



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERIAS

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
AMBIENTAL**

TESIS

**“RESEÑA SOBRE LA GEOLOGÍA DEL
PETRÓLEO EN EL ESTADO DE HIDALGO,
EXPLORACIÓN Y POTENCIAL”.**

**Que para obtener el título de
Licenciado en Ingeniería en Geología Ambiental**

PRESENTA

Alessandro Abed Ballato González

Director

Dr. Carlos Esquivel Macías

Comité tutorial

Dr. Kinardo Flores Castro

Ing. Ysis Rebeca Vázquez Camacho

Dr. Carlos Esquivel Macías

Dr. Márius Ramírez Cardona

Mineral de la Reforma, Hgo, México, octubre 2022



Mineral de la Reforma, Hgo., a 5 de octubre de 2022

Número de control: ICBI-D/1249/2022
Asunto: Autorización de impresión.

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado al Pasante de la Licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental Alessandro Abed Ballato González, quien presenta el trabajo de titulación "RESEÑA SOBRE LA GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO EN EL ESTADO DE HIDALGO, EXPLORACIÓN Y POTENCIAL", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente Dr. Kinardo Flores Castro

Secretario: Ing. Ysis Rebeca Vázquez Camacho

Vocal: Dr. Carlos Esquivel Macias

Suplente: Dr. Márius Ramírez Cardona

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
Director del ICBI



OAAS/YCC

Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia
Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México, C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 ext. 2231 Fax 2109
direccion_icbi@uaeh.edu.mx



Agradecimientos

Antes que nada, agradezco a mi asesor de tesis, el Dr. Carlos Esquivel Macías, por confiar en mí desde el principio, tenerme paciencia, transmitirme sus conocimientos y motivarme constantemente a superarme como persona y entregar un trabajo de calidad.

Al Dr. Kinardo Flores Castro, por orientarme, asesorarme, aconsejarme y darme una crítica constructiva cada vez que lo requería. Esto fue aprovechado de la mejor manera posible para pulir aún más la presente tesis.

A la Ing. Ysis Rebeca Vázquez Camacho, por mostrarme lo bella que es la Geología del Petróleo. Si no hubiese cursado su materia, jamás habría tenido el interés de realizar este trabajo; así mismo, gracias a ella y a su materia fue como después de ocho largos semestre encontré mi vocación como geólogo.

Al Dr. Márius Ramírez Cardona, por su tiempo y apoyo brindado hacia mí durante la realización de esta tesis.

Agradezco a mi compañera de clase, Lizbeth Guadalupe Carrillo Marrodan, por tenerme paciencia y explicarme detalladamente cada vez que necesitaba una asesoría sobre cómo usar el software necesario para la realización de mis mapas.

Le doy las gracias a mi tía Deyanira Tenorio Arenas y a mi primo Julio Celis Ontiveros por acompañarme y ser mis guías aquel día que salí a campo a recabar evidencia fotográfica de los distintos pozos de perforación en Huejutla de Reyes y Atlapexco, Hidalgo.

Gracias a todos los trabajadores del Laboratorio Integral Regional Balam-Tunich, perteneciente a la empresa Petróleos Mexicanos (PEMEX), por asesorarme, compartirme información y proporcionarme bibliografía que ayudó a complementar esta tesis.

Finalmente, agradezco muchísimo y de todo corazón a mi padre Ignacio Ballato Arenas, pues él fue la persona que financió todo lo que fuera necesario para poder desarrollar esta tesis en tiempo y forma para evitar contratiempos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con todo mi amor y cariño a mis padres Ignacio y Emelia Xóchitl, por su apoyo y amor incondicional, por creer siempre en mí, por brindarme palabras de aliento cada vez que las necesitaba, por aconsejarme cuando no tenía los pies en la tierra, por hacerme sentir el mejor geólogo del mundo. ¡Muchas gracias! Sin ustedes nada de esto sería posible.

A mi hermano Sayed, por siempre estar orgulloso de mí y por su apoyo incondicional.

A mi tía Rosa Isabel, ya que junto a ella he pasado grandes momentos que vivirán siempre en mi memoria.

A mi primo Emiliano, por provocarme una sonrisa cada vez que lo necesitaba y llenarme el corazón de amor y ternura.

A mis grandes amigas de toda la vida, Montserrat, Alondra, Fernanda Malinalli, Brenda y Lizbeth Guadalupe "Lupita", con quienes he pasado grandes momentos inolvidables a lo largo de toda mi vida. Gracias a ustedes me convertí en la persona que soy hoy en día.

Por último, pero no menos importante, dedico este trabajo a mi jurado de tesis, los doctores Esquivel, Kinardo, Marius y a la Ing. Ysis, por brindarme su confianza, su tiempo, y principalmente sus conocimientos en geología, los cuales se quedarán conmigo de por vida.

Gracias a todas esas personas que han impactado en mi vida de forma positiva, sé que el día de hoy estarán muy orgullosos y orgullosas de lo lejos que he llegado. Espero haber dejado mi huella en el corazón de cada uno de ustedes.

