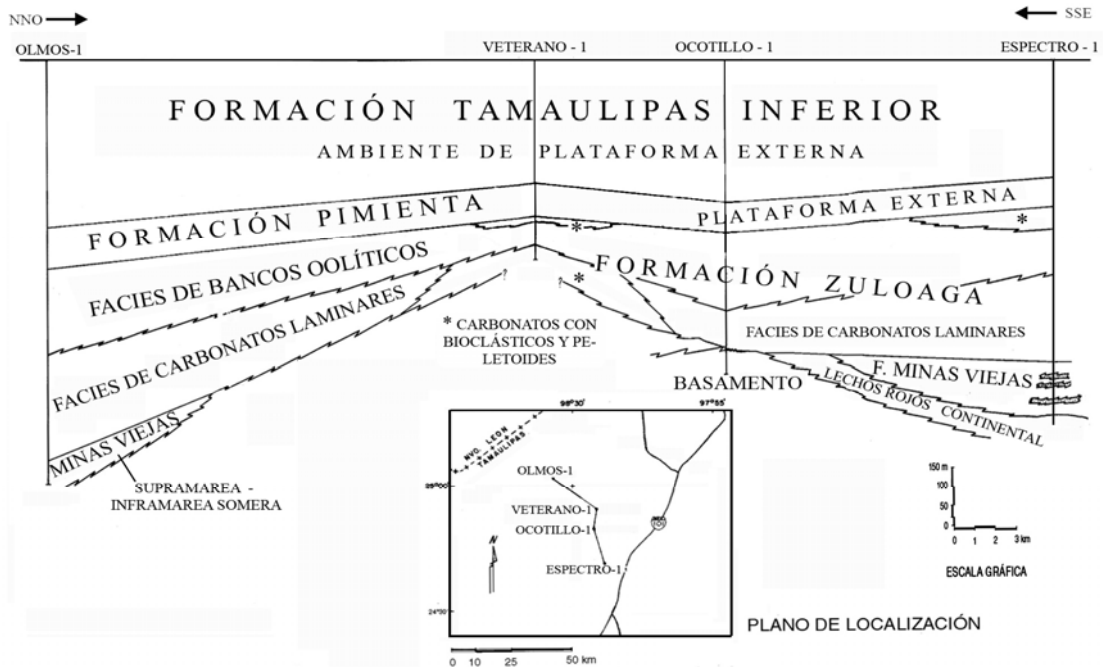


FIG. 2.9 SECCIÓN DE CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA No. 1



FIG. 2.10 SECCIÓN DE CORRELACION ESTRATIGRÁFICA No 2

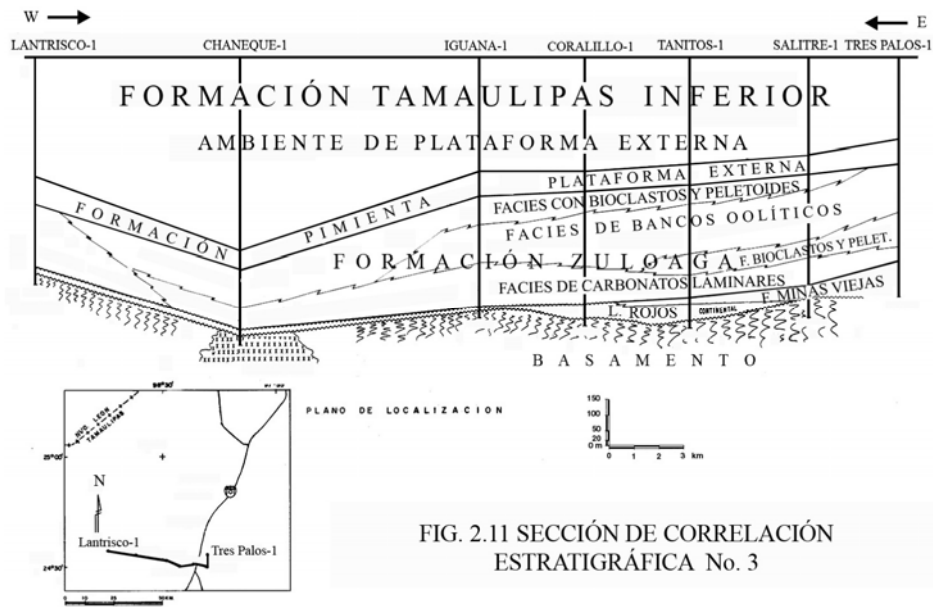


FIG. 2.11 SECCIÓN DE CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA No. 3

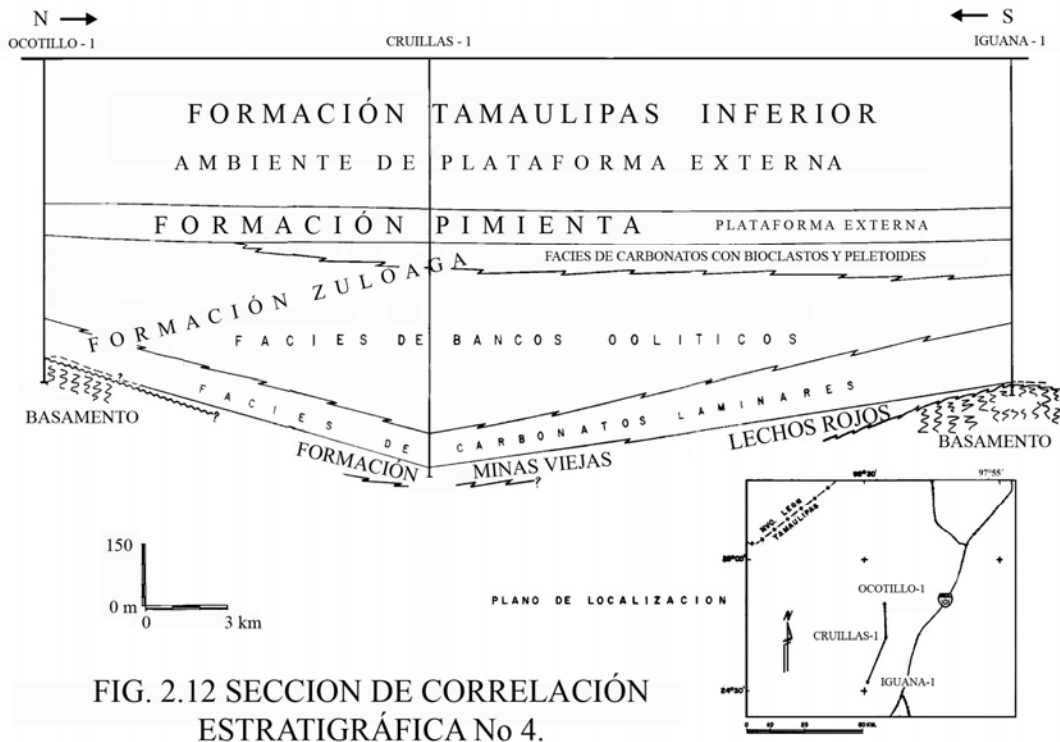


FIG. 2.12 SECCION DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA No 4.

En las formaciones Pimienta y Tamaulipas Inferior la continuidad y espesores son mucho más homogéneos en sentido lateral tanto en sentido N-S como en sentido W-E. Esto es debido a las condiciones de depósito de plataforma externa (ambiente profundo).

III- MODELO DE EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA.

III.1 Prejurásico Superior

A principios del Paleozoico hubo una extensión muy amplia de los mares sobre las rocas granulíticas de edad Precámbrica que habían sido deformadas y metamorfoseadas en el Proterozoico Tardío. Estos mares implantaron un sistema de sedimentación que trajo como consecuencia depósitos en una gran plataforma somera que se comportó con cierta estabilidad tectónica (Sistema Huasteco-Marathon-Ouachita) (Cebull y Shurbet, 1980, *in* García, *et al.*).

