



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Subcuenca de Comalcalco, una zona petrolera de las Cuencas del Sureste mexicano, sus características y recursos naturales, como parte del libro digital: "Las cuencas sedimentarias de México y sus recursos naturales del subsuelo"

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Jazmín Lizeth Sánchez Valle

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Ing. Javier Arellano Gil



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado SUBCUENCA DE COMALCALCO, UNA ZONA PETROLERA DE LAS CUENCAS DEL SURESTE MEXICANO, SUS CARACTERISTICAS Y RECURSOS NATURALES, COMO PARTE DEL LIBRO DIGITAL: [LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS DE MEXICO Y SUS RECURSOS NATURALES DEL SUBSUELO], que presenté para obtener el título de INGENIERO GEÓLOGO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

JAZMIN IZETH SANCHEZ VALLE
Número de cuenta: 317100114



Este trabajo de titulación fue realizado dentro del marco del Programa de Apoyo a Proyectos Para Innovar y Mejorar la Educación, de la UNAM (PROYECTO PAPIME PE102024), consistente en la elaboración del libro digital “LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS DE MEXICO Y SUS RECURSOS NATURALES DEL SUBSUELO”.

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract.....	2
I. Introducción	3
II. Fundamentos de las Cuencas y Plataformas Sedimentarias.....	4
II.I. Cuencas sedimentarias	4
II.II. Clasificación de las Cuencas Sedimentarias	5
II.II.I. Cuencas de Límite Divergente-pasivo.....	7
II.II.II. Cuencas de Límite Divergente	8
II.II.III. Cuencas de Límite Convergente	10
II.II.IV. Cuencas de Límite Transformante.....	12
II.III. Plataformas Sedimentarias.....	13
II.III.I. Clasificación de las plataformas sedimentarias	13
III. Generalidades	16
III.I. Ubicación Subcuenca de Comalcalco.....	16
II.II. Estado del Arte	17
IV. Desarrollo del tema	18
A. Tipo de Cuenca	18
B. Descripción general de la Subcuenca.....	19
C. Sedimentología	20
D. Estratigrafía	23
E. Geología estructural	27
F. Contenido paleontológico	28
G. Evolución geológica y consideraciones tectónicas	29
G.1. Tectónica de la Subcuenca de Comalcalco.....	30
H. Modelo propuesto de la Subcuenca de Comalcalco.....	36
V. Consideraciones económicas.....	39
VI. Conclusiones y recomendaciones	41
VI.a. Cuestionario de autoevaluación.....	42
Bibliografía.....	45

Resumen

La evolución geológica del sureste mexicano considera de manera relevante el marco tectónico regional relacionado con el origen y evolución del paleo-Golfo de México y del paleo-Caribe que comienza con la separación de Pangea.

La Subcuenca de Comalcalco consiste en una depresión topográfica superpuesta sobre un segmento de la Cuenca Salina del Istmo durante el Mioceno superior-Plioceno inferior, resultado de subsidencia producida por carga de sedimentos que originaron fallas normales lístricas, además de la interacción de fallas laterales con transtensión, lo cual implicó deformación por extensión debido a que las fallas normales formaron un graben regional, donde se desarrolló la cuenca. Se delimita al sur por la Falla de Comalcalco y al norte por la falla de Bolontiku y la plataforma del Golfo de México.

Su orientación es NE-SW, con su porción continental en el estado de Tabasco y su porción Marina está en el Golfo de México, entre la Cuenca Salina del Istmo y el Pilar Reforma Akal. Cuenta con una extensión aproximada de 9,357.63 km² totales, alrededor de 4,059 km² en la parte continental y 5,315.93 km² en su parte continental.

Sus sistemas generadores reflejan las características paleogeográficas: en condiciones someras a plataforma interna se registran bajos contenidos de carbono orgánico (<0.5% COT) y hacia las áreas de plataforma externa a cuenca hasta 4.5% COT, siendo los valores más altos en la zona, dándole características de excelente riqueza orgánica a esta secuencia, con materia orgánica formada por kerógeno tipo II y kerógeno tipo III. Sobre basamento de rocas deformadas de edades Jurásicas y Cretácicas predominan lutitas oscuras ligeramente calcáreas del Paleoceno y lutitas calcáreas y mudstones margosos del Eoceno, con abundancia de fauna planctónica, siendo las Formaciones Filisola y Concepción Superior las principales productoras de la subcuenca.

Abstract

The geological evolution of southeastern Mexico takes into account the regional tectonic framework related to the origin and evolution of the paleo-Gulf of Mexico and the paleo-Caribbean, which begins with the separation of Pangea.

The Comalcalco Sub-basin consists of a topographic depression superimposed on a segment of the Isthmus Salt Basin during the Upper Miocene-Lower Pliocene, resulting from subsidence produced by sediment loads that originated listric normal faults, in addition to the interaction of lateral faults with transtension, which implied deformation by extension because the normal faults formed a regional graben, where the basin developed. It is delimited to the south by the Comalcalco Fault and to the north by the Bolontiku fault and the Gulf of Mexico platform.

Its orientation is NE-SW, with its continental portion in the state of Tabasco and its marine portion is in the Gulf of Mexico, between the Isthmus Salt Basin and the Reforma Akal Pillar. It has an approximate area of 9,357.63 km² in total, around 4,059 km² in the continental part and 5,315.93 km² in its continental part.

Its generating systems reflect the paleogeographic characteristics: in shallow conditions on the internal platform, low contents of organic carbon (<0.5% TOC) are recorded and towards the areas of the external platform to the basin up to 4.5% TOC, being the highest values in the area, giving characteristics of excellent organic richness to this sequence, with organic matter formed by type II kerogen and type III kerogen. On a basement of deformed rocks of Jurassic and Cretaceous ages, slightly calcareous dark lutites from the Paleocene and calcareous lutites and marly mudstones from the Eocene predominate, with an abundance of planktonic fauna, with the Filisola and Concepción Upper Formations being the main producers of the sub-basin.

I. Introducción

México tiene el 1.7% del consumo mundial de petróleo como energía primaria, el 2.3% del gas natural y el 0.3% del carbón (Centro Nacional de Control de Energía [CENACE], 2022), lo que hace relevante estudiar las cuencas sedimentarias donde se tienen dichos recursos. Los recursos naturales propios y su buena gestión son y serán claves en las próximas 4 décadas para alcanzar una seguridad nacional en áreas estratégicas en materia de energía, desarrollo económico y medio ambiente (Dorantes, 2008, citado por Sánchez 2011).

La subcuenca de Comalcalco es una depresión topográfica regional ubicada en el estado de Tabasco, México, forma parte de la Provincia Petrolera del Sureste. Es parte de la Cuenca Salina del Istmo y está rellena por gruesas acumulaciones de areniscas predominantemente arcillosas de frente deltaico, depositadas en el frente de plataforma y en una plataforma clástica durante el Mioceno tardío al Plioceno. El desarrollo de la depresión está asociada a un sistema de fallas normales con caída al NNW, fallas laterales transtensivas y fallas formadas por evacuación de sal jurásica. Se clasifica como una subprovincia debido a su estilo estructural variable, donde la subsidencia generó un graben que se rellenó de gruesas capas de sedimentos del Mioceno, siendo estos el factor predominante en la colmatación de la subcuenca y generando una mayor cantidad de pliegues y fallas jóvenes que predominan en el sistema de trampas de esta.

Su producción ha sido importante desde su descubrimiento a finales de los años cincuenta hasta el día de hoy, 2024; alcanzando una producción por campo de hasta 4,130 barriles de aceite por día en 1984 (Caballero Sandoval, 1984), en la actualidad cuenta con reservas de alrededor de 100 millones de barriles de petróleo y nuevos descubrimientos de pozos rentables para la producción de hidrocarburos del sureste mexicano (Onexpo Nacional, 2024). Tiene un gran potencial productor de aceite y gas, por descubrimientos de nuevos pozos productores, profundización de los campos ya perforados, extracción secundaria o mejorada de los mismos, en los próximos años la industria petrolera puede verse recuperada, aunque de acuerdo con las nuevas necesidades mundiales de energía limpia, pudiera encontrar el punto de transición necesario.

II. Fundamentos de las Cuencas y Plataformas Sedimentarias

II.I. Cuencas sedimentarias

Una cuenca sedimentaria se define como depresión topográfica en un sector de la parte superior de la corteza terrestre que es susceptible de ser rellenada por un espesor considerable de sedimentos dependiendo el tipo de cuenca y el espacio disponible, llegando incluso a los 40 km de ancho, durante un intervalo de tiempo geológico, donde ocurren distintos pulsos tectónicos que causan subsidencia o levantamiento cortical, con ascenso o descenso del nivel medio del mar. Los materiales que rellenan la depresión están dispuestos en distintas capas ya sea de sedimentos generados por erosión y transportados como sólidos o en solución hacia la depresión, además, también hay presencia de organismos o partes de estos, que por diferencia de densidad se depositan en esa misma depresión natural. Las cuencas sedimentarias son, en un sentido muy amplio, todas aquellas áreas en las que los sedimentos pueden acumularse hasta alcanzar su espesor ideal y conservarse durante largos períodos de tiempo geológico (Einsele, 1992).

Se clasifican de acuerdo con su topografía, morfología, geología y su contexto tectónico, con lo que se logra comprender el origen, evolución y configuración, además es relevante conocer el tipo de sedimentos y fósiles con los que está rellena, su estratigrafía y estructuras geológicas. En las cuencas es posible identificar la presencia de recursos naturales del subsuelo que pueden ser exploradas y explotadas con rendimiento económico.

De acuerdo con la Tectónica de Placas, existen siete factores predominantes que causan la generación de cuencas sedimentarias: el adelgazamiento de la corteza, el engrosamiento del manto litosférico, la carga sedimentaria y volcánica, la carga tectónica, la carga subcortical, el flujo astenosférico y la densificación de la corteza terrestre (Ingersoll y Busby, 1995).

Las cuencas sedimentarias varían en tamaño, duración de vida y potencial de conservación. Aquellas formadas en entornos tectónicos activos, especialmente en la corteza oceánica, tienen un potencial de conservación bajo, en cambio, las cuencas formadas en entornos intraplaca tienen el mayor potencial de conservación (Ingersoll y Busby, 1995). En la Figura 1 se resume de manera general el grado de preservación

post-sedimentación contra la vida útil de la acumulación sedimentaria en millones de año de cada tipo de cuenca sedimentaria (Ingersoll y Busby, 1995).

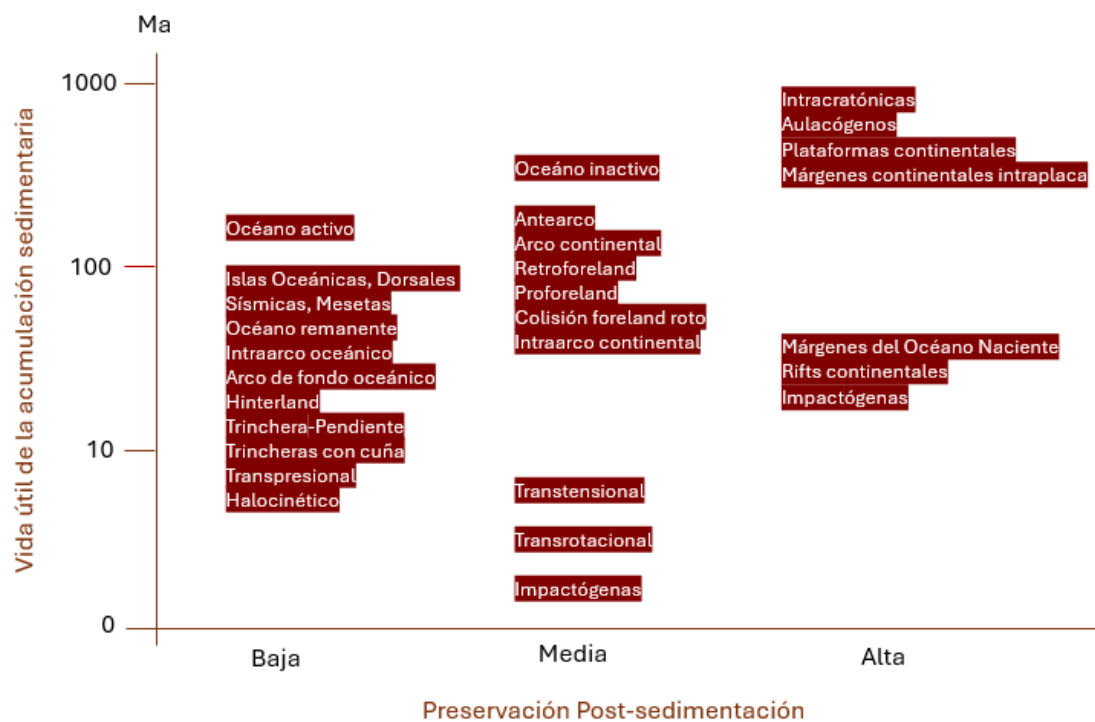


Figura 1. Vida útil típica de las cuencas sedimentarias en comparación con su potencial de preservación posterior a la sedimentación, que se refiere al intervalo de tiempo promedio durante el cual las cuencas no se elevarán ni erosionarán durante y después de la sedimentación. Modificado de Ingersoll y Busby (1995).

En general, las cuencas sedimentarias suelen tener diversas dimensiones, la mayoría de ellas tiene al menos 50 km de largo y de 30 a 40 km de ancho. Podemos distinguir los siguientes tres tipos generales: a) Las activas que aún acumulan sedimentos, b) Las inactivas, pero poco deformadas, que muestran más o menos su forma original y relleno sedimentario, y c) Las antiguas fuertemente deformadas e incompletas. Se forman de acuerdo con la tectónica en los siguientes regímenes: divergentes, extensionales o de rift, intraplaca, convergentes o compresionales y transformantes; en algunos casos se forman en regímenes tectónicos mixtos (Ingersoll y Busby, 1995).