ÍNDICE

Resumen.....	10
CAPITULO I - GENERALIDADES.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 ANTECEDENTES.....	14
1.3 HIPÓTESIS.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 Objetivo General.....	16
1.4.2 Objetivos Específicos.....	16
CAPITULO II- ÁREA DE ESTUDIO.....	17
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	20
2.1.1 Provincias Geológicas.....	20
2.1.1.1 Tampico-Misantla (T-M).....	22
2.1.1.2 Cinturón Plegado De La Sierra Madre Oriental (CSPSMO).....	23
2.1.2 Terrenos Tectonoestratigráficos.....	26
2.1.2.1 Terreno Sierra Madre (SM).....	27
2.1.2.2 Terreno Eje Volcánico Transmexicano (TVM).....	27
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	28
2.2.1 Precámbrico.....	28
2.2.2 Mesozoico.....	28
2.2.3 Cenozoico.....	44
CAPITULO III - MÉTODO.....	48
CAPITULO IV - RESULTADOS.....	49
4.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS DE INTERÉS PARA LA INDUSTRIA PETROLERA.....	50
4.1.1 Roca generadora.....	52
4.1.2 Roca almacén.....	53
4.1.3 Roca sello.....	54
4.1.4 Trampas.....	54
4.2 POZOS DE PERFORACIÓN.....	63

4.2.1 Atotonilco De Tula.....	66
4.2.2 Francisco I. Madero.....	67
4.2.3 San Felipe Orizatlán.....	68
4.2.4 Tlanchinol.....	69
4.2.5 Huejutla De Reyes.....	70
4.2.6 Atlapexco.....	73
4.2.7 Xochiatipan.....	75
4.2.8 Huautla.....	76
4.3 CAMPOS PETROLEROS.....	77
4.4 ASIGNACIONES VIGENTES.....	82
CAPITULO V - DISCUSIÓN.....	84
CAPITULO VI - CONCLUSIONES.....	86
GLOSARIO.....	87
REFERENCIAS.....	92

.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área de estudio.....	18
Figura 2 Límites de las Provincias Geológicas en el estado de Hidalgo.....	21
Figura 3 Límites de las Provincias Petroleras de México e Hidalgo.....	25
Figura 4 Límites de los Terrenos Tectonoestratigráficos en el estado de Hidalgo.....	26
Figura 5 Distribución general de las Formaciones Geológicas en el estado de Hidalgo.....	47
Figura 6 Extensión del sistema petrolero del Jurásico Inferior-Medio-Jurásico Medio (!) y Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).....	50
Figura 7 Mapa de los Sistemas Petroleros de México.....	51
Figura 8 Geología de yacimientos convencionales y no convencionales.....	56
Figura 9 Pozos de perforación realizados en el municipio de Atotonilco de Tula.....	66
Figura 10 Pozos de perforación realizados en el municipio de Francisco I. Madero.....	67
Figura 11 Pozos de perforación realizados en el municipio de San Felipe Orizatlán.....	68
Figura 12 Pozos de perforación realizados en el municipio de Tlanchinol.....	69
Figura 13 Imágenes tomadas en el campo Candelaria.....	70
Figura 14 Imágenes tomadas en el campo Candelaria.....	71
Figura 15 Pozos de perforación realizados en el municipio de Huejutla de Reyes.....	72
Figura 16 Imágenes tomadas del Campo Atlapexco.....	73
Figura 17 Pozos de perforación realizados en el municipio de Atlapexco.....	74
Figura 18 Pozos de perforación realizados en el municipio de Xochiatipan.....	75
Figura 19 Pozos de perforación realizados en el municipio de Huautla.....	76
Figura 20 Límites del campo petrolero “Pastoría”.....	78
Figura 21 Acercamiento a los límites del campo petrolero “Pastoría”.....	79
Figura 22 Asignaciones vigentes en el estado de Hidalgo.....	82
Figura 23 Acercamiento a las asignaciones vigentes en el estado de Hidalgo.....	83
Figura 24 Partes del árbol de válvulas.....	87
Figura 25 Diferencia entre grados API.....	88
Figura 26 Diagrama de Van Krevelen.....	89
Figura 27 Elementos y procesos de un sistema petrolero.....	90
Figura 28 Proceso de maduración de la materia orgánica.	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Municipios que conforman el estado de Hidalgo.....	19
Tabla 2 Provincias Geológicas de México.....	20
Tabla 3 Síntesis estratigráfica y geológico-petrolera del estado de Hidalgo.....	57-62
Tabla 4 Información sobre los pozos de perforación del estado de Hidalgo.....	64-65
Tabla 5 Información sobre los campos petroleros del estado de Hidalgo.....	81
Tabla 6 Información sobre las asignaciones vigentes del estado de Hidalgo.....	83

Resumen

Hoy en día, el territorio mexicano tiene una fuerte dependencia hacia los hidrocarburos, lo cual ha generado gran cantidad de investigaciones y exploraciones por todo país con el propósito de encontrar yacimientos de estos recursos que puedan ser aprovechadas a futuro.

La presente tesis, tiene como objetivo describir la historia de la geología del petróleo y conocer los sitios de interés para la búsqueda de hidrocarburos en el estado de Hidalgo.

Con esa finalidad, se realizó una búsqueda y recopilación de información que reúne el panorama del petróleo y gas en el estado de Hidalgo, la cual se obtuvo de trabajos como boletines, textos de divulgación científica, páginas web e informes de instituciones y autores afines.

Los resultados de dicha investigación muestran que en Hidalgo existen 15 Formaciones geológicas distribuidas en tres sistemas petroleros, las cuales tuvieron las condiciones geológicas adecuadas que permitieron la formación y acumulación de hidrocarburos hace millones de años. El gran interés por la exploración petrolera en el estado se ve reflejada con la perforación de 27 pozos entre los años 1957-1990, donde en 12 de ellos se encontró presencia de hidrocarburos (aceite o gas). También existe 1 campo con reserva y 3 áreas con recursos; los cuales son los campos petroleros Pastoría, Candelaria, Atlapexco y Cardona respectivamente. Así mismo, hoy en día Hidalgo cuenta con 4 asignaciones vigentes para realizar trabajos de exploración y/o extracción de hidrocarburos las cuales son AR-0266-M - Campo Pastoría, AE-0122-M - TAMPICO MISANTLA, AE-0179 – MAGUEY y AE-0181 – KUKNI.