Aparentemente para el Devónico el evento tectónico Orogenia Taconiana se manifiesta, y trajo como consecuencia la deformación y metamorfismo en las rocas del Paleozoico Temprano.

Así, para el Paleozoico Tardío, debido al choque de placas, producto de la formación del supercontinente de Pangea, se tienen registros de mucha actividad tectónica y depósitos de grandes espesores de terrígenos marinos correspondientes a la Formación Guacamaya, que junto con las rocas infrayacentes se ven afectadas por plegamientos y metamorfismo de bajo grado.

El evento tectónico Permo-Triásico que dio origen a la disgregación de la Pangea, debido a los esfuerzos regionales de tensión y mediante un proceso de *rifting*, provocó un sistema de fallamiento en fosas y pilares tectónicos en las rocas paleozoicas, para posteriormente, durante el Triásico Tardío las fosas queden bajo la influencia de sedimentos continentales provenientes de abanicos aluviales y depósitos con rocas volcánicas asociadas, que corresponden a la Unidad Lechos Rojos (Formación Huizachal).

En el Jurásico Medio ocurrió una etapa de inestabilidad tectónica que trajo como consecuencia una reactivación del sistema de fallamiento en bloques. Con este nuevo

reajuste tectónico da inicio el depósito de sedimentos continentales de la Formación La Joya, en forma discordante con la Formación Huizachal.

Al mismo tiempo y aunados a una subsidencia regional, comienzan los primeros avances del mar que marcan el inicio de la transgresión mesozoica que desarrolló cuencas salinas internas y aisladas que estaban bordeadas por plataformas relativamente estables, en ellas se depositaron sedimentos evaporíticos y que en ocasiones se encuentran asociadas con sedimentos terrígenos finos de planicies aluviales, que son característicos de la Formación Minas Viejas (Fm. Metate). (Fig. 3.1).

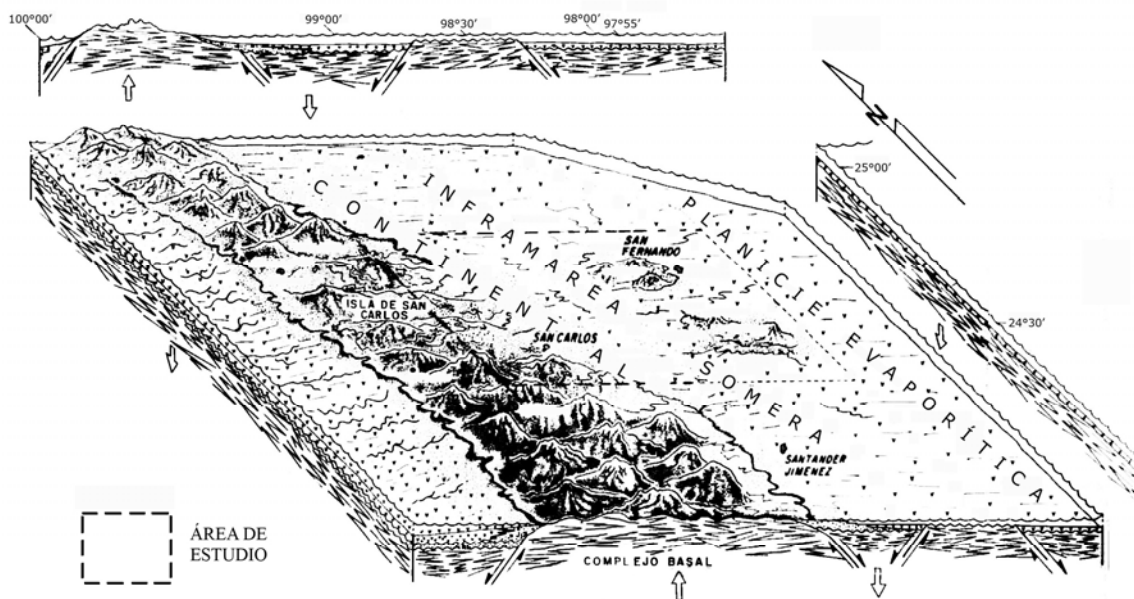


FIG. 3.1 EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA DEL CALLOVIANO (FM. MINAS VIEJAS Y UNIDAD LECHOS ROJOS)

III.2 Jurásico Superior

A inicios del Oxfordiano, la transgresión actuó con mayor intensidad y definió los límites de islas y penínsulas. La elevación inicial del nivel del mar probablemente fue rápida, lo que propició el depósito de calizas finamente laminadas de color oscuro con material carbonoso, pelets y piritita, pertenecientes a la parte inferior de la Formación Zuloaga y depositados en un ambiente de intermarea a inframarea somera, sobre una plataforma posiblemente en forma de rampa (Fig. 3.2).

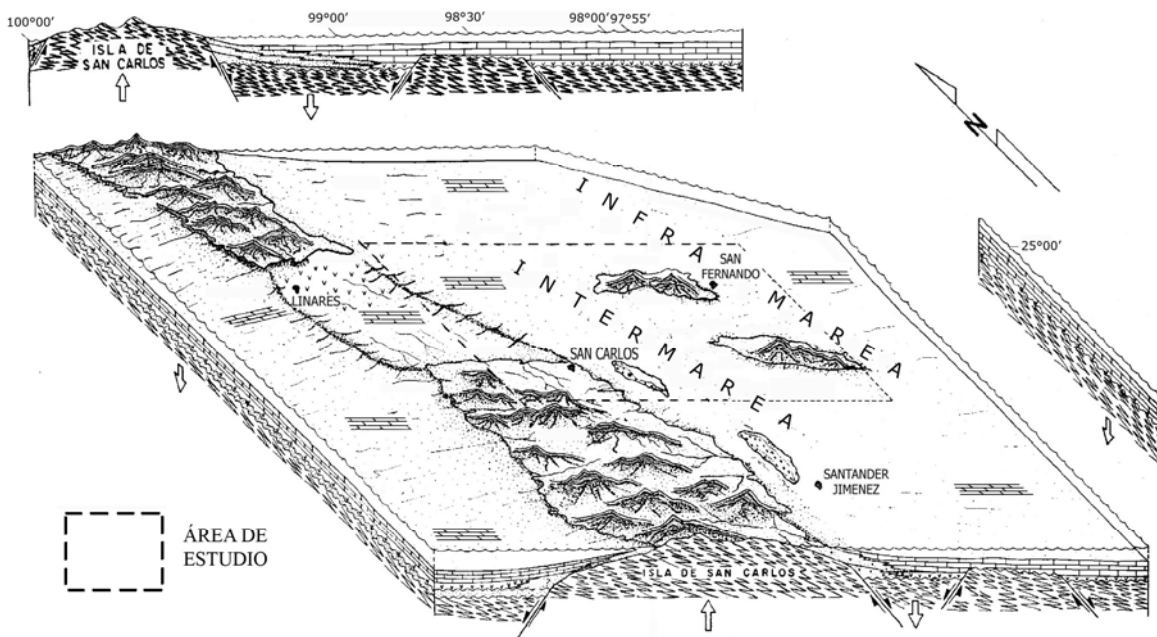


FIG. 3.2 EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA DEL OXFORDIANO (FM. ZULOAGA / PARTES INFERIOR Y SUPERIOR)

Posteriormente, el nivel del mar subió más lentamente, los sedimentos del centro de la cuenca gradúan hacia arriba a sedimentos bioturbados y bioclásticos, depositados en un ambiente somero más oxigenado, que permitió mayor actividad biológica; mientras que las partes altas fueron sitios de depósito de alta energía.