II.II. Clasificación de las Cuencas Sedimentarias

Einsele (1992), apoyado del trabajo previo de Kingston et al. (1983) y Mitchell y Reading (1986) propone una clasificación con 7 categorías principales: dos de

régimen divergente, dos de régimen divergente pasivo, dos de régimen convergente y una de régimen transformante o mixto (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación tectónica de las cuencas sedimentarias.				
ESTILO TECTÓNICO	CATEGORÍA DE CUENCA	CUENCAS ESPECIALES TIPO O SINÓNIMOS	CORTEZA SUBYACENTE	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA
Divergente	1. Cuencas de hundimiento continentales o interiores	Cuencas epicontinentales, cuencas Intracratónicas	Continental	Grandes áreas, subsidencia lenta
Divergente	2. Cuencas de fractura continental o interior	Estructuras de graben, valles de rift y zonas de rift, Aulacógenos	Continental	Cuencas relativamente estrechas, limitadas por fallas, presentan hundimiento rápido durante el rifting temprano.
Divergente Pasivo	3. Cuencas en márgenes continentales pasivos, cuencas de hundimiento de margen	Cuencas tensionales de rift, cuencas generadas por tensión (tensión-sheared basins), cuencas de margen hundido	Transicional	Cuencas asimétricas con acumulación parcial de sedimentos, hundimiento moderado a bajo durante las etapas posteriores
Divergente Pasivo	4. Cuencas oceánicas	Cuenca oceánica naciente (cuenca oceánica de crecimiento)	Oceánica	Áreas grandes, asimétricas y con hundimiento lento
Convergente	5. Cuencas relacionadas con la subducción	Trincheras de aguas profundas	Oceánica	Cuencas parcialmente asimétricas con profundidades y hundimientos variables
		Cuencas de antearco, Cuencas de trasarco, Cuencas interarco	Transicional y oceánica	
Convergente	6. Cuencas relacionadas con colisión	Cuencas remanentes	Oceánica	Hundimiento activado debido a la rápida carga sedimentaria

Corteza flexionada, convergencia local o movimientos transformantes		Cuencas foreland, cuencas de retroarco, intraarco, cuencas foreland rotas	Continental	Cuencas asimétricas con tendencia al aumento del hundimiento. Presentan levantamiento y hundimiento
		Cuencas terreno-relacionadas	Oceánica	Similares a las cuencas de trasarco
Movimientos transformantes con movimientos divergentes o convergentes en menor medida	7. Cuencas deslizantes	Cuencas pull-apart (transtensionales y transpresionales)	Continental y/o oceánica	Relativamente pequeñas y alargadas, presentan hundimiento rápido.

Tabla 1. Clasificación de cuencas sedimentarias de acuerdo con sus características tectónicas. Modificada y traducida de Kingston et al. (1983) y Mitchell y Reading (1986), citado por Einsele (1992).

II.II.I. Cuencas de Límite Divergente-Pasivo

Cuencas de márgenes continentales pasivos

La etapa inicial de una cuenca oceánica (o un sistema de rift proto-oceánico) se establece cuando un continente se divide en dos partes. Con la separación (divergencia) se forma una nueva corteza oceánica en el espacio intermedio. En la depresión ocurre inicialmente sedimentación de ambiente continental y en la mayoría de los casos ocurre una transgresión y subsidencia continua, posteriormente ocurre una transgresión y se acumulan sedimentos de ambientes transicionales y marinos. En el depocentro se suelen acumular entre 2 y 3 km de sedimentos por debajo del nivel medio del mar. Cuando una cuenca de este tipo se ensancha debido a los continuos movimientos divergentes de las placas tectónicas y a la acreción de la corteza oceánica (etapa de deriva), su relleno de sedimentos se reduce cada vez más con respecto a la expansión del océano. En consecuencia, los sedimentos se depositan predominantemente en los dos márgenes continentales de la cuenca oceánica en crecimiento. Las cuencas marginales que se desarrollan en la parte superior de la corteza continental, que es adelgazada, no suele estar bordeada por relieve alto y representan áreas de deposición asimétricas. Entre más cercana se encuentre al mar, la corteza subyacente se adelgaza; por lo tanto, el hundimiento tiende a ser mayor y más rápido en esa dirección, contiene sedimentos comúnmente

acumulados en forma de prisma y una sucesión de depósitos fluviales, y lacustres (Einsele, 1992).

Cuencas oceánicas

Las cuencas oceánicas o cuencas oceánicas nacientes ocupan el área comprendida entre una dorsal oceánica, incluida su elevación, y el borde exterior de la corteza transicional a lo largo de un margen continental pasivo. Comúnmente se acumulan sedimentos de abanicos de aguas profundas o de llanuras de cuencas. La subsidencia en este tipo de cuencas suele ser baja debido al enfriamiento avanzado de la corteza oceánica envejecida, como se muestra en la Figura 2, aunque este estado podría cambiar si influye una gruesa capa de carga sedimentaria cerca del margen continental que active de nuevo dicha subsidencia (Einsele, 1992).

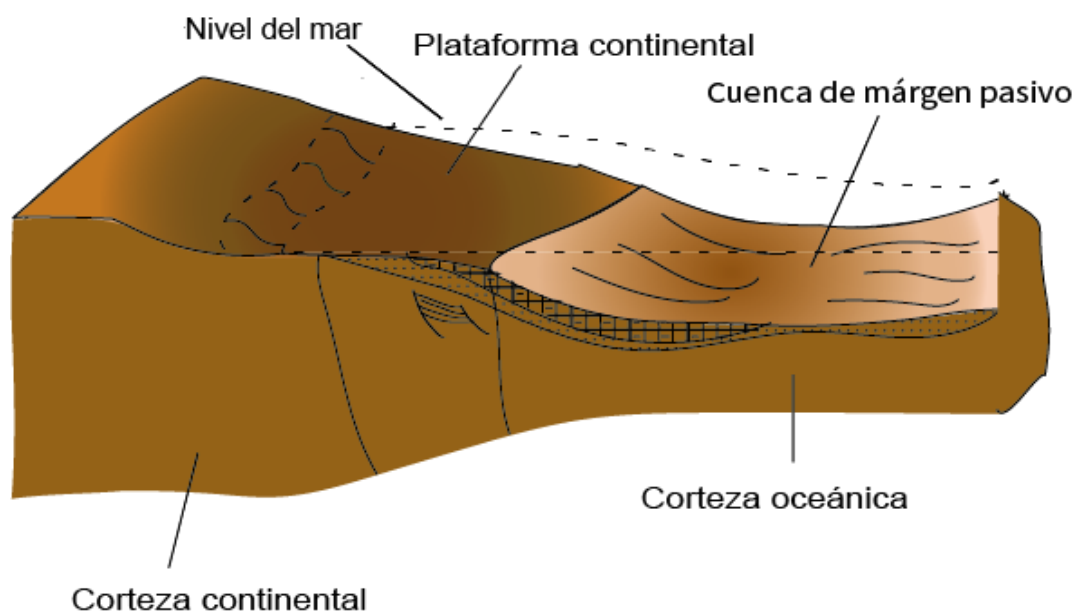


Figura 2. Cuencas de márgenes continentales pasivos. Modificada de Einsele (1992).

II.II.II. Cuencas de Límite Divergente

Cuencas de Hundimiento continentales o interiores (intraplaca)

Las cuencas de la corteza continental se generan por movimientos divergentes de las placas tectónicas, así como por los eventos térmicos favorecido por el desarrollo de estructuras extensionales (grabens). En el caso de grandes cuencas de hundimiento

interior, este ocurre predominantemente en respuesta a un adelgazamiento moderado de la corteza o a una densidad ligeramente mayor de la corteza subyacente en comparación con las áreas vecinas. En general, las tasas de subsidencia son bajas en este entorno geodinámico (Einsele, 1992).

El ejemplo más representativo, son las cuencas del Mar del Norte, relacionadas a mega rifts, desarrolladas en el Pérmico-Triásico, que persistieron durante el Mesozoico y Cenozoico. La evolución de estas cuencas se inicia por ruptura y se deforman mediante fallas en bloques (Ziegler, 1988, citado por Einsele, 1992), en estos casos el rifting no condujo a la formación de nueva corteza oceánica (rifts fallidos). Sin embargo, durante y después del rifting, estas cuencas experimentaron un hundimiento térmico duradero similar a los márgenes continentales pasivos (Einsele, 1992).

Cuencas de fractura continental o interior

Las estructuras de graben continentales y las zonas de rift forman cuencas estrechas y alargadas delimitadas por grandes fallas. Sus secciones transversales pueden ser simétricas o asimétricas (por ejemplo, semigrabens). El adelgazamiento sustancial de la corteza a menudo va acompañado de la corriente ascendente del magma basáltico, formando así una corteza de transición, lo que provoca un rápido hundimiento en la zona de ruptura. La contracción térmica posterior debido al enfriamiento y la alta carga sedimentaria permiten la continuación de la subsidencia y, la deposición de rellenos sedimentarios gruesos (Figura 3). Al igual que los aulacógenos, generados cuando un movimiento divergente entre placas tectónicas llega a su fin antes de la creación de nueva corteza oceánica, donde los pisos de cuenca consisten en corteza oceánica o de transición con periodos de relleno relativamente largos (Einsele, 1992).

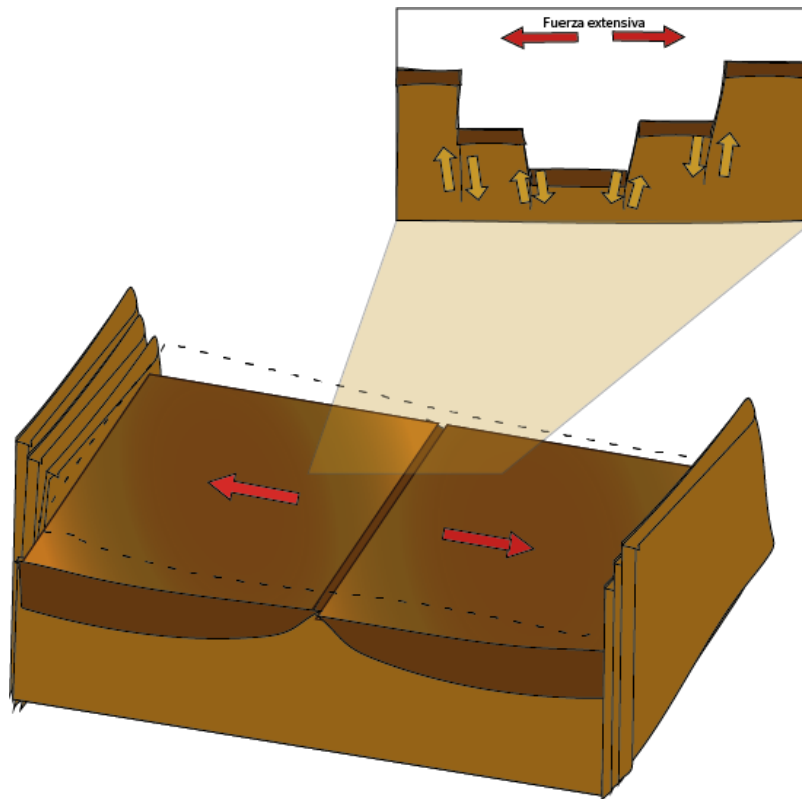


Figura 3. Cuencas intraplaca. Modificado de Díaz Flores (2014).

II.II.III. Cuencas de Límite Convergente

Cuencas relacionadas con la subducción

Las cuencas relacionadas con el desarrollo de complejos de subducción a lo largo de arcos insulares o márgenes continentales activos incluyen fosas de aguas profundas, cuencas de antearco, cuencas de retroarco (foreland), cuencas de taludes más pequeños y cuencas intraarco. Los fondos de las fosas de aguas profundas están compuestos por corteza oceánica descendente. Por lo tanto, algunas de ellas representan las cuencas alargadas más profundas presentes de la Tierra; en su mayor parte se encuentran llenadas y morfológicamente se asemejan a una elevación continental (Einsele, 1992).

Por lo general, las fosas de aguas profundas tienden a mantener su profundidad, que está controlada principalmente por el mecanismo de subducción, así como por el volumen y la geometría de la cuña de sedimentos de acreción en su lado terrestre.

Las cuencas de antearco se producen entre la ruptura del talud de la trinchera de la cuña de acreción y el frente magmático del arco. Su sustrato consiste en corteza

oceánica transicional o atrapada más antigua que el arco magmático y el complejo de subducción acrecional. Las tasas de hundimiento y sedimentación con frecuencia pueden ser altas.

Las cuencas de retroarco o interarco se forman por separación de bloques cuando el océano se extiende hacia el continente o arco de islas; o en su defecto entre dos arcos de islas que se originan a partir de la división de un sistema de arco más antiguo. Su relleno sedimentario refleja con frecuencia la actividad magmática en la región del arco (Einsele, 1992).

Las cuencas foreland (antepaís) se definen como cuencas sedimentarias que se forman entre el frente de una cadena montañosa y un cratón adyacente (Allen et al. 1986, citado por Einsele, 1992). Estas cuencas son elongadas o curvas, y son altamente asimétricas, estrechamente asociadas a zonas de colisión continental (Loza, 2014).

En 1992, Einsele menciona a Dickinson (1974) quien introdujo formalmente el término de “cuenca foreland”, proponiendo dos clases genéticas, ilustradas en la Figura 4:

1. Cuencas Pro-foreland: situadas en el arco externo del orógeno durante la colisión continente-continente (Bally y Snelson, 1980, citado por Einsele, 1992).
2. Cuencas Retro-foreland: situadas detrás del arco magmático y vinculadas con la subducción de la litósfera oceánica.

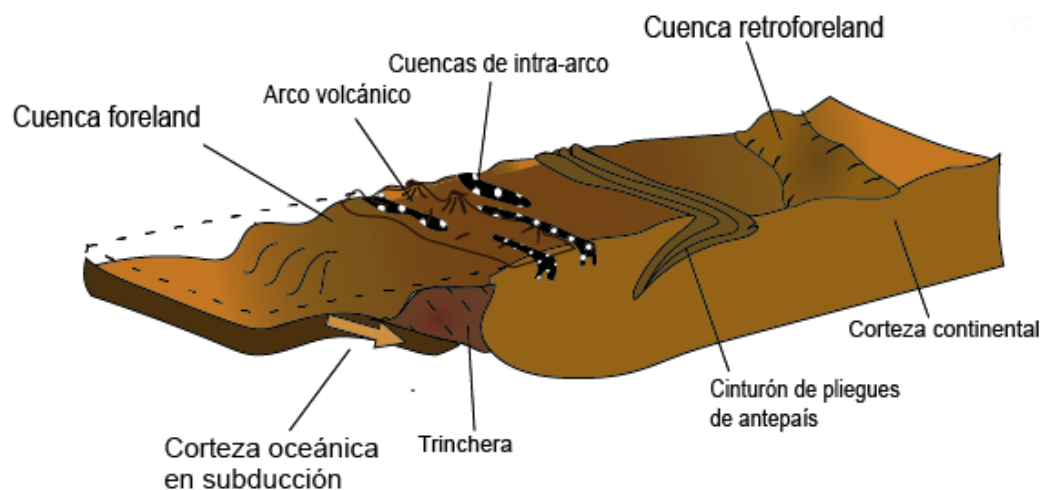


Figura 4. Cuencas relacionadas con subducción. Modificada de Einsele (1992).

Cuencas relacionadas con colisión

La colisión parcial de continentes con formas irregulares y límites que no encajan entre sí conduce a zonas de empuje cortical, conservando áreas donde aún persisten una o más cuencas oceánicas de tamaño reducido. Estas cuencas remanentes tienden a recoger grandes volúmenes de sedimentos de las zonas de elevación cercanas y a sufrir una deformación sinsedimentaria sustancial (convergencia, también a menudo acompañada de fallas normales) (Einsele, 1992).

Las cuencas de antepaís y las cuencas periféricas frente a un cinturón de cabalgamiento plegado se forman por subsidencia y flexión de la corteza continental bajo la carga del cinturón montañoso de empuje. La extensión de estas cuencas asimétricas tiende a aumentar con el tiempo, la gran afluencia de sedimentos clásticos de la cordillera ascendente a menudo sigue el ritmo de la subsidencia. Las cuencas retroarco se producen en el interior de un orógeno de arco (zona de "subducción"). Pueden afectar áreas relativamente grandes de la corteza continental. El hundimiento limitado parece ser causado principalmente por la carga tectónica en un cinturón de plegado-empuje de retroarco (Einsele, 1992).