Se concluye que las zonas de mayor interés para retomar a futuro la exploración y explotación petrolera es al noreste del estado, en el área de la cuenca Tampico-Misantla (si lo que se busca es aceite), y sobre el pie de montaña del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental (si lo que se busca es gas).

Palabras clave: exploración, explotación, Formación, sistema petrolero, pozo, campo petrolero, asignación.

Abstract

Nowadays, the Mexican territory has a strong dependence on hydrocarbons, which has generated a large amount of investigations and explorations all over the country with the purpose of finding oil and gas reservoirs that can be exploited in the future.

The following thesis, has the objective to describe the history of petroleum geology and know the sites of interest for hydrocarbon search in the state of Hidalgo.

For this purpose, a research and compilation of information that gathers the oil and gas overview in the state of Hidalgo was made, which was obtained from files such as bulletins, specialized scientific journals, web pages and reports from related institutions and authors.

The results of the investigation shows in Hidalgo there is an existence of 15 geological Formations distributed in three petroleum systems, which had the suitable geological conditions that have allowed the formation and accumulation of hydrocarbons that occurred million of years ago. The great interest in oil exploration in the state is shown by the drilling of 27 wellbores between the years 1957-1990, where the presence of hydrocarbons (oil or gas) was found in 12 of them. There is also 1 reserve field and 3 resource areas; which are the oil field Pastoría, Candelaria, Atlapexco and Cardona. Furthermore, nowadays Hidalgo has 4 assignments to carry out hydrocarbon exploration and/or extraction, which are AR-0266-M - Campo Pastoría, AE-0122-M - TAMPICO MISANTLA, AE-0179 – MAGUEY and AE-0181 – KUKNI.

In conclusion, the areas of greatest interest to return to oil exploration and exploitation in the future are the northeast of the state, in the area of the Tampico-Misantla basin (if what you are looking for is oil), and on the foot of the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt (if what you are looking for is gas).

Keywords: exploration, exploitation, Formation, petroleum system, wellbore, oil field, assignment.

CAPITULO I - GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El petróleo es la principal fuente de energía usada a nivel mundial debido a que tiene un papel esencial en la economía, la sociedad y las relaciones internacionales (Colino-Martínez y Caro, 2010) y como menciona Salgado (2017) “su descubrimiento generó modernidad, avances industriales y nuevos empleos, transformando la vida de las personas y la riqueza de las naciones”.

La economía de México depende mucho de la industria petrolera nacional (Salas, 1958) debido a que el país decidió utilizar este recurso como palanca para su desarrollo (Villarreal, 1981). Actualmente se le considera como un país petrolero (Santamaría-Orozco, 2008), pues desde la época de los Olmecas (Borja, 2008) hasta la actualidad (Solís, 2021) se ha visto beneficiado de los yacimientos petrolíferos que se encuentran presentes a lo largo de varias Provincias Geológicas del país (González-García y Holguín-Quíñonez, 1992). Dichos yacimientos son prácticamente el sostén de su economía (Salgado, 2017).

Durante al menos cinco décadas, México ha sido productor de petróleo con una fuerte dependencia económica de las exportaciones (Gutiérrez-Rodríguez, 1979), comenzando hace 110 años exportando 900,000 barriles (Uthoff-López, 2010). La situación de ser dependiente de las exportaciones no ha sido la mejor base para una política económica dada la volatilidad de los precios internacionales (Salgado, 2017) y esto se puede ver reflejado en la actualidad debido a la crisis del SARS-CoV-2, la cual ha contribuido a que los precios mundiales del petróleo y el gas sean mucho más bajos y volátiles (Morales, 2021). Además de ser un país exportador, en años recientes se invirtió la situación y se volvió importador neto de hidrocarburos refinados provenientes principalmente de Estados Unidos (Sígler, 2017).

En la actualidad el petróleo en México continúa siendo una mercancía estratégica para su crecimiento económico y en la relación comercial, financiera y de seguridad nacional (Colmenares, 2008), pero en los últimos años las reservas probadas de petróleo crudo y gas natural han disminuido considerablemente (PEMEX, 2020). En el año 2008 se tenía reservas probadas de petróleo crudo equivalentes a 11,866 millones de barriles (PEMEX, 2009), y para el año 2020 este valor disminuyó a 7,319 millones de barriles, lo cual posiciona a México en el puesto #20 en el ranking mundial (PEMEX, 2020). En cuanto a reservas probadas de gas natural, en el año 2008 se tenían registradas 12 billones de pies cúbicos (PEMEX, 2009), y 12 años después disminuyó a 6 billones de pies cúbicos, quedando en el puesto número #41 en el mismo ranking mundial (PEMEX, 2020).

Actualmente 70 empresas (33 de ellas mexicanas) hacen exploraciones por todo el territorio mexicano buscando sitios con potencial para la extracción de estos recursos (Solís, 2018) y con el continuo desarrollo de tecnología aplicada a la industria petrolera (Liang, 2019), la exploración de petróleo crudo y gas natural en México y el mundo se ha

comenzado a expandir rápidamente desde las zonas marinas profundas y ultra-profundas (Sun *et al.*, 2019) hasta las zonas intermedias, someras y continentales (Solís, 2018).

Actualmente la región más productiva de petróleo es la zona sur del Golfo de México (Santamaría-Orozco, 2008) y se piensa que debe haber notables reservas en la plataforma continental, pero debido a diversos problemas la mayoría de ellas aún no han sido localizados y explotados (Servicio Geológico Mexicano, 2017), aunque ya existen algunas licitaciones en la parte continental, pues el gobierno de nacional ofertó 14 áreas terrestres contractuales el 12 de julio de 2017 en las provincias de Burgos, Tampico-Misantla, Veracruz y Cuencas del Sureste, y los ganadores de la licencia fueron las empresas: Iberoamericana y PJP4, Newpek y Verdad, Jaguar, Carso Oil, Shandong, Sicoval y Nuevas soluciones (Solís, 2018).