La estabilidad del nivel del mar estuvo acompañada por el establecimiento de un sistema de bancos calcáreos de alta energía, paralelos a la línea de costa, en la parte oriental de la paleoisla de San Carlos y observados actualmente en los alrededores del pozo Huapango-1. Este sistema se mantuvo por un período relativamente largo, cuando se logró un equilibrio entre subsidencia y sedimentación durante el cual se depositaron grandes espesores de arenas calcáreas de alta energía, constituidas principalmente por oolitos, pelets, oncolitos e intraclastos. Los depósitos de alta energía de la Formación Zuloaga forman lentes que se hacen gruesos hacia el centro de la cuenca y probablemente alcanzan su máximo espesor a lo largo de las márgenes de las cuencas salinas, ya que se incrementa el grado de subsidencia hacia las partes más profundas (Fig. 3.3).

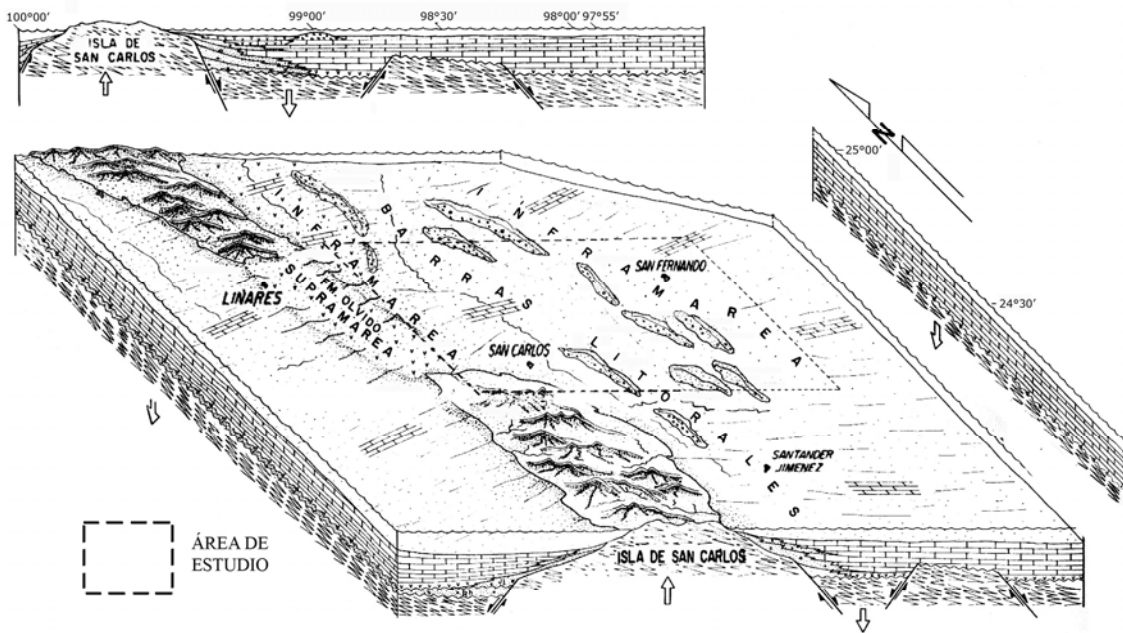


FIG. 3.3 EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA DEL KIMMERIDGIANO INFERIOR (FM. ZULOAGA Y FM. OLVIDO)

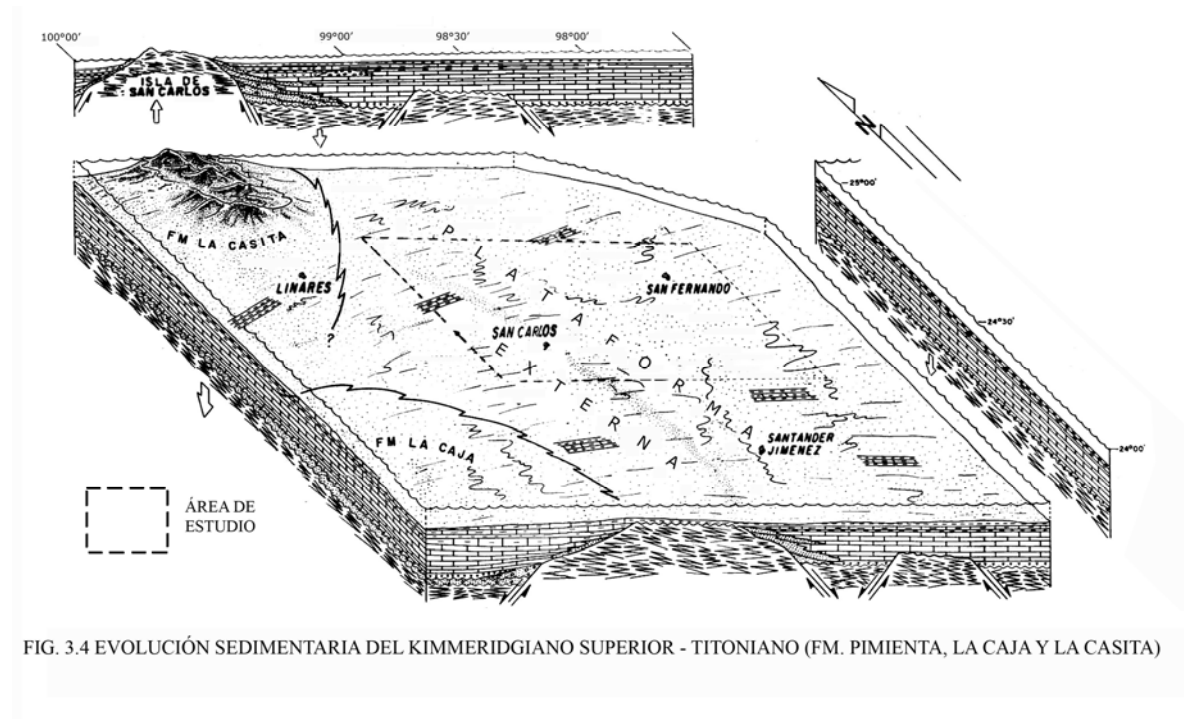
Mientras que en la mayor parte del área continuaba el desarrollo de los bancos oolíticos, encima de ellos y como parte final de la Formación Zuloaga se depositaron calizas con bioclastos y pelets, en ocasiones con pequeñas cantidades de evaporitas.

Debido a que las condiciones de depósito fueron cada vez más someras y que las barras litorales restringieron el ambiente, en algunas porciones del área de estudio se depositaron calizas dolomitizadas intercaladas con evaporitas tanto nodulares como laminares, en ambientes de supramarea a inframarea somera, pertenecientes a la Formación Olvido.

En áreas cercanas (sur de Tamaulipas y sur de Texas), se encuentran secuencias depositadas durante el Jurásico Tardío que de manera muy general son parecidas a las de la zona estudiada; se observan ligeras diferencias que muestran los naturales cambios laterales de acuerdo a las características locales. Por esto es lógico pensar que existieron condiciones de depósito similares en todo el borde del golfo. En dichas áreas se tiene un paquete de evaporitas y calizas encima de los bancos oolíticos, que en su parte superior

generalmente tienen un cuerpo de calizas que indican una nueva manifestación de la transgresión.