Durante la colisión de la corteza, algunas cuencas de antepaís (y retroarco) pueden dividirse en bloques más pequeños separados, por lo que los movimientos de deslizamiento también pueden desempeñar un papel importante. Algunos de los bloques se ven afectados por levantamiento y otros por hundimiento, formando una depresión de cuenca (Einsele, 1992).

II.II.IV. Cuencas de Límite Transformante

Cuencas pull-apart

Los movimientos de fallas transformantes pueden estar asociados con una componente tensional (transtensional) o con un componente compresivo (transpresional). Los sistemas de fallas transtensionales causan localmente el adelgazamiento de la corteza y, por lo tanto, crean cuencas estrechas y alargadas durante su expansión la tasa de hundimiento suele ser alta, como se muestra en la Figura 5 (Einsele, 1992).

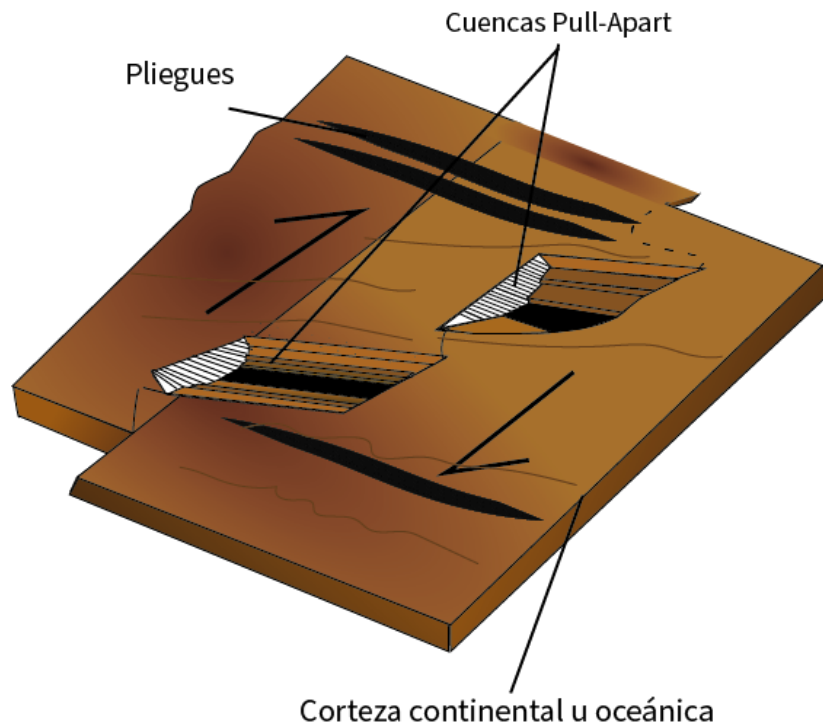


Figura 5. Cuencas de Límites Transformantes. Modificado de Einsele (1992).

II.III. Plataformas Sedimentarias

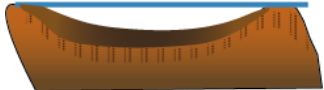
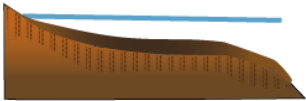
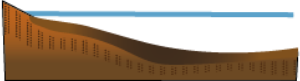
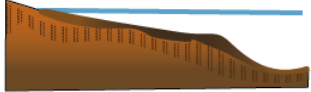
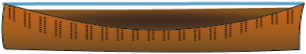
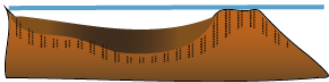
Las plataformas acumulan sedimentos con espesores uniformes en escalas continentales, son afectadas por la dinámica del manto y los eventos regionales de deformación, sus secuencias estratigráficas son de transición hacia los márgenes continentales o cuencas Intracratónicas, cuencas foreland, u otros entornos tectónicos a los que se encuentren asociadas en el continente (Ingersoll y Busby, 1995) en general, aíslan de forma eficaz señales de paleolatitud y paleoclima (Berry y Wilkinson, 1994, citado por Ingersoll y Busby 1995).

Las plataformas experimentaron exposición y erosión durante la época de los supercontinentes, aproximadamente 100 millones de años después de la desintegración supercontinental experimentaron inundaciones máximas que llevan a una mayor tasa de sedimentación (Heller y Angevine, 1985; Cogne et al. 2006, citado por Ingersoll y Busby 1995).

II.III.I. Clasificación de las plataformas sedimentarias

Dentro del ambiente sedimentario marino somero se encuentran las plataformas carbonatadas y las siliciclásticas dependiendo del tipo de aporte sedimentario.

Las plataformas carbonatadas se forman en ambientes marinos someros carbonatados donde la temperatura, salinidad y las condiciones de luz son favorables para la producción de carbonatos, de acuerdo con las condiciones y morfología que presenta la plataforma, se clasifican en distintos tipos: bordeadas, no bordeadas, homoclinales, distantemente escarpadas, epeíricas, aisladas, atolones y ahogadas, como se muestra en la Tabla 2 (Barragán Manzo, s.f).

Tabla 2. Clasificación de las plataformas Carbonatadas			
Tipo de plataforma	Morfología	Características	Ambiente común de ocurrencia
Bordeadas 	Planas, someras y restringidas	Cuentan con un borde que detiene la acción del oleaje	Aguas cálidas.
No bordeadas 	Planas, someras y abiertas	Sin un borde marginal pronunciado	Aguas cálidas
Rampas homoclinales 	Someras y abiertas, con pendientes deposicionales uniformes y ligeras	Tienen una transición de facies someras de alta energía a facies lodosas profundas sin un rompimiento en el escarpamiento	Aguas cálidas y frías
Rampas Distantemente escarpadas 		Presentan un incremento pronunciado en el escarpamiento en su parte externa	
Epeiricas 	Áreas cratónicas planas muy extendidas cubiertas por mares muy someros	El margen oceánico puede ser ligeramente escarpado y bordeado	Comunes en aguas cálidas de los mares epeiricos del Paleozoico y Mesozoico
Aisladas 	Someras aisladas	Desprendidas del margen continental	Rodeadas de aguas profundas y bordeadas.

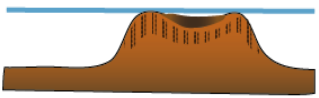
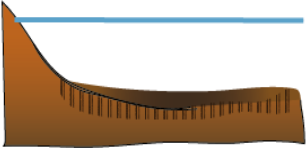
<p>Atolones</p> 		<p>Formadas sobre volcanes extintos o subsidentes</p>	<p>Rodeadas de aguas profundas y bordeadas. Comunes en el oeste y centro del Pacífico.</p>
<p>Plataformas ahogadas</p> 	<p>Plataformas sumergidas que representan ancestros de plataformas someras</p>	<p>Generadas por tres posibles procesos: 1. Aumento rápido en el nivel del mar. 2. Subsistencia extrema 3. Reducción drástica en la producción carbonatada por estrés ambiental.</p>	<p>Comunes en el oeste y centro del Pacífico.</p>

Tabla 2. Tipos de plataformas sedimentarias carbonatadas. Modificado de Barragán Manzo, s.f, diapositiva 7-8

III. Generalidades

III.I. Ubicación Subcuenca de Comalcalco

Es una subcuenca ubicada en el estado de Tabasco, en el suroeste del Golfo de México, forma parte de las 4 provincias geológicas petroleras del sureste, desarrollada en gran parte sobre la Cuenca Salina del Istmo. Se limita al noroeste con la Cuenca Salina del Istmo y al sureste con la Falla de Comalcalco que la separa del Pilar Reforma-Akal (Comisión Nacional de Hidrocarburos [CNH], 2015), cuenta con una porción marina y una porción continental (Figura 6) con una extensión aproximada de 9,357.63 km² totales, alrededor de 4,059 km² en la parte continental y 5,315.93 km² en su parte continental. Su estilo estructural y límites estratigráficos, la fuerte carga de sedimentos, evacuación de arcillas la convierten en una subprovincia independiente de la Cuenca Salina del Istmo.

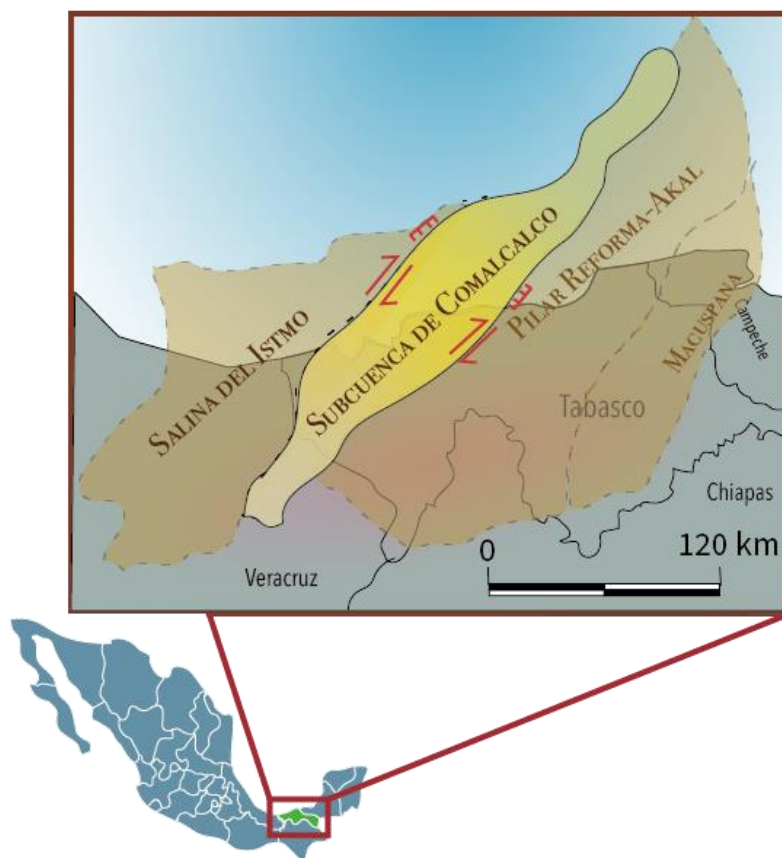


Figura 6. Ubicación de la Subcuenca de Comalcalco. Modificado de Atlas Geológico Cuencas del Sureste. Modificado de Comisión Nacional de Hidrocarburos (Comisión Nacional de Hidrocarburos [CNH], 2015).

II.II. Estado del Arte

Existen numerosos trabajos publicados sobre la Subcuenca de Comalcalco, tanto de Petróleos Mexicanos (PEMEX), de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), la American Association of Petroleum Geologist (AAPG), la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros (AMGP); además de tesis de licenciatura y maestría de diferentes Universidades nacionales e internacionales.

Comalcalco es una subcuenca incluida en la Cuenca Salina del Istmo, en la que se ha realizado investigación geológica para exploración-explotación de hidrocarburos convencionales. El descubrimiento de sus campos productores se documenta a partir de 1955 mediante sísmica de reflexión, con la perforación del pozo Tupilco No.2 (Zenteno, 1984), posteriormente en 1963 con el pozo El Golpe No.1 (Osorio, 1984), añadiendo nuevos campos productores de aceite conforme pasaron los años, hasta contar con 40 campos productores en 2024, distribuidos en la parte continental y marina de la subcuenca (Comisión Nacional de Hidrocarburos [CNH], s.f).

En el trabajo de Contreras y Castellón (1960), publicado en la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros; la Cuenca Salina del Istmo/Comalcalco, son cuencas con trabajos fundamentalmente de exploración y explotación petrolera.

Guzmán et al. (2000), en la Segunda Conferencia conmemorativa de Wallace E. Pratt "Provincias petroleras del siglo XXI" en San Diego, California, describe a la Cuenca de Comalcalco como una provincia que a su vez incluye a la provincia mesozoica de Chiapas-Tabasco, sin embargo, la mayoría de las publicaciones consideran que se formó y desarrollo sobre la Cuenca Salina del Istmo.

De acuerdo con la American Association of Petroleum Geologist (AAPG, 2004), la Cuenca de Comalcalco forma parte de la Cuenca Salina del Istmo. Dentro de una de las tres áreas principales de interés petrolero denominada "las cuencas salinas de extracción de Pescadores y Comalcalco". Siendo las otras dos áreas vecinas, los cinturones plegados de Catemaco, Agua Dulce y Marbella y la zona de "Sal Somera".

Padilla y Sánchez (2007) en su publicación del Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, refiere a la Cuenca de Comalcalco-Salina del Istmo como una sola, mostrando mapas, columnas y formaciones geológicas y sedimentarias actualizadas que se encuentran dentro de esta.

En 2015, la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) publica el Atlas Geológico Cuencas del Sureste-Cinturón Plegado de la Sierra de Chiapas, donde, aunque geográficamente separa la Cuenca de Comalcalco con la Cuenca Salina del Istmo, teóricamente trata a Comalcalco como una subcuenca, que se sobrepone a la segunda cuenca enunciada.

IV. Desarrollo del tema

A. Tipo de Cuenca

La Cuenca de Comalcalco consiste en una depresión topográfica formada durante el Mioceno Superior-Plioceno inferior, por el efecto combinado de la carga de sedimentos terrígenos con fallas de crecimiento (cuenca de margen pasivo), fallas laterales transtensivas y por los movimientos de grandes masas de sal (minicuenas). Esta depresión se encuentra rellena por gruesas acumulaciones de lutitas y areniscas de frente deltaico y de una plataforma terrígena que tuvo su mayor desarrollo del Mioceno Superior al Plioceno. Se encuentra relacionada a un sistema de fallas de crecimiento normales con caída al NNW, que se reactivaron como fallas laterales y con un sistema de evacuación de sal. Las fallas laterales se asocian con el sistema transformante Motagua-Polochic, que se extiende hacia el norte como fallas transcurrentes. Las fallas de crecimiento (fallas normales lítricas), que se formaron durante el Mioceno Superior y Plioceno, favorecieron la formación de trampas petroleras y al reactivarse y tener componente lateral formaron las rutas de migración (PEMEX, 2009, p. 109, citado por Netzahualcoyotl, 2011).

De acuerdo con la evolución geológica-tectónica del área, es una subprovincia que se sobrepone a la Cuenca Salina del Istmo (una cuenca de rift durante el Jurásico y como un margen pasivo durante el Cretácico). La Subcuenca de Comalcalco presenta rasgos estructurales y estratigráficos propios que permiten separarla de las cuencas adyacentes como una cuenca independiente, pero relacionada con el entorno. Las fallas normales fueron resultado de subsidencia por grandes cargas de sedimentos durante la evolución de las cuencas del sureste mexicano; lo cual implicó movimientos de deformación por extensión, compresión, que después se reactivaron a laterales con su correspondiente cizalla. El rasgo estructural más representativo es un graben de grandes dimensiones que se formó en el Neógeno debido a subsidencia continua

y a una gran carga de sedimentos terrígenos, que al reactivarse a fallas laterales transtensivas permitieron un mayor espacio de acomodo de sedimentos. Está delimitada al sur por la Falla de Comalcalco con rumbo NE-SW que cae hacia el NW (Osorio, 1984) y por la plataforma del Golfo de México al norte, y cuenta principalmente con campos productores de aceite y gas (Figura 7).