El petróleo de México ha sido generado en ambientes sedimentarios asociados a litologías de lutitas, calizas, lutitas-calcáreas y areniscas del Jurásico Superior, Cretácico, Paleógeno y Neógeno (González-García y Holguín-Quiñonez, 1992) y como afirma Santamaría-Orozco (2008), las edades cronoestratigráficas de mayor importancia en México son el Oxfordiano, Kimmeridgiano y Titoniano (Jurásico Superior). Tomando esto en cuenta, son las rocas de estos periodos y litologías los que tienen un mayor interés por la industria petrolera cuando se pretende realizar exploración de zonas potenciales para extraer hidrocarburos.

Debido a que la mayoría de los hidrocarburos son extraídos del Golfo de México y que los valores de las reservas están empezando a disminuir considerablemente (PEMEX, 2020), resulta necesario realizar exploraciones en otras zonas del país, incluyendo a zonas continentales, y uno de los estados que podría resultar atractivo a futuro es Hidalgo debido a que sus condiciones geológicas permitieron la formación de hidrocarburos en dicho territorio hace millones de años.

Por este motivo se generó la presente tesis, ya que hasta la fecha no se ha publicado un trabajo que reúna de manera completa el panorama del petróleo y gas en Hidalgo debido a que la información se encuentra de manera dispersa. Así mismo esta tesis pretende dar a conocer la importancia que tiene el estado de Hidalgo, ya que, en comparación con otros estados, este no forma parte del panorama petrolero a nivel nacional.

1.2 ANTECEDENTES

En el área que comprende las Provincias Geológicas del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental (CPSMO) y Tampico-Misantla (T-M) (especialmente en esta última), se han realizado estudios y publicaciones hechas por investigadores e instituciones gubernamentales y privadas.

Es necesario aclarar que muchas de las publicaciones consultadas fueron referentes a la Provincia Geológica denominada Plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP), ya que la descripción original de Carrillo-Bravo (1971) y posteriormente López-Doncel (2003), indican que esta Provincia tenía límites que se extendían hasta el norte del estado de Hidalgo (llegando hasta el área de Metztlán, Hgo.), pero actualmente esta misma se limita principalmente a la porción centro-oriental del estado de San Luis Potosí (Aranda-García *et al.*, 2010) debido a que es considerada como una de las cinco Provincias morfo-estructurales que integran al CPSMO (Patiño-Ruiz *et al.*, 2013), por este motivo se decide incluir dichos trabajos.

En gran parte del siglo XX, la empresa Petróleos Mexicanos (PEMEX) realizó excursiones geológicas que mostraron los conocimientos estratigráficos y estructurales alcanzados por la industria petrolera en ambas Provincias Geológicas, pero desafortunadamente la mayoría de estos trabajos son inéditos (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000). Tal es el caso del Informe Geológico del Prospecto Zongolica-Huautla (I.G.P.R. 111), Estudio Estratigráfico de Detalle de Formaciones del Cretácico Superior y Medio-Área de Córdoba. Ver., Informes Finales de pozos exploratorios, todos ellos publicados por PEMEX (González-Alvarado, 1976), pero hasta la fecha continúan como inéditos.

En lo que concierne a la exploración de hidrocarburos sobre el área correspondiente al CPSMO, las publicaciones comienzan en el siglo XX, una de ellas se remonta a inicios de la década de 60's, siendo el trabajo de la Sociedad Geológica de *Corpus Christi* en 1963 donde se afirma que las Formaciones Tamaulipas Superior, El Abra y Tamabra contienen importantes acumulaciones de petróleo. Estas Formaciones se encuentran ampliamente distribuidas en el CPSMO, principalmente en el sector de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, llegando hasta el área de Metztlán, Hidalgo (López-Doncel, 2003).

Años más tarde, Carrillo-Bravo (1971) publicó uno de los trabajos de mayor importancia al describir la geología de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. Por medio del análisis de datos de prospección geológico-superficial, de subsuelo y geofísica hizo una evaluación e interpretación de la información geológica que tenía de la PVSLP. Con los resultados de la interpretación enunciada estableció que las áreas de mayor interés petrolífero son las zonas marginales. La zona sur de dicha Provincia anteriormente comprendía una porción del norte del estado de Hidalgo.

Con el objeto de evaluar las posibilidades petroleras del CPSMO, Petróleos Mexicanos, en 1993, decidió realizar el estudio integral (NEM 1032) de esta provincia, definir sus límites y proponer los modelos geológicos, capaces de orientar la exploración de hidrocarburos (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000).

La Investigación de Valencia-Islas (1996) titulada “Implicaciones de la historia térmica de la Plataforma-Valles San Luis Potosí en la distribución de los hidrocarburos y yacimientos minerales” dividió a la plataforma en tres zonas: la zona occidental donde es poco favorable para la exploración de hidrocarburos; la zona central que sería una región de transición correspondiente a la generación de gas seco y finalmente la zona oriental, en la cual estaría en el dominio de los hidrocarburos líquidos. Cabe destacar que, en esta división, la zona central y oriental comprenden una parte del territorio del norte del estado de Hidalgo.

Mientras tanto, en la Provincia Geológica de T-M se han realizado considerablemente más investigaciones debido a que se le considera de primera importancia desde el punto de vista del potencial de recursos asociados a los yacimientos no convencionales de lutitas orgánicas de México (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b).