Para el Kimmeridgiano Tardío-Titoniano, es probablemente cuando ocurre el cambio radical en la sedimentación, producto de la inestabilidad tectónica del sistema de fallamiento en bloques del basamento heredado del evento tectónico distensivo Palizada, lo que da origen a una nueva transgresión llevada a cabo sobre una plataforma amplia y extendida. Esta transgresión posiblemente cubrió casi toda el área representada en el Fig. 3.4, y deja como único remanente la última expresión del paleoelemento de San Carlos, mismo que proporcionó el aporte de materiales terrígenos finos, que al asociarse con carbonatos dan origen a las rocas que constituyen a la Formación Pimienta.



III.3 Cretácico Inferior

Finalmente, a inicios del Cretácico Temprano, Berriasiano- Aptiano Inferior, la inundación fue completa y total, que dio como resultado, fuera ya de toda influencia terrígena, el depósito de los carbonatos de ambientes de mar abierto, con abundantes tintínidos que pertenecen a la Formación Tamaulipas Inferior (Fig. 3.5).

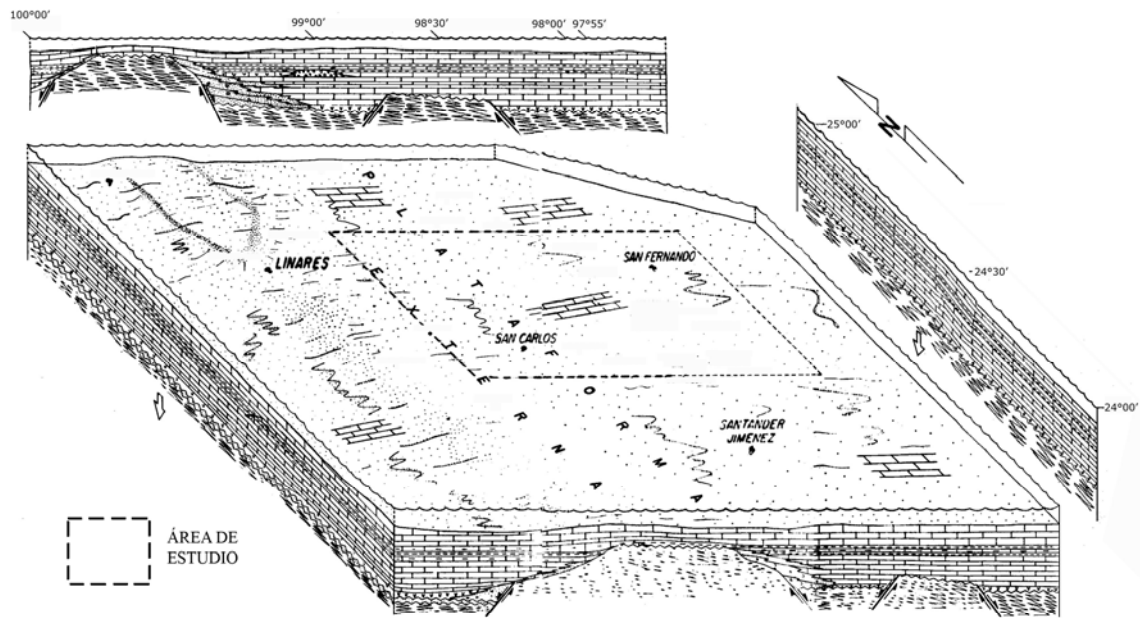


FIG. 3.5 EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA DEL BERRIASIANO (FM. TAMAULIPAS INFERIOR)

III.4 Geología Estructural

De acuerdo con la recopilación de Madrid (*op. cit.*), la estructura general a nivel del Jurásico muestra un echado regional ENE suave interrumpido por estructuras anticlinales y narices estructurales muy suaves y un sistema de fallamiento regional escalonado con rumbo general NNW-SSE y con caída al ENE, ocasionalmente se reportan fallas normales con caída hacia el WSW. En la mayoría de los casos las estructuras anticlinales se encuentran en el lado bajo de las fallas y siguen un rumbo NNW-SSE.

En el área de estudio y zonas vecinas, Pemex ha realizado algunos estudios sísmicos. En el Prospecto Teresa II Sur se estudian diversas secciones con orientaciones sensiblemente paralelas al tren estructural (dirección nor-noroeste – sur-sureste) y otras perpendiculares a él (dirección este-noreste – oeste-suroeste).

En las secciones con dirección NNW-SSE que son subparalelas al tren estructural y sedimentológico se aprecian discontinuidades estratigráficas laterales (comunes en ambientes cercanos a la costa) pero se permite ver un comportamiento homogéneo en los espesores de los paquetes sedimentarios.

Sin embargo en las secciones con dirección WSW-ENE se aprecian claramente los incrementos del paquete sedimentario hacia el ENE, es decir hacia la zona de mar abierto, sobre todo en el terciario.

Esto indica un comportamiento del paquete sedimentario homogéneo a partir del terciario, con tendencia a engrosarse hacia la cuenca.

III.5 Evolución Tectónica

Los depósitos del Jurásico Superior y Cretácico se realizaron en un margen pasivo que no tuvo mayor influencia tectónica. Hacia fines del Cretácico y principios del Terciario se recibieron los primeros efectos de los movimientos tangenciales provenientes del occidente y que habían constituido los plegamientos de la Sierra Madre Oriental, pero que fueron amortiguados y ligeramente disipados por los cuerpos basales de gran densidad (Paleoisla de San Carlos).

Posiblemente, de fines del Eoceno a mediados del Oligoceno se originó un empuje vertical de estos cuerpos basales, acompañado por fracturamientos e incluso algunas intrusiones. Algunas de ellas llegaron a formar estructuras dómicas, que no afectaron a los depósitos mesozoicos.

Finalmente, a principios del Mioceno ocurrió otra reactivación tectónica acompañada de nuevos plegamientos y fracturamiento en las capas terciarias, y a finales del Mioceno hubo otra etapa de actividad volcánica.

El problema del tiempo de migración de los hidrocarburos es difícil de resolver: 1) si dicho movimiento ocurrió antes del Eoceno Superior-Oligoceno Medio, la acumulación de ellos podría haber quedado atrapada en los acuíferos echado arriba de los cuerpos calcareníticos y de dolomías y no en los cierres estructurales. 2) si la migración ocurrió después del Oligoceno Medio la acumulación estará restringida a pliegues anticlinales y cierres contra falla: en tal caso la preservación de los hidrocarburos dependerá de que dichos atrapamientos hayan quedado sellados después de los reajustes del Mioceno.

IV PERSPECTIVAS DE ECONOMÍA PETROLERA

IV.1 Pozos perforados

En el área de estudio se han perforado un gran número de pozos que tuvieron como objetivo las rocas jurásicas y se encuentran localizados principalmente sobre altos estructurales en la porción oriental de la Paleoisla de San Carlos. Los resultados económicos no han sido buenos ya que solamente en algunos pozos se presentaron ligeras manifestaciones de gas e impregnación de aceite en diferentes intervalos dentro de la columna del Jurásico Superior y Cretácico Inferior (ver Tabla 4.1 al final del capítulo). Sin embargo, a últimas fechas, PEMEX ha iniciado una reinterpretación de datos en el área en el intervalo antes mencionado, pues con la nueva tecnología de extracción es posible abrir zonas de interés productor. Tal es el caso del campo Lerma-Talismán, al sur del área sobre el tren de bancos oolíticos de la Formación Zuloaga.

IV.1.1 Datos petrofísicos

A continuación se describen las formaciones que tienen importancia económica- petrolera de acuerdo con sus características litológicas.

a) Rocas generadoras

La Formación Minas Viejas tiene probabilidades de generar hidrocarburos cuando se encuentra en alternancia con calizas arcillosas que contienen abundante materia orgánica, derivada principalmente de carpetas de algas; se ha comprobado la capacidad para la conservación de la materia orgánica en el medio salino (Busson, 1988), y posteriormente, si se combinan los factores de tiempo y temperatura, se llega a las condiciones adecuadas para la generación de hidrocarburos.