Figura 7. Mapa de la Subcuenca de Comalcalco. Modificado de Clara y Guerrero (2005).

B. Descripción general de la Subcuenca

Es una depresión topográfica rellena por gruesas acumulaciones de areniscas predominantemente arcillosas de frente deltaico, depositadas en el frente de plataforma y en una plataforma clástica durante el Mioceno tardío al Plioceno. El desarrollo de la depresión está asociada a un sistema de fallas normales con caída al NNW, fallas laterales transtensivas y fallas normales formadas por evacuación de sal Jurásica. La falla de Comalcalco y Bolontiku son fallas laterales derechas con transtensión (fallas normales de segundo orden) está orientada de NE-SW, con caída al noroeste, su movimiento provocó la formación de fallas secundarias sub-paralelas

a ella con caída al SE; estas fallas limitan los bloques en los que se encuentran los campos petroleros de la cuenca (Chávez et al. 2005; Netzahualcoyotl, 2011).

C. Sedimentología

El marco paleogeográfico y paleoambiental del Paleógeno-Neógeno en el área Reforma-Comalcalco, se manifiesta como una etapa de subsidencia que provocó la profundización de la cuenca con condiciones heredadas desde el Cretácico superior en que hubo predominio una cuenca de margen pasivo subsidente, la que fue más acelerada del Paleoceno al Mioceno medio.

Durante el Paleógeno se depositaron sedimentos de ambientes batiales, característicos de facies de talud y cuenca. En el Paleoceno predominó la sedimentación arcillosa por lo que se conforma de lutitas oscuras ligeramente calcáreas. En el Eoceno se depositaron sedimentos calcáreo-arcillosos, que formaron lutitas calcáreas, calizas arcillosas y margas, con abundancia de fauna planctónica y ricas en materia orgánica.

Durante el Oligoceno predominó el depósito de arcillas y posteriormente arcillas y arenas que formaron lutitas que evolucionaron a lutitas arenosas. Las secuencias del Neógeno fueron depositadas en ambientes de plataforma externa a interna y transicionales, evolucionando en el Pleistoceno a ambientes fluvio-deltaicos. Para el Mioceno medio las litologías predominantes son lutitas con intercalaciones de areniscas, mientras que para el Mioceno superior y Plioceno se incrementa gradualmente el depósito de arenas, que formaron potentes horizontes de areniscas, en tanto que para el Pleistoceno los sedimentos clásticos tamaño arena y arcilla de tipo aluvión son los dominantes (Chávez et al. 2005).

Con respecto a los paleoambientes específicos en una porción del área continental del área Reforma-Comalcalco, delimitando la parte de la subcuenca de Comalcalco en la Figura 8, hace 33.8 Ma los sedimentos terrígenos compuestos por lutitas ricas en materia orgánica se depositaron en ambientes batiales inferior a medio (talud), además de la generación de posibles brechas derivadas de plataformas preexistentes (Figura 8A), tiempo después estas lutitas calcáreas se depositaron en un ambiente de talud interior-medio y comenzaría a deformarse y presentar fallas normales con disposición NE-SW (Figura 8B y 8C), posteriormente cambiaría a ambiente

predominantemente batial debido a un avance de la plataforma por una fuerte caída en el nivel del mar (Figura 8D) que unos millones de años después presentaría más variaciones presentando depósitos de ambientes batiales y neríticos con depósito de sedimentos limosos y arcillosos que conservan su alto contenido de materia orgánica, aportados desde el SE hacia el NW (Figura 8E), más adelante, en el Plioceno - Pleistoceno, dominan aún más los depósitos neríticos y se presenta un ambiente transicional con dispersión de sedimentos en la misma dirección en secuencias limo arcillosas (Figura 8F). Para el Pleistoceno, la regresión marina es más rápida, por lo que el ambiente de depósito es de plataforma y transicional con sedimentos tipo arenas fluviales y deltaicas con lutitas intercaladas en zonas de plataforma interna y limos en planicies de inundación. Durante el relleno de la cuenca, las fallas normales jugaron un papel muy importante, ya que propiciaron subsidencia continua y configuraron el espacio de acomodo de los sedimentos y sus cambios de facies como se muestra en la Figura 8G (Chávez et al. 2005).

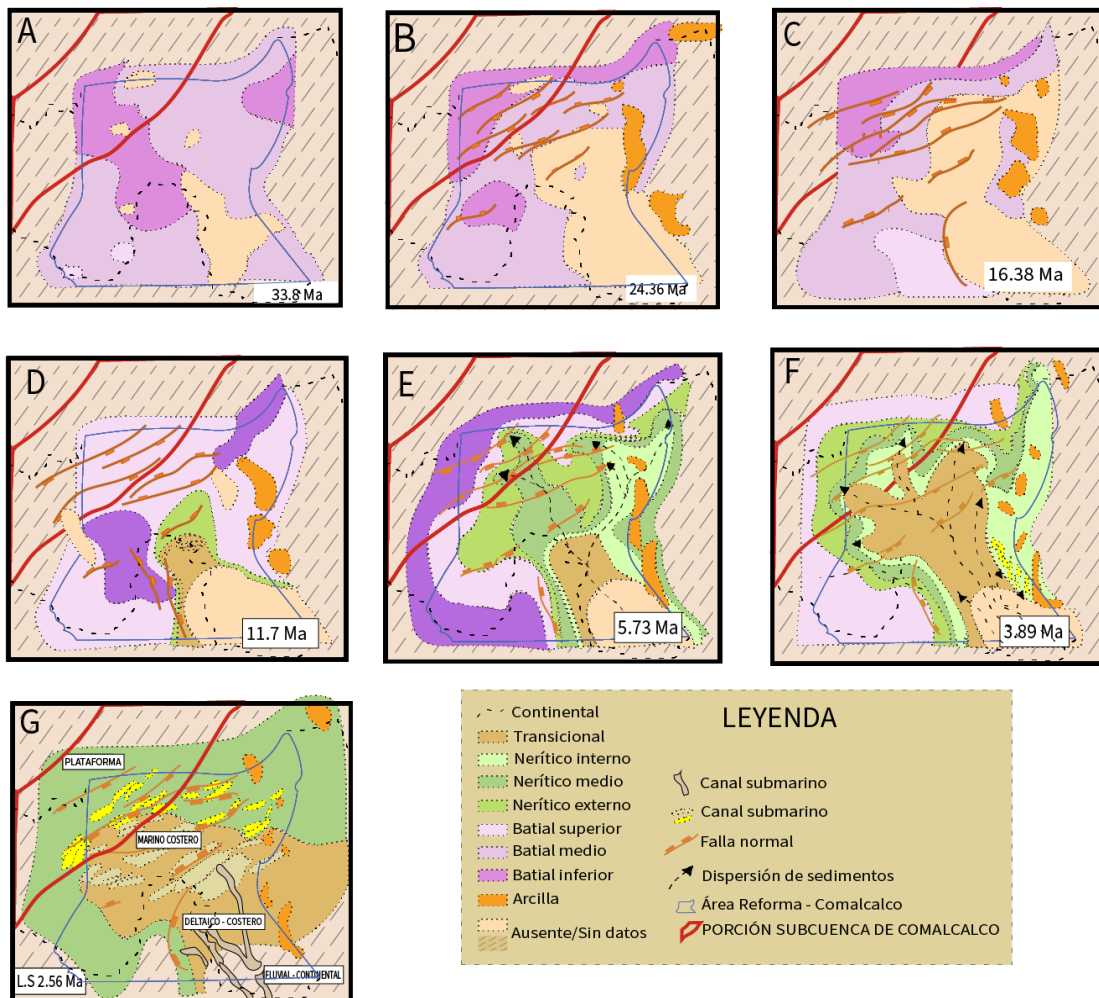


Figura 8. Evolución paleogeográfica y paleoambiental del Paleógeno-Neógeno en el área Reforma-Comalcalco. Modificado de Chávez et al. (2005).

Según Chávez et al. (2005) las características sedimentológicas vistas como uno de los controles principales de las rocas almacenadoras del área se asocian a tres grandes sistemas deposicionales:

1. Turbiditas del Neógeno. Se pueden separar en dos diferentes sistemas: grandes abanicos submarinos y de turbiditas en minicuenclas.
2. Deltas del Mioceno superior-Plioceno tardío. Son deltas que en algunos casos llegan hasta el borde de plataforma, incluyendo sistemas relacionados con procesos fluviales y marinos someros hacia el occidente.
3. Brechas de carbonatos del Eoceno, producto de flujos calcáreos desde el borde de la plataforma, depositados en aguas profundas.

En cuanto al comportamiento en la zona marina de la subcuenca de Comalcalco, desde el Mioceno tardío comienza a colmatarse el relleno de esta, dominan los depósitos arenosos tipo abanicos de pie de talud, sobre depósitos de lutitas de ambiente de cuenca profunda, que en el Plioceno se convierten en areno-arcillosos, coexistiendo con depósitos de limolitas hacia la parte más somera, lutitas con arena y lutitas en la parte más profunda, como se muestra en la Figura 9.

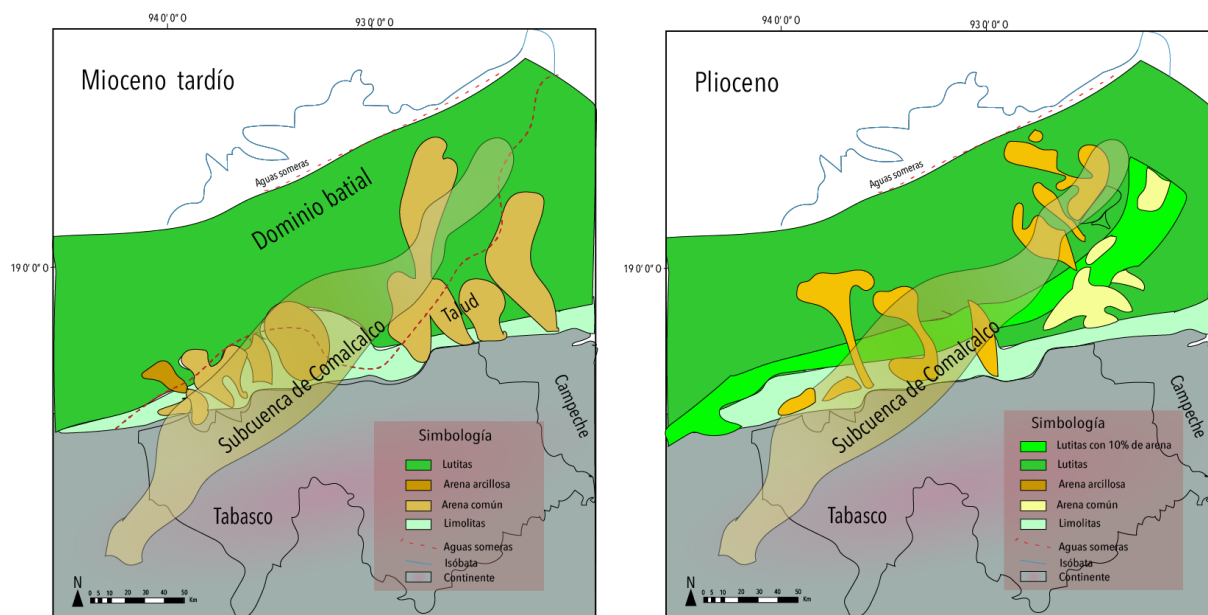


Figura 9. Evolución paleogeográfica y paleoambiental del Mioceno tardío al Plioceno en el dominio marino de la subcuenca de Comalcalco. Modificado de Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH, 2014).

D. Estratigrafía

En la zona continental no hay afloramientos de rocas continuos, sin embargo, tanto en la parte marina como continental, las unidades estratigráficas que se han estudiado principalmente con sismoestratigrafía, se correlacionan con las formaciones Paraje Solo, Filisola, Unidad equivalente a Filisola, Concepción Superior, Concepción inferior, Encanto y Depósito, también que se han identificado en las perforaciones de pozos petroleros; las unidades citadas afloran en la porción sur de la Cuenca de Veracruz y en la Cuenca Salina del Istmo. Solo aflora una unidad de depósitos recientes, en un segmento en las proximidades de Comalcalco, Tabasco. Las

Unidades estratigráficas descritas en la columna estratigráfica (Figura 10) tienen las siguientes características generales (de la más antigua a la más joven):

ERA	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	CONTENIDO FOSILÍFERO	BATIMETRÍA	INFORMACIÓN RELEVANTE
					~50 m
	Reciente			Transicional	Profundidad variable Depósitos de aguas salobres
Mioceno Superior	Paraje Solo			Nerítico interno - medio	~600 m Almacenadora de hidrocarburos
Mioceno Medio	Filisola				
Mioceno Inferior	Equivalente a Filisola		Amphistegina lessoni Amphistegina robulum Quinquelocelina lamarkiana	Nerítico externo	~1,900 m
	Concepción Superior		Cristaleria rotulista Cristaleria wughani Bolivina plácatela Quinquelocelina lamarkiana	Nerítico externo	Profundidad variable Almacenadora de hidrocarburos
	Concepción Inferior		Margulinina margulinoides Margulinina subhirsuta van globrata Margulinina subhirsuta van tuberculata	Nerítico externo	60 a 1,500 m de profundidad
	Encanto		Hopkinsina norohispida Ubigenna la vi culata Cibicides montañeses Nonian affine	Batial medio	~2,000 m de profundidad
	Depósito		Gyroidina brockiana Siphonina tenuicarinata Cibicides Formosa Cibicides akneriana		Sin dato de profundidad

Figura 10. Formaciones Geológicas presentes en la subcuenca de Comalcalco según Caballero (1984) y Zenteno (1984).

Formación Depósito. Está situada en la base del Mioceno y se compone de potentes cuerpos de lutitas color gris verdoso, contiene microfauna compuesta por foraminíferos bentónicos (Caballero, 1984) de las especies: *Gyroidina brockiana*, *Siphonina tenuicarinata*, *Cibicides formosa*, *Cibicides akneriana*.

Se sobrepone de forma discordante sobre la secuencia terrígena del Oligoceno medio.

Formación Encanto. Constituida por lutita gris verdoso a gris oscura, ligeramente calcárea, con horizontes de arenisca gris claro de tamaño fino a muy fino (Zenteno, 1984), del Mioceno inferior - Plioceno. En el campo Sinan se ha reportado que la secuencia sedimentaria correspondiente a esta unidad es de aproximadamente 2000 m, conformada de lutitas calcáreas de color gris claro y alternantes cuerpos de limonitas de igual color semicompactas y frágiles al tacto y con muy escasa presencia de areniscas (Velazquez et al. 2005).

La fauna que presenta se compone de foraminíferos bentónicos de las especies: *Hopkinsina norohispida*, *Ubigenna laviculata*, *Cibicides montañensis*, *Nonian affine*.

La unidad es de depósito batial, donde los cuerpos arenosos de su base fueron transportados por corrientes de turbidez (Caballero, 1984).