De acuerdo con una publicación del año 2018, la revista “Oil & Gas” menciona que la exploración en la Provincia T-M dio inicio alrededor del año 1860, mientras que la explotación comenzó 44 años después, hasta 1904, con la perforación del pozo La Pez-1 en la parte norte, iniciando así la producción comercial de México en calizas fracturadas del Cretácico (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

Según la información publicada por la Comisión Nacional de Hidrocarburos, en el estado de Hidalgo la exploración de la Provincia T-M comenzó específicamente el 17 de junio de 1957, ya que se realizó la perforación del pozo petrolero exploratorio en el municipio de Huautla, el cual fue nombrado como Tecoloco No. 1. La perforación se hizo con una trayectoria vertical de 1575.50 metros. Se reportó aceite, pero no se reportó en que cantidades. La perforación terminó el 15 de octubre de 1957 y en la actualidad el pozo se encuentra cerrado.

Durante 33 años en Hidalgo se hicieron otras 26 perforaciones con la finalidad de encontrar hidrocarburos, y en 1990 se hizo la última perforación registrada en el estado con el pozo exploratorio Cuachiquitla No. 101 en el municipio de Huautla. Comenzó el 14 de febrero de 1990 y terminó 150 días después. La profundidad a la que se llegó con una trayectoria vertical fue de 3433 metros, pero no se reportó la presencia de hidrocarburos. Actualmente se encuentra cerrado.

Una publicación de gran importancia fue la que se realizó en el año 2001 por Guzmán-Vega *et al.* (2001) en la cual, por medio de varios análisis geoquímicos realizado en muestras de aceite y rocas generadoras pudieron distinguir dos familias de aceite que se encuentran presentes en la Provincia T-M. Estas familias son de ambiente marino y con una litología dominada por margas, pero la primera es de edad oxfordiana y la segunda de edad titoniana.

Actualmente la Comisión Nacional de Hidrocarburos ha reportado que sobre la Provincia T-M se perforaron 10,470 pozos, de los cuales 10,191 son continentales, 14 lacustres y 265 marinos. De ellos se ha extraído aceite, gas, aceite-gas y condensado (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

1.3 HIPÓTESIS

Si en el estado de Hidalgo se dieron las condiciones geológicas necesarias para generar y almacenar hidrocarburos que hayan sido estudiados y aprovechados, entonces deberá ser posible encontrar registros, escritos, estudios, infraestructura y otro tipo de información que demuestren que hubo un interés por la exploración petrolera en el estado, o al menos contribuir con un panorama claro.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Generar una reseña bibliográfica en la cual se describa la historia de la geología del petróleo y se conozcan los sitios que fueron o son estudiados y explorados para la búsqueda de hidrocarburos en el estado de Hidalgo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recuperar información de archivos, boletines, artículos de revista, páginas web e informes de fuentes como Pemex, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Servicio Geológico Mexicano, Comisión Nacional de Hidrocarburos e instituciones y autores afines.
- Organizar la información sobre los periodos, épocas y edades estratigráficas que estén asociadas a la generación y acumulación de hidrocarburos en México y en Hidalgo.
- Registrar las principales Formaciones geológicas que forman parte de algún sistema petrolero y puedan ser de interés para el estado de Hidalgo.
- Clasificar los tipos de trampa que se encuentran en las rocas almacenadoras de hidrocarburos.
- Describir las principales características y ubicar de manera geográfica a los pozos que se hayan perforado en el estado de Hidalgo.
- Obtener y exponer la columna estratigráfica de un pozo de exploración conocido en el estado de Hidalgo o sus alrededores y describir las características geológicas que se encontraron dentro del pozo.

CAPITULO II - ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende a las Provincias Geológicas del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental (CPSMO) y Tampico-Misantla (T-M) que son de interés para la industria de los hidrocarburos, las cuales se distribuyen en la parte central y nororiental del estado de Hidalgo.

La zona de estudio tiene forma de polígono irregular y comprende un total de 49 municipios (Figura 1) de los 84 existentes en dicho estado (Tabla 1).

Los municipios que se abarcan de manera total son Atlapexco, Calnali, Cardonal, Chapulhuacán, Huautla, Huazalingo, Huehuetla, Huejutla de Reyes, Jacala de Ledezma, Jaltocán, Juárez Hidalgo, Lolotla, La Misión, Nicolás Flores, San Felipe Orizatlán, Pacula, Pisaflores, Tepehuacán de Guerrero, Tepetitlán, Tlahuiltepa, Tlanchinol, Xochiatipan y Yahualica.

De manera parcial se abarcan los municipios de Agua Blanca de Iturbide, Ajacuba, Atitalaquia, Atotonilco el Grande, Atotonilco de Tula, Chilcuautila, Eloxochitlán, Francisco I. Madero, Ixmiquilpan, San Agustín Metzquititlán, Metztitlán, Mixquiahuala de Juárez, Molango de Escamilla, Progreso de Obregón, San Bartolo Tututepec, San Salvador, Santiago de Anaya, Tasquillo, Tecozautla, Tenango de Doria, Tianguistengo, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Xochicoatlán, Zacualtipán de Ángeles y Zimapán.

Debemos recordar que la geología es complicada y esta no respeta ni conoce fronteras o límites políticos, por este motivo también se contemplan regiones adyacentes del centro-oriente de México para una mejor comprensión del tema.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