La parte inferior de la Formación Zuloaga, constituida por calizas laminares, con abundante materia orgánica y depositada en un ambiente reductor de baja energía, pudo haber sido la unidad que generó los hidrocarburos que impregnaron las facies suprayacentes; esta consideración se hace si se toma en cuenta principalmente sus características litológicas ya que, con excepción de las intercalaciones de calizas de la Formación Minas Viejas, no existen unidades formacionales con capacidad para generar hidrocarburos anteriores al depósito de la Formación Zuloaga. Además, se tienen evidencias de que en zonas vecinas productoras (sur de Tamaulipas y este de Texas) esta facies es la generadora de hidrocarburos (Hancharik, 1984).

Por último se tiene a la Formación Pimienta con capacidad generadora en sus gruesos cuerpos de lutitas calcáreo- carbonosas, que alternan con calizas arcillosas.

Desafortunadamente, en los análisis geoquímicos realizados a muestras de núcleo de algunos pozos se observa que el potencial generador de hidrocarburos, al menos en esta zona, es pobre.

b) Rocas almacenadoras

Dentro de la Formación Zuloaga se presentan dos facies que tienen capacidad para almacenar hidrocarburos: la primera es la facies de carbonatos laminares, la cual en su parte inferior está compuesta por calizas dolomitizadas y dolomías con cantidades menores de evaporitas que contienen porosidad intercrystalina y por disolución, posiblemente la dolomitización y, en consecuencia, el desarrollo de la porosidad se debe al reflujo a través de la Formación Zuloaga, de salmuera supersaturada de las evaporitas infrayacentes (Formación Minas Viejas).

La segunda facies con posibilidades de funcionar como almacenadora es la de bancos oolíticos. Esta facies tiene continuidad hacia el norte y sur del área ya que existieron condiciones de depósito muy similares en toda la planicie costera del Golfo de México durante el Jurásico Superior. En la región del golfo en Estados Unidos, la facies de bancos oolíticos corresponde a la Formación Smackover, en ella se tiene producción de hidrocarburos en yacimientos con porosidad primaria intergranular que logró conservarse, así como en porosidad móldica e intercrystalina en intervalos dolomitizados (Moore, 1984).

En el sur del estado de Tamaulipas se presenta la facies de bancos oolíticos dentro de la Formación Olvido, en donde son productores algunos pozos de esta zona en dicha facies, ya que contiene buena porosidad intergranular e intercrystalina (Basáñez y Bello, *op. cit.*).

En el área de estudio los bancos oolíticos se presentan en la mayoría de los pozos, sin embargo, no se ha tenido producción en ninguno de ellos y presentan solamente ligeras manifestaciones. La explicación de esto, posiblemente se tenga en los procesos diagenéticos por los que pasaron estos sedimentos y que, de manera general, se pueden considerar los siguientes: una etapa inicial freática marina, en donde se rompen las conchas de los organismos y producen aloquímicos del tamaño de arena que pudieron eliminar completamente la porosidad intergranular; además, los aloquímicos fueron totalmente micritizados. También en esta etapa se desarrolló el cemento fibroso como sobrecrecimientos en los aloquímicos. Posteriormente en una etapa de diagénesis meteórica somera, existió disolución de los aloquímicos cuando el agua meteórica percoló a través de los granos en las calcarenitas; se presentó la compactación- solución de las oolitas micritizadas, como resultado de la presión de sobrecarga creada por la continua sedimentación y el desarrollo de cementación de calcita espática de tamaño fino a medio.

Por último la circulación de fluidos durante el sepultamiento, provocó una etapa de disolución y cementación. La disolución es un importante período del desarrollo de yacimientos en el subsuelo. Las rocas relativamente compactas pueden desarrollar buenos yacimientos por la disolución de ooides micritizados (Loucks y Budd, 1984).

En el área de estudio, la etapa de disolución no fue muy importante ya que la mayoría de los aloquímicos no fueron alterados, solamente se observa disolución en los bordes de algunos de ellos. Posiblemente la generación y migración de hidrocarburos fueron posteriores a la disolución y antes de la cementación, ya que existe materia orgánica en los bordes de aloquímicos y en porosidad intercrystalina.

Finalmente, en la etapa de cementación se desarrolló calcita en cristales grandes de tipo mosaico, que fue el último cemento precipitado y que además cerró los poros que aún quedaban.

Otro aspecto importante y que marca la diferencia con las áreas vecinas, es la relacionada con la dolomitización de las calcarenitas. En el sureste de Estados Unidos, la facies de bancos oolíticos de la Formación Smackover, pasó por una etapa de diagénesis debida al reflujó de salmuera de la suprayacente Formación Buckner. La dolomitización que produjo porosidad intercrystalina y móldica, es el principal proceso diagenético en esta etapa. Los cristales de dolomita precipitaron en el espacio poroso y reemplazaron a los aloquímicos, principalmente ooides micritizados. En esta zona, las rocas almacenadoras contienen principalmente porosidad móldica, desarrollada en los grainstones dolomitizados. Por otra parte, la distribución de la dolomitización coincide con el área de depósito de las evaporitas de la Formación Buckner (Moore, *op. cit.*).

Al noroeste y sur del área, los bancos oolíticos pueden encontrarse intercalados con evaporitas; en este caso, el proceso de cementación temprana de los oolitos con anhidrita y yeso es muy común, además existe reemplazo del carbonato de calcio de algunos oolitos por anhidrita, que posteriormente propiciaron la porosidad y mediante migración temprana lograron entramparse los hidrocarburos (Aguayo, *op. cit.*; Basañez y Bello, *op. cit.*). Como puede notarse, la relación entre las facies de bancos oolíticos con las evaporitas es muy importante en el desarrollo de porosidad, desgraciadamente al oriente de la paleoisla de San Carlos no existieron las condiciones necesarias para el desarrollo de grandes espesores de evaporitas, por lo que es posible que éste sea el factor determinante para que no se haya producido la porosidad y en consecuencia, la impregnación existente.

c) Rocas sello

Las formaciones por cuyas características litológicas se considera que pueden funcionar como sello, son las evaporitas de las formaciones Minas Viejas y Olvido (sólo presente al poniente del área), además de las rocas arcillosas de la Formación Pimienta.

En el área de estudio, al no presentarse las evaporitas de la Formación Olvido asociadas con los bancos oolíticos y por tanto, no haber sello encima de las calcarenitas, es posible que los hidrocarburos hayan migrado hasta la Formación Tamaulipas Inferior.

IV.1.2 Manifestaciones

Como se mencionó anteriormente, en el S-SE de la plataforma del Burro, se han perforado diversos pozos con objetivos cretácicos y jurásicos localizados en su mayor parte en altos estructurales o cierres contra falla. En algunos pozos se han observado ligeros flujos de gas con presiones de hasta 7 a 21 kg/cm² durante las pruebas de producción. También llegó a haber lecturas de gas en lodo como en los pozos Coralillo-1, Glauco-1, Iguana-1, Mirasol-1, Módulo-1, Olmos-1, Perdigón-1, Retama-1 y Tres Palos-1. También se encontraron trazas de aceite residual en la mayoría de los pozos (véase Tabla 4.1 al final del capítulo). Sin embargo, hasta la fecha no han tenido producción comercial.

IV.1.3 Registros geofísicos de pozos

Una de las herramientas básicas para la realización de este trabajo fueron los registros geofísicos de pozos, que permitieron conocer de manera cualitativa algunas de las características y propiedades básicas de las rocas perforadas por los pozos estudiados.