Formación Concepción Inferior. Conformada por lutitas ligeramente arenosas de colores gris, gris verdoso y gris oscuro con esporádicas capas de arenisca de grano fino de color gris claro del Mioceno inferior. En el campo Tupilco tiene un espesor de 60 a 1,500 m, contiene foraminíferos bentónicos (Caballero Sandoval, 1984) de las especies: *Marginulina marginulinoides*, *Marginulina subhrisula van globrata*, *Marginulina subhrisula van tuberculata*.

Formación Concepción Superior (Mioceno inferior). Está constituida por cuerpos arenosos de gran espesor con intercalaciones de lutitas, la arenisca es de color gris verdoso, destacando la existencia de lechos delgados de restos de moluscos más predominantes hacia la cima; su edad es Mioceno inferior. Las areniscas son las rocas almacenadoras de hidrocarburos de mayor importancia de la cuenca (Osorio, 1984), como ocurre en los campos Castarrical, Tupilco, El Golpe y Santuario.

Presenta cambio de facies, ya que en los campos El Golpe y Tupilco se compone de areniscas y lutitas color gris claro y verdoso en la parte superior, mientras que en la parte inferior predominan lutitas ligeramente arenosas color gris verdoso; en el Campo Castarrical contiene areniscas en la parte superior y arcillas en la parte inferior, por lo que presenta facies que documentan la retirada del mar hacia el norte (Caballero, 1984).

Su fauna se compone de foraminíferos bentónicos de las especies: *Cristaleria rotulata*, *Cristaleria vaughani*, *Bolivina plicatella*, *Quinque locelina lamarkiana*.

Unidad equivalente a Filisola. Es una denominación local separada de Formación Concepción Superior por diferencias bioestratigráficas, del Mioceno inferior-medio. Se formó en ambiente nerítico interno-medio, que lateralmente cambió a aguas muy profundas, correspondientes a ambiente nerítico externo. Tiene un espesor de 1900 m y se compone de lutitas arenosas color gris verdoso con intercalaciones de arenas arcillosas de grano fino a medio en la parte inferior; en la parte superior predomina lutitas (Caballero, 1984).

En su base se observan foraminíferos bentónicos de las especies: *Amphistegina lessoni*, *Amphistegina robulum*, *Quinquelocelina lamarkiana*.

Formación Filisola. Está formada por potentes estratos de arenisca color gris claro de grano fino a grueso con algunas intercalaciones delgadas de lutita gris verdoso, así como lentes de poco espesor conformados de gravilla y restos de moluscos, de edad Mioceno Medio. Tiene un espesor aproximado de 600 m, es la principal roca almacenadora de hidrocarburos productora en la subcuenca, como ejemplos están los campos Tupilco y Castarrical (Zenteno, 1984; Osorio Castellanos, 1984). Sus características batimétricas en el campo Tupilco indican un lavado constante ejercido por la dinámica de las olas del mar y las aguas provenientes del continente, propios de una zona nerítica interna (Caballero, 1984).

Formación Paraje Solo. Está constituida por una serie alternante de capas de areniscas y lutitas de edad Mioceno Superior. La arenisca es color gris claro de grano medio a grueso y la lutita de color gris verdoso; su espesor aproximado es de 500 m en el campo El Golpe (Osorio Castellanos, 1984). En el Campo Tupilco en la parte superior se compone de estratos arenosos y lutitas de colores gris verdoso y gris parduzco con delgadas capas de lignina y pedacería de moluscos: en la parte inferior predominan las areniscas color gris claro y verdoso con intercalaciones de material lignítico (Caballero, 1984).

Al inicio del Mioceno Superior ocurrió una regresión que originó la exposición subárea al occidente, con procesos erosivos acelerados que propiciaron la generación de grandes espesores de terrígenos que se asocian a una subsidencia progresiva en la zona de depósito (Caballero, 1984).

Unidad Reciente. Se compone de capas de arcilla y arena gris claro, con un espesor máximo de 50 m, correspondientes a los afloramientos en las inmediaciones del Campo El Golpe (Osorio Castellanos, 1984), mientras en el campo Tupilco presenta un espesor más pequeño (Caballero, 1984).

Los campos Tupilco, Santuario, El Golpe y Castarrical forman parte de un lineamiento estructural que tienen yacimientos petroleros productivos, siendo las areniscas las principales rocas almacenadoras, con espesores mayores en las proximidades de las fallas de crecimiento. Las rocas sello son lutitas que sugieren una condición inestable durante el depósito, con hundimiento cíclico producido principalmente por mayores tasas de sedimentación con mayor subsidencia producida por el movimiento de las fallas normales (Zenteno, 1984).

E. Geología estructural

Durante el Mioceno se produjo la Orogenia chiapaneca (evento Chiapaneco), que causó deformación por contracción y el levantamiento que originó la Sierra de Chiapas, con una condición tectónica compleja debido a la interacción de las placas Norteamericana, del Caribe y de Cocos, que desplazaron varios bloques corticales, incluyendo el Bloque de Chortis. Destaca en el límite de la Placa de Norteamérica y del Caribe, el sistema lateral izquierdo Motagua-Polochic que contribuyó al desarrollo de pliegues y fallas del Orógeno Chiapaneco. En la Provincia del Sureste, este evento se manifestó principalmente por una compresión con tendencia hacia el noreste que creó pliegues de orientación noroeste-sureste en rocas mesozoicas y del Paleógeno temprano del Pilar Reforma-Akal, Comalcalco, Macuspana y Cuenca Salina del Istmo (Oscar et al. 2013). Las fallas laterales originaron levantamiento en las zonas de contracción (formación de pliegues y fallas inversas) y depresiones topográficas en las zonas de transtensión (fallas normales y subsidencia).

En las secuencias sedimentarias previas a la formación de la Cuenca de Comalcalco se tienen pliegues y fallas inversas, fenómeno típico de los cinturones de pliegues y cabalgaduras correlacionables con la deformación de la Sonda de Campeche, ya que presentan orientaciones similares (Chávez et al. 2010).

Otros rasgos relevantes son las estructuras asociadas a efectos gravitatorios que formaron a las fallas normales lístricas, que tienen rumbos perpendiculares a la dirección del aporte sedimentario.

Las fallas de Comalcalco y Bolontiku son las estructuras principales, son fallas laterales derechas orientadas de SW a NE, con componente normal (transtensión), que originalmente presentan fallas normales de crecimiento y después se reactivaron como fallas laterales. Asociadas a las fallas principales, se tiene un conjunto de fallas secundarias sub-paralelas; estas fallas limitan los bloques en los que se encuentran los campos petroleros de la subcuenca (Chávez et al. 2007). En la parte norte (sector continental), las fallas principales relacionadas al Campo "El Golpe", tienen una orientación predominante al NW, mientras que las denominadas fallas secundarias cortan al campo en diferentes direcciones, que constituyen barreras a la migración de hidrocarburos, lo que permitió la formación de un gran número de yacimientos petroleros convencionales (Osorio, 1984). En la Figura 11 se muestran las fallas

laterales de Comalcalco y Bolontiku, además de otras fallas asociadas, que forman sistemas conjugados que se localizan a 80 kilómetros al noreste de la Terminal Marítima de Dos Bocas, Tabasco, con tirantes de agua entre 25 y 30 m y la configuración del subsuelo de la subcuenca.

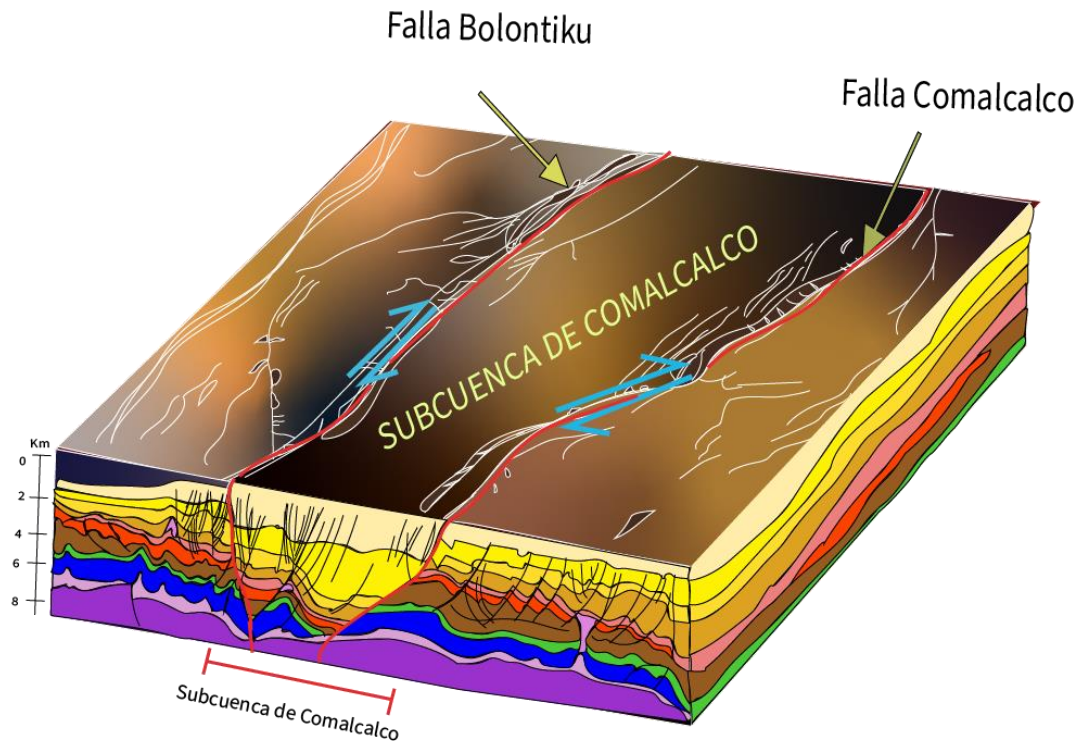


Figura 11. Estilos de deformación del subsuelo y delimitación de la subcuenca de Comalcalco con las fallas de Comalcalco y Bolontiku. Modificado de Petróleos Mexicanos (PEMEX, 2009); Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH, 2014).

F. Contenido paleontológico

Mediante resultados de análisis microfaunísticos de núcleos realizados en el trabajo de Chávez et. al (2005) en el área Reforma-Comalcalco, tanto de foraminíferos como de nannoplancton calcáreo fueron identificados 44 bioeventos cronoestratigráficos, de los cuales 26 corresponden al Paleógeno y 18 distribuidos del Mioceno al Plioceno inferior. En el área de la Subcuenca de Comalcalco se registró una distribución bioestratigráfica de organismos planctónicos definida.

Todos estos bioeventos corresponden con las últimas ocurrencias de los foraminíferos planctónicos más característicos del área, las cuales pueden ser consecuencia de fenómenos diferentes, tales como: la edad de extinción a nivel mundial o la edad de desaparición, debido a cambios ecológicos drásticos o fauna redepositada en estratos más jóvenes (Chávez et al. 2005).

Se identificaron siete diferentes asociaciones de foraminíferos bentónicos, los que mostraron una estrecha correspondencia con siete niveles batimétricos: transicional; neríticos interno, medio y externo y batiales superior, medio e inferior, indicados en cada Formación estratigráfica en el apartado de Estratigrafía (Chávez et al. 2005).

G. Evolución geológica y consideraciones tectónicas

La evolución geológica del sureste mexicano considera de manera relevante el marco tectónico regional del Golfo de México y del Caribe. La generación de las Cuencas del Sureste de México comienza con la separación de Pangea correspondiente a un proceso de rifting. La evidencia inicial es la presencia de lechos rojos del Triásico en las zonas de grabens durante el desarrollo del paleo-Golfo de México (Padilla y Sánchez, 2007).

El Jurásico Medio se caracteriza por la acumulación de gruesos paquetes de sal asociados a una transgresión marina generalizada que fue cubriendo de manera progresiva las zonas bajas en un clima árido y aguas oceánicas someras de circulación restringida, condición que prevaleció durante el Calloviano. Durante el Jurásico Tardío se caracterizó por una condición de tranquilidad tectónica asociada al desplazamiento divergente de las placas de Norteamérica, Laurasia y Gondwana, propiciando las condiciones necesarias para el depósito de carbonatos y lodos calcáreos intercalados; durante este tiempo se tiene una distribución extensa de barras oolíticas jurásicas productoras de hidrocarburos en la denominada Sonda de Campeche, ubicada por debajo del bloque Akal (Santiago Acevedo y Mejía Daut, 1980; Salvador, 1991c; Winker y Buffler, 1988; Williams Rojas y Hurley, 2001, citado por Padilla y Sánchez., 2007).

Particularmente, para el Tithoniano, la velocidad de subsidencia se hizo más lenta y predominó la sedimentación de secuencias de estratificación delgada de lutitas y calizas arcillosas, en las cuales aumentó considerablemente la presencia de

organismos, favorecido por un clima templado; formándose importantes rocas generadoras de hidrocarburos (Padilla y Sánchez, 2007).

La tectónica cambió de rift a una margen pasiva con condiciones climáticas favorables para la proliferación de vida oceánica, depositándose secuencias terrígenas finas y mezclas de arcillas con carbonatos que al litificarse formaron lutitas, lutitas calcáreas y calizas arcillosas muy ricas en materia orgánica, que son las rocas generadoras de la mayoría de los inmensos volúmenes de hidrocarburos que existen en el sureste mexicano, incluyendo la Cuenca de Comalcalco (González y Holguín, 1992).

El origen de las Cuencas de Comalcalco y Macuspana, están íntimamente ligadas con el desarrollo del Orógeno que formó la Sierra de Chiapas y la consecuente subsidencia al oriente, producida por fallas normales de crecimiento y su reactivación como fallas laterales con transtensión. De acuerdo con Ambrose et al. (2003), durante el Oligoceno continuó el depósito de clásticos en todo el sureste mexicano mientras que en el área de Comalcalco Salina del Istmo se intensificó la movilización de grandes volúmenes de sal en forma de domos, diapiros, almohadillas y “rollers” (Ángeles et al. 1992), que también originaron fallas normales en su ascenso y que contribuyeron al desarrollo de la subcuenca de Comalcalco; estos patrones sedimentarios y de subsidencia continuaron hasta el Mioceno temprano. La presión litostática debida al peso de grandes volúmenes de sedimentos terrígenos propició que la secuencia discordante miocénica tardía comenzara un deslizamiento gravitacional hacia el NNW, propiciando el mayor desplazamiento de las fallas normales lístricas, orientadas WSW-ENE, es decir, casi perpendiculares a la dirección de aporte sedimentario y también perpendiculares a la orientación de los pliegues de la cadena Chiapas-Reforma-Akal; estas fallas normales regionales, sintéticas y antitéticas, constituyeron los límites de las cuencas de Comalcalco-Salina del Istmo y de Macuspana (Padilla y Sánchez, 2007), las que posteriormente se reactivaron como fallas laterales con transtensión.

G.1. Tectónica de la Subcuenca de Comalcalco

En el área de la Subcuenca de Comalcalco se identifican tres principales eventos tectónicos desde el Jurásico hasta el Reciente.