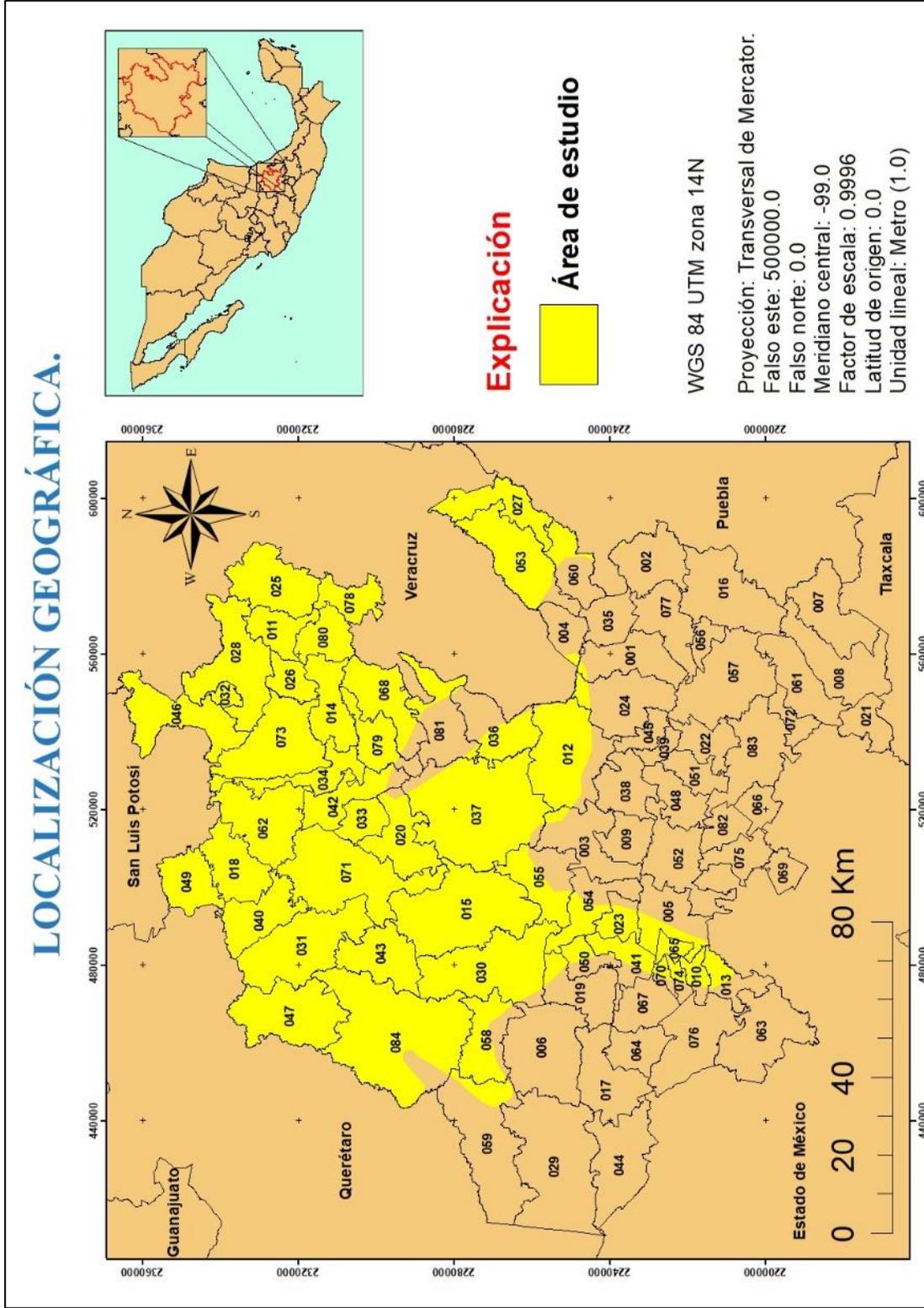


Figura 1 Área de estudio. Modificado de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020) y Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

Municipios que conforman el estado de Hidalgo.		
001 Acatlán	031 Jacala de Ledezma	059 Tecozautla
002 Acaxochitlán	032 Jaltocán	060 Tenango de Doria
003 Actopan	033 Juárez Hidalgo	061 Tepeapulco
004 Agua Blanca de Iturbide	034 Lolotla	062 Tepehuacán de Guerrero
005 Ajacuba	035 Metepec	063 Tepeji del Río de Ocampo
006 Alfajayucan	036 San Agustín Metzquititlán	064 Tepetitlán
007 Almoloya	037 Metzquititlán	065 Tetepango
008 Apan	038 Mineral del Chico	066 Villa de Tezontepec
009 El Arenal	039 Mineral del Monte	067 Tezontepec de Aldama
010 Atitalaquia	040 La Misión	068 Tianguistengo
011 Atlapexco	041 Mixquiahuala de Juárez	069 Tizayuca
012 Atotonilco el Grande	042 Molango de Escamilla	070 Tlahuelilpan
013 Atotonilco de Tula	043 Nicolás Flores	071 Tlahuiltepa
014 Calnali	044 Nopala de Villagrán	072 Tlanalapa
015 Cardonal	045 Omitlán de Juárez	073 Tlanchinol
016 Cuauhtepic de Hinojosa	046 San Felipe Orizatlán	074 Tlaxcoapan
017 Chapantongo	047 Pacula	075 Tolcayuca
018 Chapulhuacán	048 Pachuca de Soto	076 Tula de Allende
019 Chilcuautla	049 Pisaflores	077 Tulancingo de Bravo
020 Eloxochitlán	050 Progreso de Obregón	078 Xochiatipan
021 Emiliano Zapata	051 Mineral de la Reforma	079 Xochicoatlán
022 Epazoyucan	052 San Agustín Tlaxiaca	080 Yahualica
023 Francisco I. Madero	053 San Bartolo Tutotepec	081 Zacualtipán de Ángeles
024 Huasca de Ocampo	054 San Salvador	082 Zapotlán de Juárez
025 Huautla	055 Santiago de Anaya	083 Zempoala
026 Huazalingo	056 Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	084 Zimapán
027 Huehuetla	057 Singuilucan	
028 Huejutla de Reyes	058 Tasquillo	
029 Huichapan		
030 Ixmiquilpan		

Tabla 1 Municipios que conforman el estado de Hidalgo. Tomado del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020).