Con base en la respuesta de las herramientas en los paquetes de roca se definieron los límites de las principales electrofacies y con el apoyo de la petrografía de las muestras de canal y núcleos se ubicaron las formaciones objetos de estudio.

Los principales registros empleados fueron potencial espontáneo, resistividad, rayos gamma y neutrón.

Con base en las curvas de resistividad se intentaron reconocer de manera cualitativa las unidades que presentan mejor porosidad efectiva con la finalidad de determinar los cuerpos capaces de almacenar hidrocarburos. De este análisis se desprende que sólo algunas facies superiores de la

Fm. Zuloaga y algunas facies inferiores de la Fm. Tamaulipas Inferior (pozos Olmos-1, Cruillas-1, Coralillo-1 y Salitre-1) tienen porosidad significativa (registro neutrón o sónico). Sin embargo, estos paquetes litológicos parecen contener saturación de agua (registro eléctrico). Esto, aunado a la falta de manifestaciones y la escasez de materia orgánica en la mayoría de los pozos, descarta el potencial como facies acumuladoras de hidrocarburos.

IV.2 Tipos de trampas

Debido al comportamiento estratigráfico y estructural del área se han propuesto diversos modelos de trampas de uno u otro tipo o mixto (Fig. 4.1)

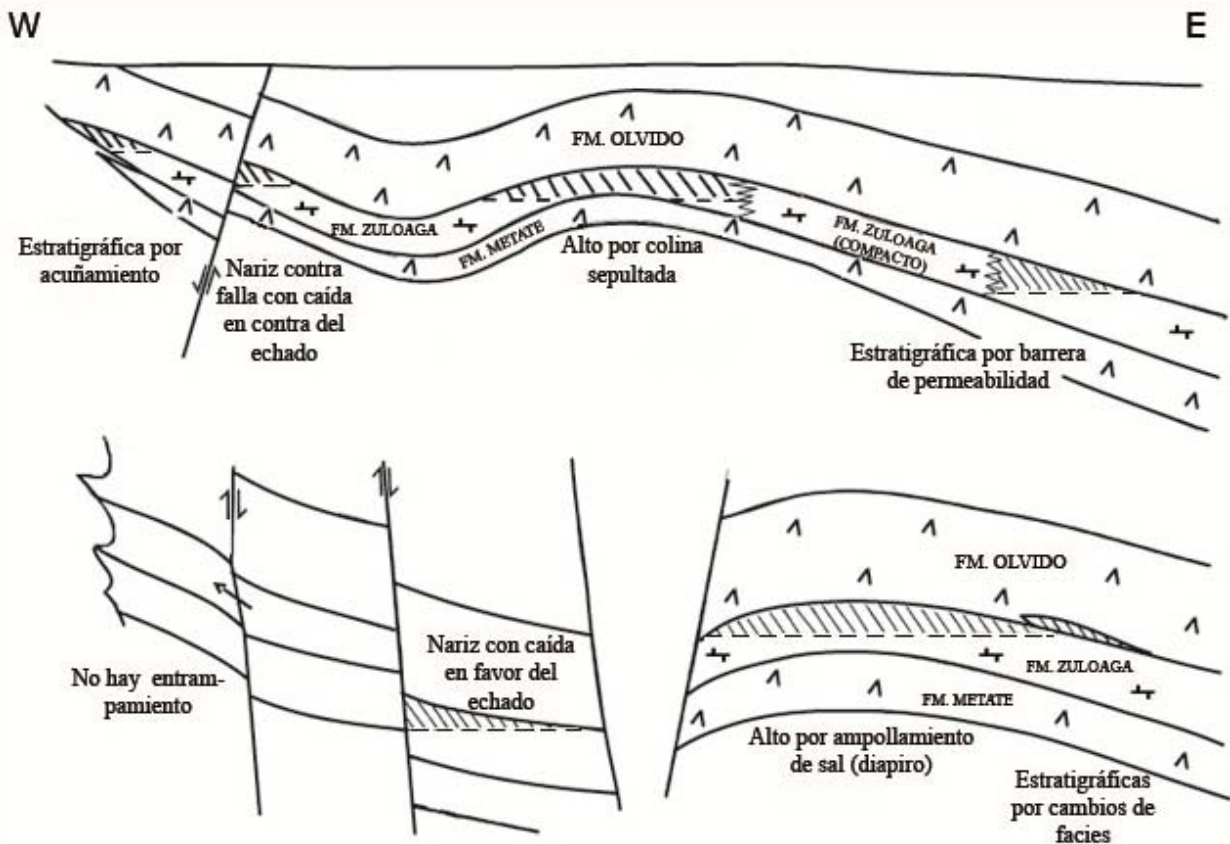


FIG. 4.1 TIPOS DE TRAMPAS DE HIDROCARBUROS DE LA FORMACIÓN ZULOAGA AL ORIENTE DE LA ISLA DE SAN CARLOS.

Muchas de las estructuras anticlinales han sido perforadas por pozos exploratorios, aunque los factores necesarios para tener una producción comercial de hidrocarburos no se han encontrado en la mayoría de ellos. Es en los sistemas de fallamiento o plegamiento y cercanos al borde de la Paleoisla de San Carlos, donde se tienen las mejores posibilidades de encontrar trampas estructurales.

Otro tipo de trampa que puede presentarse es la de tipo estratigráfico, con una distribución reducida al borde oriental de la paleoisla y a la zona donde se localiza la barrera litoral oolítica, en los lugares en que los bancos oolíticos se acuñan y cambian de facies a ambientes de supramarea.

POZO	MANIFESTACIONES	INTERVALO	Formación	POROSIDAD	RESULTADO
CHANEQUE-1	Exudación de aceite ligero, Aceite vivo.	820-845 m N-3 y N-4	Zuloaga Zuloaga	Intercristalina Microcristalina	Improductivo seco
CORALILLO-1	Trazas de aceite vivo Manifestaciones de gas	1386-1500 m 1797-1910 m N-2, N-3 y N-4	Tamps Inf Zuloaga Zuloaga	Microfracturas Intercristalina Intercristalina	
CRUILLAS-1	Sin manifestación				Improductivo seco
ESPECTRO-1	Aceite residual	3310-3340 m	Zuloaga	Intercristalina	Improductivo
GLAUCO-1	Burbujeo de gas	Diversos	Zuloaga	Intercristalina e intergranular	Saturado de agua
HUAPANGO-1	Ligera impregnación de aceite	3890-3900 m 3955-3980 m 4025-4066 m	Tamps Inf Pimienta	N. D. N. D. N. D.	Improductivo Invasado
IGUANA-1	Trazas de aceite residual Aceite residual, ligero gas metano	1380-1500 m 1550-1640 m	Zuloaga Zuloaga	Intergranular intergranular intercristalina	Improductivo seco
LANTRISCO-1	Aceite residual	N-3, N-4 y N-6	Zuloaga	Intergranular	Improductivo
LINARES-1	Aceite residual	2410	Olvido	N. D.	
MIRASOL-1	Aceite residual y gas	3904-3933 m	Zuloaga	Intercristalina Cavidades	Improductivo seco
MÓDULO-1	Aceite residual, gas metano	N-5 4658-4667 m		Intercristalina microfracturas	
OCOTILLO-1	Aceite residual		Zuloaga	Intergranular Cavidades	Improductivo invadido
OLMOS-1	Trazas de aceite residual Manifestaciones de gas	4180-4244 m 4500-4504 m	Zuloaga	Intercristalina Microfracturas	
PERDIGÓN-1	Gas metano	4368 m	Zuloaga	N. D.	
RETAMA-1	Fuerte flujo de H ₂ S y gas, 80% metano, 10% H ₂ S y 10% otros gases	N-6		N. D.	Abandonado
SALITRE-1	Aceite residual Aceite residual y trazas Aceite ligero	N-1 N-5, N-6, N-7 N-8, N-9, N-10 N-11, 12, 13, 14	Tamps. Inf Zuloaga Zuloaga Zuloaga	Microfracturas Intergranular Intercristalina Microfracturas	
TANITOS-1	Aceite residual		Zuloaga	Intergranular Intercristalina	Improductivo invadido
TRES PALOS-1	Aceite residual Lecturas altas de gas		Zuloaga Pimienta	Intergranular	Improductivo invadido
TRINCHERAS-1	Sin manifestación				
VAQUERÍAS-1	Flujo de azufre	3883	Minas Viejas	N. D.	
VAQUERÍAS-2	Sin manifestación				
VETERANO-1	Trazas de aceite residual Trazas de aceite residual	N-3 N-4	Zuloaga Zuloaga	Intergranular Microfracturas	Improductivo seco