La primera fase de compresión es la “Laramídica” o correlacionable (65 Ma-23.8 Ma) La segunda fase es la “Chiapaneca” (11.7 Ma-2.56 Ma). Ambas se encuentran

separadas por una etapa de estabilidad tectónica, en que la deformación fue muy sutil. A partir de 5.73 Ma se tiene el desarrollo de un sistema de fallamiento normal como consecuencia del deslizamiento gravitacional, por lo tanto, en el periodo entre 5.73 a 2.56 Ma, coexisten la deformación compresiva como la extensional y la transtensiva, como se esquematiza en la Figura 12. Los procesos de deslizamiento gravitacional son los causantes de que se individualicen, a partir de una superficie de despegue regional, los dos principales depocentros para la captación de sedimentos clásticos que rellenan las subcuencas de Comalcalco y Macuspana (Chávez et al. 2005).

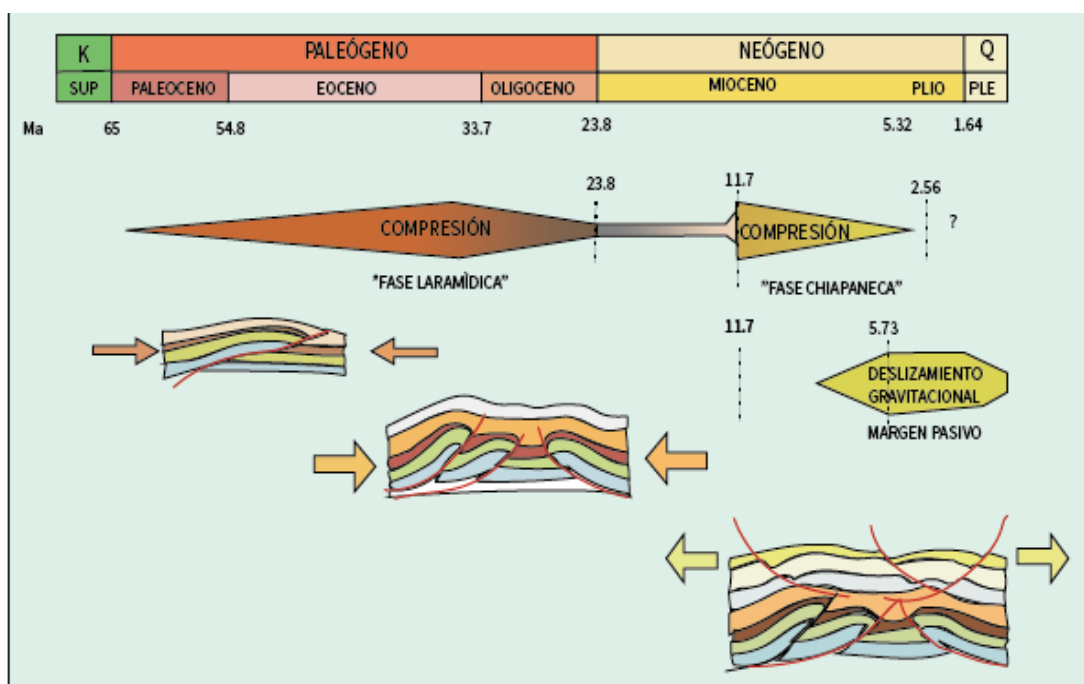


Figura 12. Eventos tectónicos principales con su edad en Ma identificados en la formación de la Subcuenca de Comalcalco. Modificado de Chávez et al. (2005).

En la subcuenca de Comalcalco grandes masas de sal jurásica, las fallas laterales y normales, jugaron un papel muy importante en su génesis y evolución, ya que los desplazamientos ocurridos en diferentes tiempos permitieron la creación del espacio de acomodo de sedimentos donde ocurrió la depositación de los grandes volúmenes de sedimentos de edad pliocénica provenientes del sur, principalmente de la Sierra de Chiapas y su entorno. A partir del Paleoceno y particularmente en el Eoceno, es cuando se incrementa el aporte sedimentario la columna estratigráfica se fue engrosando y debido a la presión de sobrecarga comienza el desarrollo de domos, diapiros y Canopies de sal que hasta el Mioceno se pliegan y comprimen para

posteriormente, en el Serravalliense formar fallas por compresión y, a partir de ese tiempo y hasta el Zancliense en el Plioceno, se lleva a cabo el característico desalojo de sal en la zona (Figura 13) (Chávez et al. 2005).

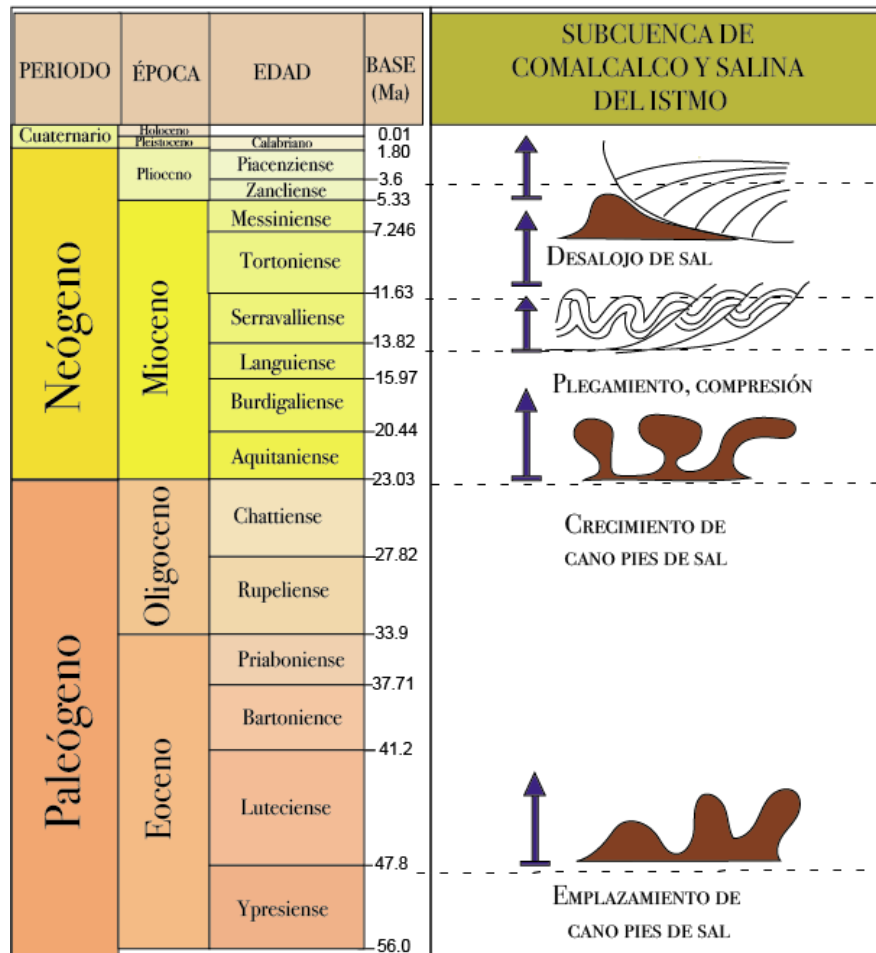


Figura 13. Representación esquemática de los eventos tectónicos que afectaron la región de la Subcuenca de Comalcalco. Modificado de Padilla y Sánchez (2007).

Los eventos compresionales dieron origen a un gran Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras, en el cual se encuentran las principales trampas estructurales de edad Mesozoica (previos a la formación de la Subcuenca de Comalcalco, mientras que los procesos de deslizamiento gravitacional provocaron la formación de fallas normales de crecimiento que permitieron el mayor desarrollo del espacio de acomodo sedimentario (Chávez et al. 2005).

La secuencia de evolución tectónica con la consecuente deformación de las Cuencas del Sureste, previas al desarrollo de la Subcuenca de Comalcalco (Chávez et al. 2005) son:

Durante el Jurásico Medio - Superior se depositan gruesos paquetes de evaporitas sobre secuencias de lechos rojos continentales, en el Kimerigiano se desarrollan bancos oolíticos asociados a altos estructurales y en el Thitoniano se presenta la máxima inundación del Paleo-Golfo de México, posteriormente se desarrollan movimientos tempranos de sal, como se muestra en la Figura 14 (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

JURÁSICO MEDIO - SUPERIOR

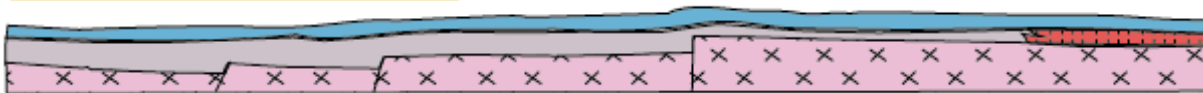


Figura 14. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Jurásico Medio - Superior. Modificado de Chávez (2002), citado por Chávez et al (2005).

Posteriormente en el Cretácico, inicia el desarrollo de plataformas y rampas carbonatadas que continúan durante hasta el Cenomaniano, posteriormente en la parte final del Cretácico se acumulan terrígenos y carbonatos con arcillas de grandes espesores (Figura 15) (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

CRETÁCICO

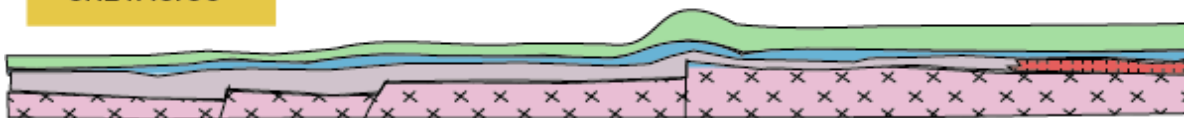


Figura 15. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Cretácico. Modificado de Chávez Valois (2002).

Una compresión de baja intensidad y magnitud provoca pliegues y cabalgaduras durante el Paleoceno-Eoceno, comienza a haber aporte de terrígenos en la zona y la deformación y movilización de cuerpos salinos a través de las zonas de debilidad de la zona levemente deformada, como se muestra en la Figura 16 (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

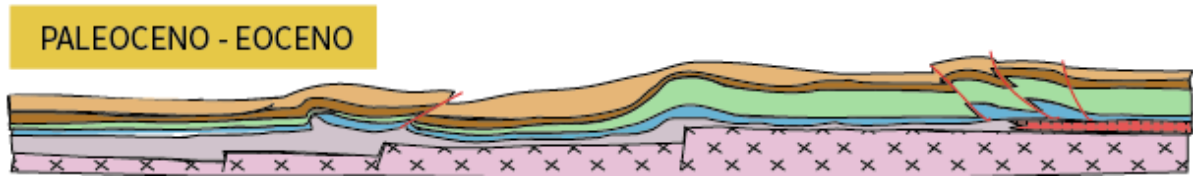


Figura 16. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Paleoceno - Eoceno. Modificado de Chávez (2002), citado por Chávez et al (2005).

En el Oligoceno continúa la compresión y la consecuente deformación, propiciando pulsos importantes de movimientos de sal, intrusionando la columna superior y alcanzando profundidades cercanas al paleo-fondo marino (Figura 17) (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

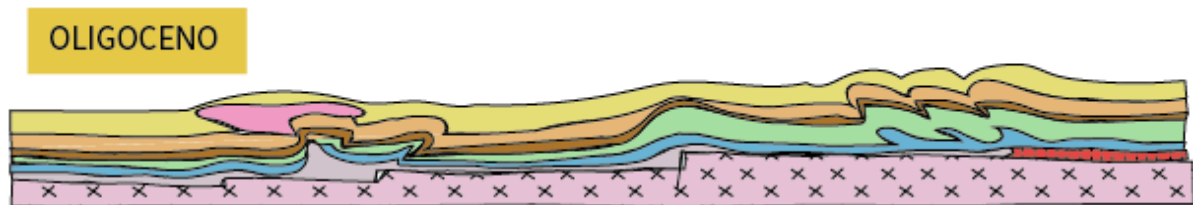


Figura 17. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Oligoceno. Modificado de Chávez (2002), citado por Chávez et al (2005).

Durante el Mioceno Inferior hasta el Mioceno medio se da una etapa de estabilidad tectónica, resultan secuencias sedimentarias con espesores homogéneos.

La Subcuenca de Comalcalco, su relleno sedimentario y su evolución tectónica corresponde con los siguientes eventos principales:

En el Mioceno Superior comienza a presentarse compresión resultado de la Orogenia Chiapaneca que origina el mayor desarrollo del Orógeno de Chiapas y causa la deformación compresiva principal con pliegues, fallas inversas y laterales, además de despegue regional que corresponde con deformación de piel delgada. Con la progresiva carga de sedimentos, los cuerpos de sal siguen movilizándose y las facies de depósito terrígenos son someros. En esta etapa se inicia la formación de la Subcuenca de Comalcalco, sobre un segmento de la Cuenca Salina del Istmo, como

se muestra gráficamente en la Figura 18 (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

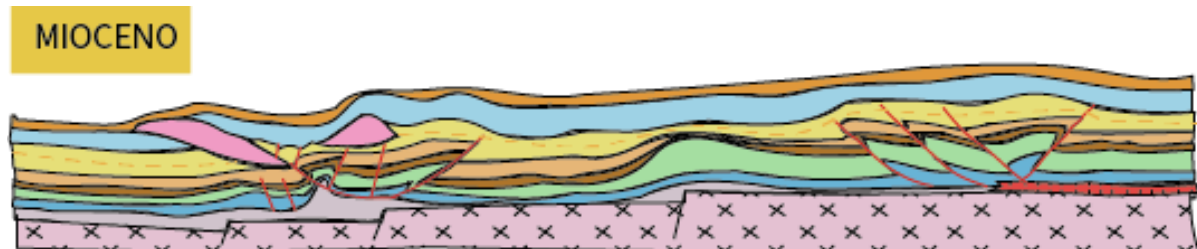


Figura 18. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Mioceno. Modificado de Chávez (2002), citado por Chávez et al (2005).

La Sierra de Chiapas se levanta rápidamente durante el Plioceno Inferior y propicia un gran aporte de sedimentos y deslizamiento gravitacional, por lo que la Subcuenca de Comalcalco continúa su desarrollo formándose los principales depocentros. Al mismo tiempo, la evacuación de sal forma minicuenclas que se llenan de sedimentos aceleradamente y en las zonas de mayor espesor de sal del Calloviano inicia la formación de canopies y soldaduras (Figura 19) (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

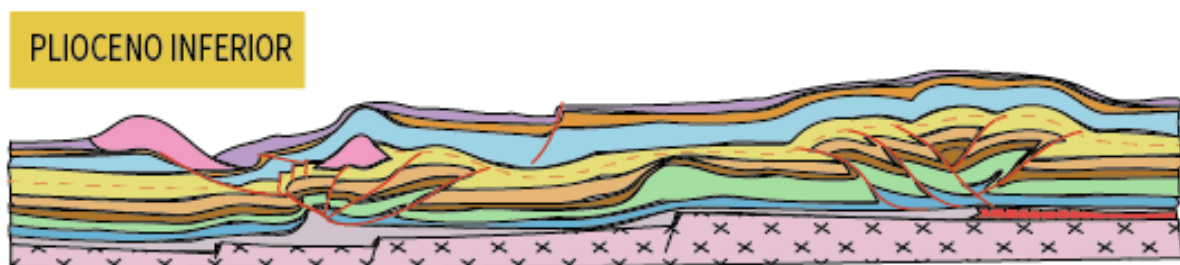


Figura 19. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Plioceno Inferior. Modificado de Chávez (2002), citado por Chávez et al (2005).