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

2.1.1 Provincias Geológicas

De acuerdo con la actualización de la clasificación de Provincias Geológicas, el territorio de México se divide en cuarenta y ocho Provincias Geológicas de las cuales veintitrés son continentales, ocho son marinas y diecisiete son mixtas (Tabla 2) (Aranda-García *et al.*, 2010).

El estado de Hidalgo se encuentra dentro de tres Provincias Geológicas (Figura 2), las cuales representan la porción sudoriental CPSMO, la porción oriental de la Faja Volcánica Transmexicana y el límite meridional de T-M (Aranda-García *et al.*, 2010).

Nombre	Tipo de provincia		
	Continental	Marina	Mixta
1. Sabinas.	X		
2. Plataforma del Burro-Picachos.	X		
3. Burgos.			X
4. Alto de Tamaulipas.	X		
5. Tampico-Misantla.			X
6. Veracruz.			X
7. Complejo Volcánico de los Tuxtlas.	X		
8. Salina del Istmo.			X
9. Pilar Reforma-Akal.			X
10. Macuspana.			X
11. Plataforma de Yucatán.			X
12. Escarpe de Campeche.		X	
13. Salina del Bravo.		X	
14. Cinturón Plegado Perdido.		X	
15. Cinturón Extensional Quetzalcóatl.		X	
16. Cordilleras Mexicanas.		X	
17. Cinturón Plegado Catemaco.			X
18. Abisal del Golfo de México.		X	
19. Chihuahua.	X		
20. Plataforma de Coahuila.	X		
21. Parras-La Popa.	X		
22. Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental.	X		
23. Plataforma Valles-San Luis Potosí.	X		
24. Complejo Orogénico Zacatecano.	X		
25. Faja Volcánica de la Sierra Madre Occidental.	X		
26. Faja Volcánica Transmexicana.	X		
27. Complejo Vulcano-Sedimentario de Guerrero y			X
28. Guerrero-Morelos.	X		
29. Complejo Metamórfico Mixteco.	X		
30. Tlaxiaco.	X		
31. Complejo Metamórfico Zapoteco.	X		
32. Faja Metavolcánica Cuicateca.	X		
33. Batolito de Chiapas.	X		
34. Cinturón Plegado de Chiapas.	X		
35. Sonora.	X		
36. Cinturón Vulcano-Sedimentario de Sinaloa.	X		
37. Deltaica de Sonora-Sinaloa.			X
38. Batolito de Jalisco.			X
39. Complejo Metamórfico Xolapa.			X
40. Tehuantepec.			X
41. Golfo de California.			X
42. Trinchera Mesoamericana.		X	
43. Batolito de Juárez-San Pedro Mártir.	X		
44. Plataforma de Magdalena-Cedros.		X	
45. Vizcaíno-La Purísima-Iray.	X		
46. Faja Volcánica de la Giganta.			X
47. Complejo Plutónico de la Paz.			X
48. Complejo Orogénico de Cedros.			X

Tabla 2 Provincias Geológicas de México. Modificado de (Aranda-García *et al.*, 2010).