N. D. No determinado

TABLA 4.1. RESULTADOS ECONÓMICOS DE LOS POZOS PERFORADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

V. CONCLUSIONES.

Para determinar la evaluación geológica-petrolera de una cuenca se requiere definir los siguientes aspectos:

- Origen y evolución.
- Sedimentología, estratigrafía y geología estructural.
- Rocas potencialmente generadoras.
- Rocas potencialmente almacenadoras.
- Rocas sello.
- Trayectorias de migración.
- Trampas.
- Sincronía.

Como resultado de las características y la interpretación del presente trabajo se propone el siguiente sistema petrolero:

- Origen, evolución, sedimentología y estratigrafía.

Durante el Calloviano, el área fue una planicie evaporítica al oriente variando hacia el centro a una zona de inframarea y al poniente a una zona de aportes terrígenos de origen continental originados en la península de Tamaulipas. Los depósitos corresponden a las formaciones Minas Viejas (planicie evaporítica y zona de inframarea) y Lechos Rojos (terrígenos continentales).

En el Oxfordiano, debido la transgresión que actúa con mayor intensidad, se abre un canal en la zona media de la península de Tamaulipas formando la Isla de San Fernando hacia el sur. Esta isla sigue aportando terrígenos en menor cantidad al poniente mientras que al centro y oriente hay zonas de intermarea e inframarea con depósitos de grandes paquetes de calizas y calizas dolomíticas oscuras en tres facies que son los carbonatos laminares, los carbonatos con bioclastos y peletoides y los bancos oolíticos, todas ellas en cinturones con orientaciones norte-sur, paralelos a la isla de San Carlos. Con el rápido

incremento del nivel del mar se inicia el depósito de calizas laminadas oscuras con material carbonosos, pelets y pirita (parte inferior de la Formación Zuloaga). Después, al subir el nivel más despacio, empieza el depósito de sedimentos bioturbados y bioclásticos, de ambiente somero más oxigenado que el anterior (parte media de la Formación Zuloaga). Los depósitos de alta energía (bancos oolíticos) se forman en ambiente de barreras oolíticas que se engrosan hacia el este debido al incremento del grado de subsidencia hacia el centro de la cuenca (parte media y superior de la Formación Zuloaga). Este periodo representa un estadio de relativa estabilidad tectónica.

Durante el Kimmeridgiano Inferior debido a que las condiciones de depósito son más someras y que las barras litorales restringieron la zona occidental, existe un depósito de calizas dolomitizadas intercaladas con evaporitas nodulares y laminares (Formación Olvido) mientras que en el centro y oriente sigue el depósito de la Formación Zuloaga en sus facies de bancos oolíticos y de carbonatos con bioclastos y peletoides.

Ya en el Kimmeridgiano Tardío-Titoniano, se produce una reactivación tectónica del sistema de fallamiento de bloques del basamento dando origen a una nueva transgresión sobre una plataforma amplia y extendida que cubrió prácticamente toda el área. El aporte de terrígenos del último remanente del paleoelemento de San Carlos con terrígenos finos, se asocia con los carbonatos que forman la Formación Pimienta.

Por último, durante el Berriasiano- Aptiano Inferior, se completa la transgresión regional con un depósito calcáreo de mar abierto sin influencia de terrígenos, pertenecientes a la Formación Tamaulipas Superior. Este depósito es de plataforma carbonatada en un ambiente tectónicamente estable.

El modelo propuesto permite reconocer la evolución sedimentaria local acompañada por los sucesivos eventos tectónicos. Se concluyen los siguientes puntos.

La Unidad Lechos Rojos se desarrolló sobre el borde oriental de la Paleopenínsula de San Carlos y en pequeñas porciones emergidas, situadas al oriente de la misma desde el Triásico Tardío hasta el inicio del Jurásico Tardío en periodos discontinuos.

Las evaporitas de la Formación Minas Viejas tienen continuidad con la Sal Louann del este de Texas y corresponden a la Formación Metate, que marca el inicio de la transgresión mesozoica.

Se reconocieron dentro de la Formación Zuloaga tres facies sedimentarias que son: a) carbonatos laminares, b) carbonatos con bioclastos y peletoides, y c) bancos oolíticos, las cuales tienen una distribución irregular dentro del área, determinada principalmente por la paleotopografía; fueron depositadas en ambientes de inter-inframarea somera.

La Formación Olvido se encontró solamente en el área occidental en el pozo Linares-1 y está asociada a las facies someras de las inmediaciones del Paleoelemento de San Carlos.

Durante el Kimmeridgiano Tardío-Titoniano existió inestabilidad tectónica en gran parte del centro- este de México, continuó la transgresión que cubrió los últimos remanentes de la paleoisla, se depositó en toda el área la Formación Pimienta, que aflora en varios estados del este de México.

En el Cretácico Inferior la transgresión continuó y propició el depósito de la Formación Tamaulipas Inferior en un ambiente de plataforma externa.

- Rocas potencialmente generadoras, almacenadoras y sello.

La facies de carbonatos laminares de la Formación Zuloaga y los carbonatos de la Formación Minas Viejas tienen posibilidades de generar hidrocarburos.

Dentro de la Formación Zuloaga se presentan dos facies que pueden ser almacenadoras de hidrocarburos: la de carbonatos laminares y la de bancos oolíticos. En ambos casos el

desarrollo de la porosidad está directamente relacionado con la presencia de evaporitas de las formaciones Minas Viejas y Olvido y que además, junto con la Formación Pimienta constituyen las rocas sello.

Por lo que corresponde a las trayectorias de migración, el estudio no las contempla por no tener acceso a estudios de tipo geoquímico que evidencien la correlación entre la materia orgánica en las unidades potencialmente generadoras y las potencialmente acumuladoras, así como la falta de un modelo estructural bien definido.

En cuanto a las trampas sólo se concreta a mencionar los modelos propuestos por Madrid (*op. cit.*) y por los resultados preliminares del Prospecto Teresa II Sur de sísmica.

Debido a estos elementos, no se puede determinar la sincronía de los eventos de esta zona. Se propone continuar estudios en este sentido para cerrar estos aspectos de la evaluación geológica-petrolera de este sector de la cuenca.

Ya en este tenor sería recomendable enfocar los estudios a zonas en donde continúe el desarrollo de las facies oolíticas, ya sea dentro de la Formación Olvido o dentro de la Formación Zuloaga, pero que se encuentren asociadas con evaporitas. También sería necesario realizar estudios de geoquímica orgánica e inorgánica para determinar maduración de la materia orgánica, tiempos de migración y correlación de la misma.