Durante el Plioceno medio las fallas normales alcanzan el despegue regional y la carpeta post-oligocénica se separa de su sustrato. La porción sur-central actúa como "Bypass" a la deposición, incrementándose el espesor de terrígenos de la cubierta

sedimentaria de la Cuenca de Comalcalco, además de que las fallas normales lístricas se reactivan como fallas laterales transtensivas, como se ilustra en la Figura 20 (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

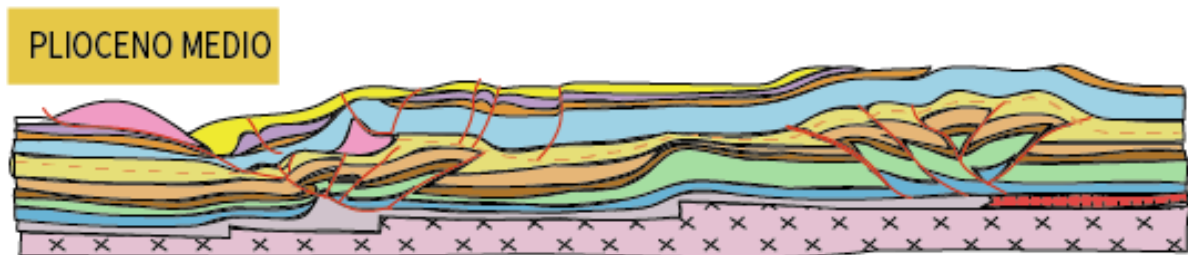


Figura 20. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Plioceno Medio. Modificado de Chávez (2002), citado por Chávez et al (2005).

En el Plioceno Superior-Holoceno a la sal migra rápidamente al norte dejando cuerpos aislados y soldaduras, el espacio de acomodo para recibir sedimentos es compensado por la formación de fallas contra-regionales y laterales, posteriormente varias fases de sedimentación colmatan la subcuenca de manera rápida (Figura 21) (Chávez, 2002, citado por Chávez et al. 2005).

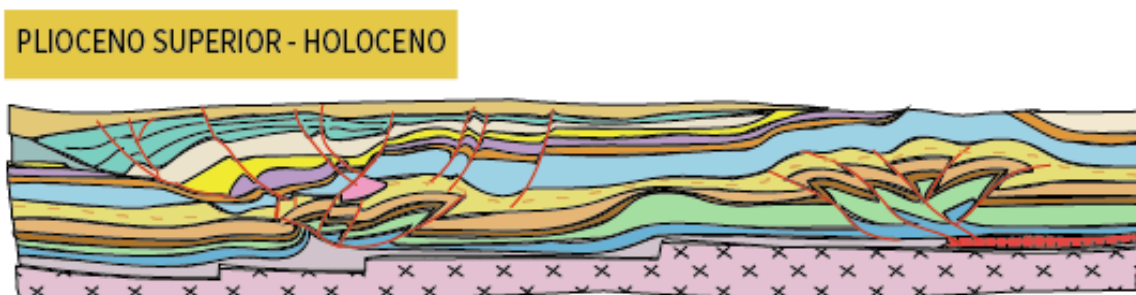


Figura 21. Modelo esquemático de evolución tectónica de la Subcuenca de Comalcalco durante el Plioceno Superior - Holoceno. Modificado de Chávez (2002), citado por Chávez et al (2005).

H. Modelo propuesto de la Subcuenca de Comalcalco

La Subcuenca de Comalcalco se clasifica como un graben o fosa que abarca territorio continental y se extiende hacia territorio marino, desarrollado como una combinación de una cuenca retroforeland asociada al desarrollo del Orógeno de Chiapas, que

evoluciona a una cuenca de tectónica salina y que culmina como una cuenca de margen pasivo.

La subcuenca se desarrolló sobre un segmento de la Cuenca Salina del Istmo y está delimitada por dos fallas normales regionales que evolucionaron a fallas laterales. Estas fallas son la de Comalcalco que la separa del pilar Reforma-Akal y la falla Bolontiku que segmenta a la Cuenca Salina del Istmo. Es un bajo estructural resultado de la subsidencia por carga gravitacional de los sedimentos depositados en ella, resultado de deformación con extensión que permitieron su mayor desarrollo del Mioceno superior al Plioceno inferior. Debido a su compleja evolución las rocas de su basamento y su cubierta sedimentaria presentan varios estilos estructurales diferentes y superpuestos, Las principales estructuras, son fallas normales, fallas laterales con transtensión que delimitan la cuenca, así como numerosas fallas principalmente normales que se encuentran dentro de la cuenca y que delimitan los bloques donde se encuentran los yacimientos petroleros; es de resaltar, la presencia de domos, diapiros y canopies originados por la evacuación de sal calloviana sobre todo cuando se depositó el mayor espesor de sedimentos terrígenos (Cruz, 2024). En la Figura 22 se ilustra de manera detallada la representación aérea de la subcuenca de Comalcalco y sus cuencas vecinas, además de una sección A-A' representativa del estilo estructural del subsuelo de esta.

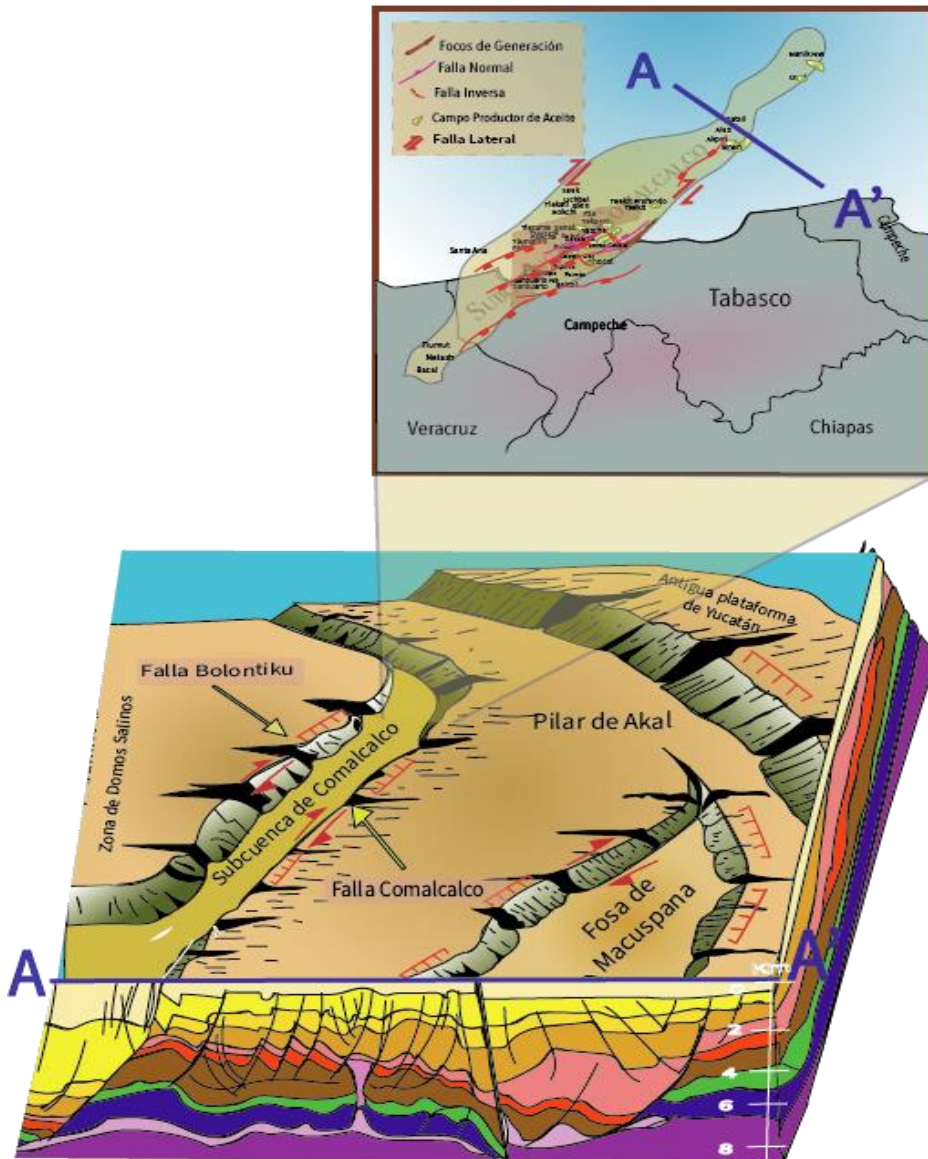


Figura 22. Representación de la subcuenca de Comalcalco, y el estilo estructural del subsuelo en la sección A- A'. Modificado de Caracterización geológica y petrofísica de un pozo exploratorio de un sector de reforma Tabasco (p.24), por F. J. Ángeles Aquino, J. Reyes Núñez, J.M. Quezada Muñetón, 1992, como se citó en N. Adán González y F.T. Jiménez Bernal, 2008, Facultad de Ingeniería, UNAM; citado por Cruz, (2024) y CNH (2014)

La subcuenca de Comalcalco ha sido estudiada como una estructura independiente de la Cuenca Salina del Istmo debido a sus estilos estructurales, sus límites por fallas y su particular secuencia estratigráfica (Figura 23).

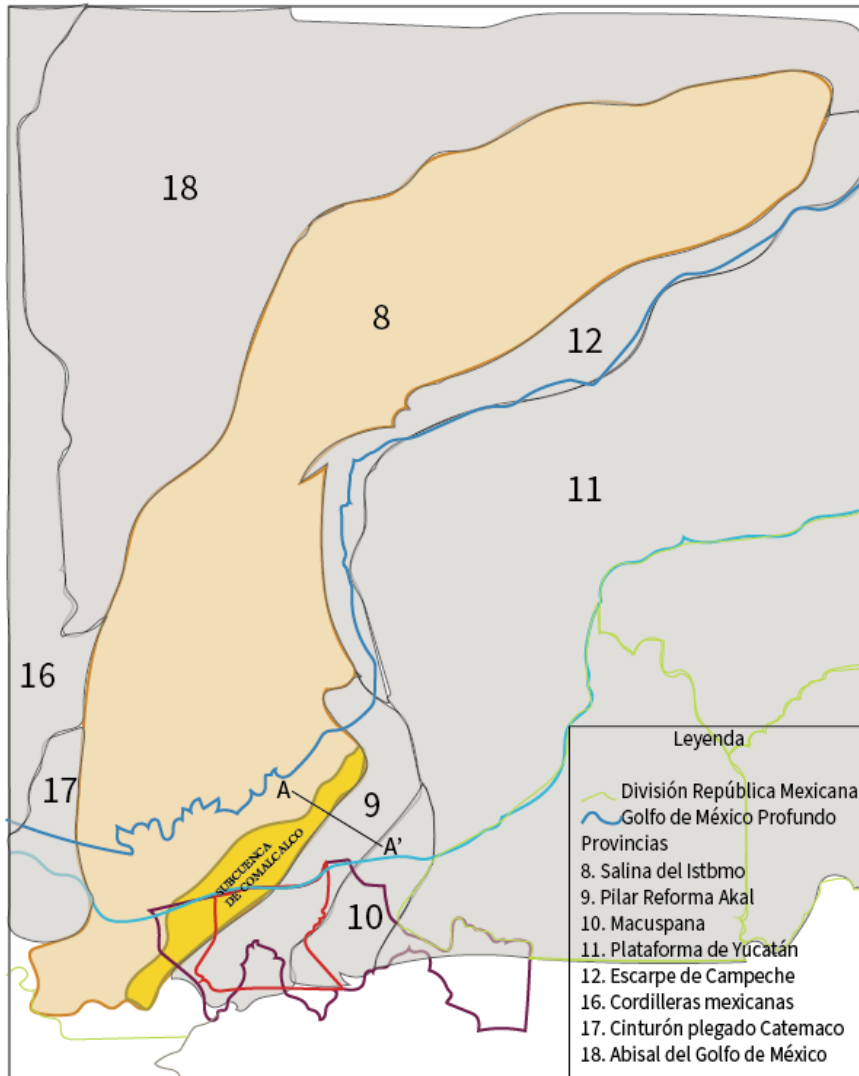


Figura 23. Ubicación de la Subcuenca de Comalcalco en la Provincia petrolera del Sureste mexicano, incluye la sección A-A'. Modificado de Petróleos Mexicanos (PEMEX, 2010).

V. Consideraciones económicas

La Subcuenca de Comalcalco tiene como principal actividad económica la extracción de hidrocarburos, contribuyendo de manera importante a la producción nacional de aceite pesado, aceite ligero, condensado y gas (Valdés y Guerrero, 2005).

Las rocas generadoras son secuencias arcillosas y calcáreoarcillosas ricas en materia algáceo-amorfa. Cuenta con sistemas generadores de edad mesozoica y Paleógeno-Neógenos de aceite, teniendo en los sistemas generadores del Tithoniano y del Mioceno áreas de plataforma externa a cuenca con Carbono Orgánico Total (COT) alto a muy alto (0.9 a 4% COT) conformado por kerógeno tipo II e influencia de

kerógeno tipo III (Chávez et al. 2005), con una profundidad del nivel Mesozoico entre 500 y 7,000 m produciendo en un lapso de casi 40 años, representando la principal producción en el área (Mata et al. 2006).

Las rocas almacenadoras son areniscas selladas por gruesos espesores de lutitas que las encajonan. Las trampas son principalmente de tipo estratigráfico relacionadas a acuñamientos, aunque también hay trampas mixtas formadas por truncamientos de los cuerpos de arena contra los flancos de los diapiros de sal.

Los campos ubicados en la parte continental de la subcuenca de Comalcalco son: Bacal, Nelash, Tiumut, Santa Ana, Santuario, Santuario NE, Yagual, Bricol, El Golpe, Pareto, Tupilco, Tupilco profundo, Chocol y Catarrical.

Mientras que los que se ubican en la parte marina son: Paki, Tlamatini, Mulach, Puerto Ceiba, Pokche, Pokchene, Tlacame, Xanab, Xolotl, Xanab SE, Yaxche, Tekuani, Tita, Hokchi, Tlakati, Xikin, Uchbal, Suuk, Teekit Profundo, Teekit, Sinan, Akpul, Alux, Batsil, Onel, Manik NW (Comisión Nacional de Hidrocarburos [CNH], s.f).

El descubrimiento más reciente de reservas de hidrocarburos en Comalcalco fue del campo Teekit Profundo con el pozo Teekit 1001, clasificado como reservas 2P y 3P en aceite y gas natural (Petróleos Mexicanos [PEMEX], 2018, 2019, citado por Juárez y Ramírez 2020).

Para abril de 2024, la Revista Onexpo Nacional dio a conocer por parte de PEMEX que los campos petroleros de Quesqui y Tupilco en Tabasco son cruciales para la producción petrolera en la región sur de México, contribuyendo con más del 50% del total regional y superando significativamente la producción del norte del país. Poseen reservas que superan los mil 100 millones de barriles de petróleo, lo que representa aproximadamente el 16.13% del total de reservas nacionales. Los yacimientos en conjunto han generado más de 335 millones de barriles de petróleo crudo equivalente en los últimos cinco años.

Tupilco, campo de Comalcalco, ha mostrado un potencial excepcional, con estimaciones que lo sitúan en más de 200 millones de barriles de petróleo (Oil & Gas Magazine, 2024). Además, desde 2015 se han implementado recuperaciones secundarias en el campo Nelash (Fracking en México, 2015).

La Subcuenca de Comalcalco, ha producido y procesado la mayoría del gas natural del país, sin embargo, no es explotado de manera eficiente debido a la falta de gasoductos, razón por la que se justifica la quema de este en algunos campos donde la prioridad es la producción de hidrocarburos líquidos (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO Staff], 2023).

VI. Conclusiones y recomendaciones

La subcuenca de Comalcalco ha sido una importante depresión topográfica productora de hidrocarburos en México desde los años cincuenta del siglo pasado, gracias a su gran contenido de aceite y gas en sus campos que contienen secuencias generadoras de lutitas ricas en materia orgánica y rocas almacenadoras compuestas de areniscas que con ayuda de elementos estructurales almacenan y sellan eficazmente los hidrocarburos que han podido ser explorados y explotados desde sus inicios, hasta 2024 y siendo también potencial productora en los siguientes años.

Además, México tiene el proyecto en marcha de la Refinería Olmeca de dos Bocas, ubicada en el área de la Subcuenca de Comalcalco, sería ideal que los recursos extraídos de esta fueran tratados en la nueva refinería, teniendo así más infraestructura y menos limitaciones o gastos por transporte a partir de 2024, sacándole provecho a la industria de hidrocarburos y buscando una transición gradual hacia energías más limpias que tanto el país como el planeta necesita, esto para seguir generando energía y materias primas, además de garantizar la seguridad energética y económica del país .

VI.a. Autoevaluación

Instrucciones. Lea atentamente cada una de las cuestiones siguientes y subraye la respuesta correcta.

1. ¿Considerando la fuerte carga de sedimentos del Mioceno, su estilo estructural, sus límites estratigráficos, sus características tectónicas y su sobreposición a otra cuenca, Comalcalco es?
 - a) Una plataforma sedimentaria.
 - b) Una provincia geológica
 - c) Una subcuenca**
 - d) Un horts
2. ¿Cuál es la falla principal que delimita a la subcuenca de Comalcalco al sureste de esta?
 - a) La falla de Comalcalco**
 - b) La falla Reforma-Akal
 - c) La falla Bolontiku
 - d) La falla de Acatlán
3. ¿Dónde se ubica geográficamente la Subcuenca de Comalcalco?
 - a) En Yucatán, México
 - b) En Veracruz, México
 - c) En Tabasco, México**
 - d) En Tamaulipas, México
4. ¿Sobre cuál cuenca sedimentaria está sobrepuesta la Subcuenca de Comalcalco?
 - a) La Cuenca de Chicontepec
 - b) La Cuenca Salina del Istmo**
 - c) La Cuenca de Macuspana
 - d) La Cuenca de Burgos
5. ¿En qué época ocurrió la mayor cantidad de sedimentación en la subcuenca de Comalcalco?
 - a) Durante el Jurásico-Cretácico
 - b) Durante el Pleistoceno
 - c) Durante el Mioceno superior- Plioceno Inferior**
 - d) Durante el Paleoceno-Eoceno
6. ¿Qué tipo de fallas predominan en la subcuenca de Comalcalco?
 - a) Fallas laterales
 - b) Fallas normales de crecimiento**
 - c) Fallas inversas
 - d) No presenta fallas
7. Las fallas predominantes en la subcuenca de Comalcalco fueron provocadas principalmente debido a:

- a) Compresión
 - b) Extensión
 - c) Subsistencia**
 - d) Una margen pasiva
8. ¿Cuál es el rasgo estructural más representativo en el que se desarrolló la subcuenca de Comalcalco?
- a) Un graben de grandes dimensiones**
 - b) Un horts de grandes dimensiones
 - c) Un talud
 - d) Una plataforma
9. ¿Cuál es el tipo de roca más abundante del Mioceno de la subcuenca de Comalcalco?
- a) Lutitas
 - b) Arenas y lutitas**
 - c) Arcillas
 - d) Sal
10. ¿Qué niveles batimétricos predominaron en el depósito de los sedimentos en la subcuenca de Comalcalco?
- a) Neríticos (de plataforma)**
 - b) Batiales (De talud)
 - c) Profundos
 - d) Batiales medios
11. La subcuenca de Comalcalco se delimita principalmente por dos elementos estructurales que son:
- a) Las fallas Comalcalco y Bolontiku**
 - b) Un horts
 - c) Pliegues y cabalgaduras
 - d) Intrusiones de sal
12. ¿Cuál es la principal característica que dio resultado a la formación de la subcuenca de Comalcalco?
- a) Subsistencia por carga gravitacional**
 - b) Compresión de la subcuenca
 - c) Presencia de fallas
 - d) Generación del Golfo de México
13. ¿Cuál es el principal recurso natural que se explota en la subcuenca de Comalcalco?
- a) Gas
 - b) Aceite y gas**
 - c) Pescado
 - d) Alimentos
14. ¿Qué elementos estructurales predominaron en la formación de trampas de hidrocarburos en la subcuenca de Comalcalco?
- a) La presencia de sal

- b) Fallas normales lístricas**
- c) Fallas laterales
d) Pliegues
15. ¿Cuáles son las Formaciones almacenadores de hidrocarburos en la subcuenca de Comalcalco?
- a) Formaciones Paraje Solo y Reciente
b) Formaciones Encanto y Depósito
c) Formaciones Concepción Superior y Filisola
d) Formaciones Encanto y Concepción Inferior
16. ¿Cuáles son los campos petroleros con mayor producción en la subcuenca de Comalcalco?
- a) Nelash, Santa Ana, Onel
b) Tiumut, Pareto, Chocol
c) Xanab, Teekit, Onel
d) Tupilco, Santuario, El Golpe y Castarrical
17. ¿Qué tipo de yacimientos petroleros se explotan actualmente en la subcuenca de Comalcalco?
- a) No convencionales
b) Convencionales
c) Profundos
d) Someros
18. ¿Qué tipo de evento tectónico predominó en la subcuenca de Comalcalco antes del deslizamiento gravitacional del Mioceno?
- a) Compresivo**
b) Extensivo
c) Lateral
d) Mixto
19. ¿Cuál fue el principal evento de deformación tectónica regional que influyó en la formación de la subcuenca de Comalcalco?
- a) La Orogenía Larámide
b) La Orogenia Mexicana
c) La separación de Pangea
d) La Orogenia Chiapaneca
20. ¿Por qué la subcuenca de Comalcalco continúa siendo una buena productora de hidrocarburos?
- a) Ha producido hidrocarburos en grandes cantidades
b) Implementación de nueva infraestructura
c) Sus campos tienen gran potencial de explotación
d) Se ubica en las cuencas del sureste

Bibliografía

Barragán Manzo, R. (s. f.). *ANÁLISIS DE MICROFACIES: LAS ROCAS CARBONATADAS EN LÁMINA DELGADA Y SU SIGNIFICADO PALEOAMBIENTAL* [Diapositivas de PowerPoint]. Instituto de Geología, UNAM. <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosELIA/zonadesplegar/Lecturas/ejemplos%20de%20plataformas%20carbonatadas.pdf>

Caballero Sandoval, J. R. (1984). *Historia del pozo petrolero Tupilco no 75-A del distrito Comalcalco, Tab.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/9ID6PEKTG2U8J7BV89GQQ7TPCEGCQQP6LI4VR7SMA3SSXKTSSF-32246?func=find-b&local_base=TES01&request=tupilco+75-A&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=

Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH), s.f. Portal de información técnica. portal.cnih.cnh.gob.mx

Centro Nacional de Control de Energía. (1 de junio de 2022). Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2022-2036 Capítulo 3. <https://www.gob.mx/cenace/documentos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2022-2036>

Chávez Valois, V. M, Clara Valdés, Ma. L., Juárez Plascencia, J. I., Alor Ortiz, I., Mata Jurado, M., Villagran Yáñez, R., Guerrero Tristán, M y Ghosh, S. (2005). *Un nuevo enfoque multidisciplinario en el estudio de «Plays»: el terciario de la cuenca del Sureste, Tabasco, México.* Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros (AMGP), (6-32).

Clara Valdés, Ma. L. y Guerrero Tristán, M. (2005). *Sistema petrolero, generación de hidrocarburos y migración en las cuencas del sureste en el área Reforma-Comalcalco, México.* Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros (AMGP), (52-79).

Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH, 2015). *ATLAS GEOLÓGICO CUENCAS DEL SURESTE - CINTURÓN PLEGADO DE LA SIERRA DE CHIAPAS*. https://hidrocarburos.gob.mx/media/3094/atlas_geologico_cuencas_sureste_v3.pdf

Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH, 2014). *Cuencas del sureste aguas someras. Síntesis Geológico petrolera*. www.cnh.gob.mx

Comisión Nacional de Hidrocarburos (s. f.). Mapa de hidrocarburos. <https://mapa.hidrocarburos.gob.mx/>

CONSEJO DE RECURSOS MINERALES. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mapserver.sgm.gob.mx/InformesTecnicos/CartografiaWeb/T301999AUMM0001_01.PDF

Cruz Gaspar, J. M. (2024). *Origen, clasificación e importancia de fallas y fracturas geológicas en proyectos de Ingeniería en Ciencias de la Tierra* [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Einsele, G. (1992). *Sedimentary Basins: Evolution, facies and sediment budget*. En Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Gaceta CNH. (2024, junio). GACETA CNH NO.39. <https://cnh.gob.mx/informacion/gacetas-informativas-cnh/?pnl=27922>

Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) Centro de Investigación En Política Pública (22 de agosto de 2023). *EL SUR-SURESTE MEXICANO REQUIERE INFRAESTRUCTURA PARA ACCEDER AL GAS NATURAL*. <https://imco.org.mx/el-sur-sureste-mexicano-requiere-infraestructura-para-acceder-al-gas-natural/>

Ingersoll, R. y Busby, C. (1995). *Tectonics Of Sedimentary Basins*. Blackwell Scientific Publications. https://www.researchgate.net/publication/264739040_Tectonics_of_Sedimentary_Basins

Jiménez, J. (2012). Análisis de la madurez de las cuencas productoras de aceite y gas en México, mediante su distribución fractal, *Ingeniería Petrolera*, 53(1), 49-65. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblat.unam.mx/hevila/Ingenieria_petrolera/2013/vol53/no1/4.pdf

Juárez, A y Ramírez, L (2020). *Panorama del petróleo crudo mexicano y su relación con el sistema nacional de refinación* [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]

López Martínez, C y Benites Canchola, M. B. (2019). *Los efectos térmicos de sal en una cuenca sedimentaria, ejemplo del Golfo de México*. National Hydrocarbons Comission. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/335192445_Los_efectos_termicos_de_sal_en_una_cuenca_sedimentaria_ejemplo_del_Golfo_de_Mexico

López Ramírez, E. A. (2019). *Evaluación técnica de la reforma energética 2013 en el sector petrolero* [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/a486971a-1a1d-412b-9f79-b289e63758b5/content>

Loza, R. (2014). *Características e importancia económico-petrolera de las cuencas sedimentarias foreland, con ejemplos representativos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/6UN1KKE2D6ENYY14XSEU9787BPDD7RXKL3F36UEBD48XHPIPNN-14174?func=find-b&local_base=TES01&request=loza+espejel&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=

Morales Reyes, G., Camps-Pérez, A y García-Vásquez, J. J. (2008). *Análisis de riesgo aplicado a la planeación de la producción de petróleo en la Región Marina*. Tecnología, Ciencia, Educación, 23(2), 53-61.

Netzahualcoyotl, J. (2011). *Evaluación petrolera y métodos de explotación en la Cuenca de Comalcalco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/8NJP6SX7EJQPBMAT4XF3PXP5B2IJT8HQYC1Q3Y6ADMM8IPTQRT-42922?func=full-set-set&set_number=014443&set_entry=000005&format=999

Oil & Gas Magazine - Staff Oil & Gas Magazine. (2024, 25 abril). *Quesqui y Tupilco impulsan producción petrolera en el sur de México: Pemex*. Onexpo Nacional,

A.C. © 2024. https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/QUESQUI-Y-TUPILCO-IMPULSAN-PRODUCCION-PETROLERA-EN_fwFd8/

Osorio Castellanos, J. R. (1984). *Historia del Pozo «El Golpe» No.65, Campo El Golpe Distrito Comalcalco Zona Sureste* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiumam.dgb.unam.mx/F/32FSABHG4T42QYHKFMC6CV8XJA5XCYQTIJTVN8FVQQLT1YEP2T-20069?func=find-b&local_base=TES01&request=pozo+el+golpe&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=

Padilla y Sánchez, R.J, (2007). *Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LIX (1), 19-42. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v59n1/1405-3322-bsgm-59-01-19.pdf>

Sánchez, J. (2011) La crisis energética global, la posición de México en el mundo. UJAEM En línea, Xivrem. <Chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://xivrem.ujaen.es/wp-content/uploads/2011/11/24-R-106M706.pdf>

SECRETARIA DE ECONOMÍA. (1999). *CARTA GEOLÓGICO-MINERA MINATITLAN ESCALA 1:250,000 ESTADOS DE VERACRUZ Y OAXACA*.

PEMEX Exploración y producción; INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. (2010, agosto). *MAPA PROVINCIAS GEOLÓGICAS*.

Velázquez Cruz, D., González Monroy, Z., Pavón Prevé, J. M., Castro Martínez, H., Espinosa Castañeda, G., PEMEX, Subgerencia de Ingeniería, División Marina, Martínez Estrella, F., Velázquez Cruz, D., Bautista Pastrana, D., y Santa Torrelas, G. M., (2005, 23 febrero). *EVALUACIÓN DEL PODER DE INHIBICIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN A TRAVÉS DE LA CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS*. E-Exitep 2005. https://www.academia.edu/5049485/Evaluaci%C3%B3n_del_poder_de_inhibici%C3

%B3n_de_los_fluidos_de_perforaci%C3%B3n_a_trav%C3%A9s_de_la_caracteriza
ci%C3%B3n_de_arcillas

Vázquez García, O., Chávez Valois, V. M., Barrios Rivera, J., & Pemex. (2013, abril). *Mapeo Estructural del Cretácico en la Cuenca de Comalcalco usando gradiometría de gravedad de tensor completo*. *Ingeniería Petrolera*, 53(4), 202-210.
<chromeextension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblat.unam.mx/hevila/ingenieriapetrolera/2013/vol53/no4/1.pdf>

Zenteno Muangos, R. A. (1984). Historia del Pozo Tupilco no. 150. Distrito Comalcalco [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/B329TUV1QETJP3Y5VJGIVB912LQQTC6U98F8RP1UKRCH1X5GL2-15366?func=find-b&local_base=TES01&request=pozo+tupilco+150&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=