Con el desarrollo de tecnología de recuperación secundaria e incluso terciaria se podrían reevaluar las diferentes unidades con manifestaciones para ver la factibilidad de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, C.J.E., 1977.- Estudio Diagenético de la Formación Novillo (Zuloaga) del Jurásico Superior, al Oriente de la península de Tamaulipas en el Noreste de México. I.M.P. Proyecto c-1041. Inédito.
- Basáñez, L.M.A.y Bello, M.R., 1981.- Ambientes sedimentarios y Diagénesis del área Lerma, Talismán, Edo. de Tamaulipas. I.M.P., Proyecto c-1088, Inédito.
- Bell, N. 1920.- Report or the District Casas, Abasol, Cruillas, Burgos, San Nicolás and Güemes. Petróleos Mexicanos, NEM-397. Informe inédito.
- Busson, G., 1988.- Relations entre les types de dépôts évaporitiques et la présence de couches riches en matière organique (roches-meres potentielles) Revue de L'Institut Francais du Pétrole Vol. 43, No. 2, Mars-Avril pp. 181-215.
- Carrillo, B.J., 1961.- Geología del Anticlinorio Huizachal Peregrina al NW de Cd. Victoria, Tamps., Bol. Asoc. Mex. Geól. Petrol. V. XIII, No. 1 y 2 pp. 1-98.
- Echánove, E.O., 1986.- Geología Petrolera de la Cuenca de Burgos. (Partes I y II) Bol. Asoc. Mex. Geól. Petrol. Vol. XXXVIII No. 1, pp. 3-74.
- Flawn, P.T., 1968.- The Ouachita Structural Belt in Mexico.- The Ouachita System: Bureau of Economic Geology University of Texas, Austin, Publication No. 6120.
- Flores, L. R. (1981) Análisis tectónico- estructural del Golfo de Sabinas a partir de datos de subsuelo, superficie y satélite (C-1097)
- García R.A., 1987.- Estudio Estratigráfico-Sedimentológico del Jurásico Superior-Cretácico en el Prospecto Zacatlán, Pue., I.M.P., Proyecto C-3025. Inédito.
- García R.A., Gallo, P.I., Aguilera, G.L., 1989.- Interpretación Geológica Regional en el Prospecto Magiscatzin, N.L., Tamps., I.M.P., Proyecto C-4013. Inédito.
- Hancharik, J.M. 1984.- Facies Analysis and Petroleum Potential of the Jurassic Smackover Formation, Western and Norther Areas. East Texas Basin. in The Jurassic of East Texas. East Texas Geological Society. Tyler, Texas. pp. 67-78
- Hegwein, W.H., 1930.- Geology of the Region between Soto la Marina, San Fernando and Cruillas. Informa inédito NE-M-100 Petróleos Mexicanos.
- Heim, A., 1926.- Notes on the Jurassic of Tamazunchale. Informe inédito NE-M-225 Petróleos Mexicanos.
- Heim, A., 1940.- The front Ranges of the Sierra Madre Oriental, México, from Ciudad Victoria to Tamazunchale. Eclog. Geol. Helvetiae. Vol. 33 pp. 313-362.

- Humphrey, W.E. 1954.- Estudios Estratigráficos de la Sierra de Cruillas, Tamaulipas y El Faile, Nuevo León. Informe inédito. NE-M-586. Petróleos Mexicanos.
- Humphrey, W.E. y Díaz, G-T. 1956.-Jurassic and Lower Cretaceous Stratigraphy and Tectonics of Northeast Mexico. Informe inédito. NE-M-799. Petróleos Mexicanos.
- Imlay, R.W., 1943 Jurassic formations of Gulf Region. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. V. 32, No.27, Nov., pp. 1407-1533.
- Imlay , R.W. Cepeda, E., Álvarez, M. and Díaz, G.T., 1948 Stratigraphic relations of certain Jurassic formations in eastern Mexico. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. V. 32, No. 9, pp. 1750-1761
- Imlay, R. W. 1954.- Amonitas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior colectadas en la Sierra de Cruillas, Tamaulipas. Informe inédito NE-M-584 Petróleos Mexicanos
- King, P.S. 1951.- The tectonics of Middle North America. Princeton University Press, Pinceton, N.J.
- Kopaska-Merkel, D.C., 1988.- Microporosity and production potential in ooids. Mesozoic and Paleozoic of Texas. Carbonates and Evaporites, Vol 2, No. 2, pp 125-131.
- Loucks, R.G. and Budd, D.A., 1984.- Diagenesis and Reservoir Potential of the Upper Jurassic Smackover Formation of South Texas. in Ventress, W.P.S., Bebout, D.G., Perkins, B.F. and Moore, C.H. eds., The Jurassic of the Gulf Rim, Precedings Third Annual Research Conference, Gulf Coast Section, SEPM. pp. 195-206.
- Madrid, S.A., 1973.- Estudio Sedimentológico-Económico del Jurásico área Burgos-Cruillas, San Fernando Tamaulipas. Informe inédito NE-M-1246 Petróleos Mexicanos.
- Madrid, S.A., 1976.- Consideraciones Geológico-Económicas del Jurásico Superior en el noreste de México, in III Symposium de Geología del Subsuelo, Cd. Reynosa, Tamaulipas. Superintendencia General de Exploración, DFNE. Petróleos Mexicanos.
- Miller, R., 1927.- Report Covering the Cruillas District. Informe inédito NE-M-147. Petróleos Mexicanos.
- Mixon, R.B., Grover, E.M., and Díaz, G.T., 1959.- Age and Correlations of Huizachal Group (Mesozoic) State of Tamaulipas, México. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. vol. 43, No. 4, pp. 757-771.
- Moore, C.H., 1984.- Ther Upper Smackover of the Gulf Rim: Depositional systems, Diagenesis, Porosity evolution and Hidrocarbon production: in Ventress, W.P.S., Bebout, D.G., Perkins, B.F. and Moore, C.H. eds., The Jurassic of the Gulf Rim, Precedings Third Annual Research Conference, Gulf Coast Section, SEPM. pp. 283-307.

- Muir, J.M., 1936- Geology of the Tampico Region, Mexico. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. Tulsa, Oklahoma. 280 pp.
- Pémex, Autores varios, 1995. Prospecto Teresa II Sur. Estudio de sismica de refracción. Informe inédito, PEMEX.
- Raisz, E., 1959.- Landforms of Mexico, Cambridge, Mass. Mapa con texto.
- Rodríguez, S. E. (1970) Estratigrafía del Oligoceno de la Cuenca de Burgos. Estudio Regional. (Informe Técnico, PEMEX).
- Seems, D.R., 1921.- Cretaceous Section exposed at El Huizachal, Central Tamaulipas. Informe inédito, Petróleos Mexicanos.
- Stabler, C.L., 1972.- Jurassic Stratigraphic Traps Between San José de las Rusias and Lerma. Informe inédito, Petróleos Mexicanos.
- Stephenson, L.W., 1921.- Some Upper Cretaceous Shells of Rudistid group from Tamaulipas, Mexico, U.S. Nat. Mus. vol. 16, Art. 128.
- Suárez, V.F., 1984.- Jurassic Stratigraphy, depositional Environment and Paleogeography on the east flank of the Tamaulipas Peninsula. San Diego State Univ. MS. Dissertation.
- Zárate, M.J.P., 1977.- Estudio Sedimentológico-Económico del Jurásico Áreas: Oriente de San Carlos, Tamps. y Galeana-Linares, N.L. Informe inédito NE-M-1516. PEMEX.
- Zwanziger, J.A., 1987.- Paleogeografía Chihuahua- Coahuila.- Ingeniería Petrolera Enero, pp. 9-29.