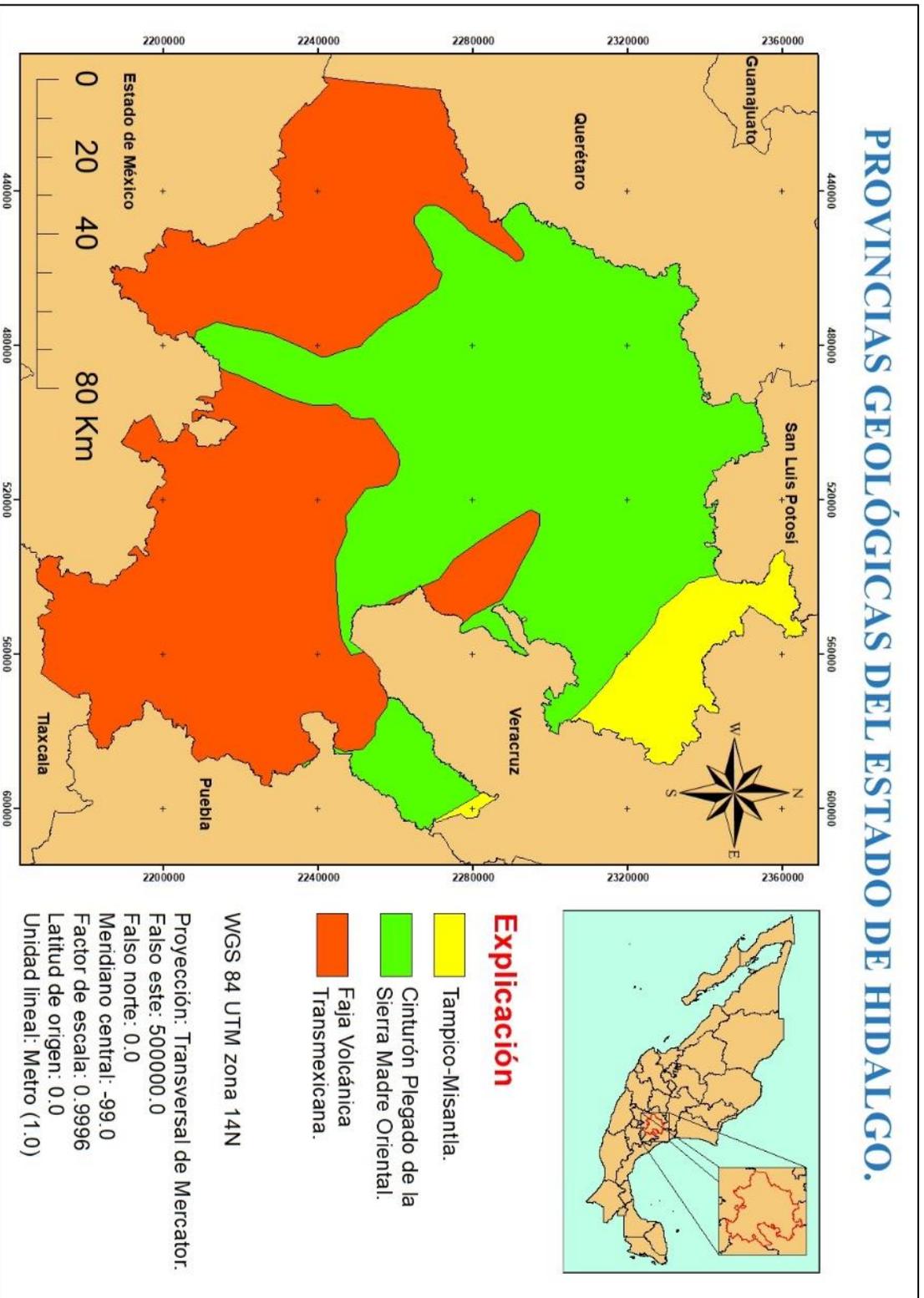


Figura 2 Límites de las Provincias Geológicas en el estado de Hidalgo según Aranda-García et al. (2010). Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

2.1.1.1 Tampico-Misantla (T-M)

La Provincia T-M se ubica en el oriente de México y comprende un segmento de la plataforma continental del Golfo de México y varios estados de la zona continental como Tamaulipas (sur), Veracruz (centro), San Luis Potosí (este), Puebla (norte) e Hidalgo (noreste) (Reyes-Hernández y Hernández del Ángel, 2012).

Esta Provincia se extiende al sur con el CPSMO y la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). El basamento metamórfico cristalino de T-M está cubierto por 31 Formaciones geológicas, de las cuales 13 son cenozoicas y las restantes 18 son Mesozoicas (López-Arriaga, 2013). La estratigrafía consiste principalmente de secuencias clásticas del Terciario poco deformadas, las cuales sobreyacen a rocas carbonatadas del Jurásico y Cretácico, alcanzando espesores de 6-7 km (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b). También existen algunas rocas ígneas extrusivas, las cuales se incrementan hacia el límite sur con la Faja Volcánica Transmexicana (Aranda-García *et al.*, 2010).

Debido a que esta Provincia cuenta con un sistema petrolero activo, se le considera por PEMEX y la Comisión Nacional de Hidrocarburos como “Provincia Petrolera Productora” (Figura 3).

A nivel nacional, esta Provincia es la primera en importancia desde el punto de vista del potencial de recursos prospectivos asociados a los yacimientos no convencionales en lutitas, con una estimación de 37 mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b).

Tectónicamente, la Provincia T-M es una cuenca de margen pasivo cuya geometría de bloques de basamento está relacionada a la etapa de apertura del Golfo de México y que evolucionó a una cuenca de antepaís formada en el Paleógeno, cuando el CPSMO fue emplazado al occidente de la cuenca (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

Las rocas generadoras corresponden con lutitas carbonatadas (margas) del Jurásico Inferior al Jurásico Medio; mudstone calcáreo arcilloso y lutitas del Jurásico Superior (Oxfordiano, Kimmeridgiano y Titoniano), siendo el último el más representativo. Sin duda la principal roca generadora en la cuenca es la Formación Pimienta del Jurásico Superior (Titoniano), pero las áreas prospectivas de esta Formación se encuentran a bastante profundidad (1400 - 3000 metros) en gran parte de la cuenca (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b).

Los hidrocarburos se encuentran en rocas almacenadoras de litologías como calizas y areniscas del Jurásico Medio, calizas oolíticas del Jurásico Superior (Kimmeridgiano), calizas arrecifales y de talud arrecifal del Cretácico Medio, calizas fracturadas del Cretácico Superior y las areniscas del Paleoceno-Eoceno y Neógeno. Las trampas son de tipo estructural, estratigráficas y combinadas (Secretaría de Energía, 2019).

Los *plays* principales que han establecido producción comercial en esta Provincia son: San Andrés (Kimmeridgiano), Pimienta (Jurásico Superior – Cretácico Inferior), Tamaulipas Inferior (Cretácico Inferior), San Felipe – Agua Nueva (Cretácico Superior),

Tamabra (Cretácico Medio), El Abra (Cretácico Medio), Chicontepec (Paleoceno – Eoceno), Formaciones del Mioceno – Plioceno (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

2.1.1.2 Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental (CPSMO)

También llamado Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas según la clasificación de Provincias Geológicas de Ortega-Gutiérrez *et al.* en 1992. El CPSMO forma la cadena de pliegues y fallas más extensa de México (Patiño-Ruiz *et al.*, 2013). Corresponde a una franja de estructuras anticlinales producidas por la orogenia Laramide, con una orientación muy bien definida que va norte-noroeste a sur-sureste. Está formada por rocas metamórficas y sedimentarias que van desde del Precámbrico, Paleozoico, Triásico, Jurásico y Cretácico (Aranda-García *et al.*, 2010).

Campa y Coney en 1983 denominaron a la SMO como el cinturón de pliegues y cabalgaduras mexicano, debido a que la estructura tectónica de esta Provincia se constituye de pliegues y fallas de tipo inverso. Así mismo forma parte de la Cordillera de Norteamérica, la cual se extiende desde el estado de Alaska, continua su camino por la parte occidental de Canadá y Estados Unidos e incluye a casi todo México (Chávez-Cabello, 2017). La manifestación fisiográfica de este largo cinturón de pliegues y cabalgaduras son Las Montañas Rocallosas (Canadá y Estados Unidos) y la Sierra Madre Oriental (México) aunque ambas con variaciones en el estilo de deformación (Tolson-Jones *et al.*, 2009).

Esta Provincia se divide seis sectores: San Pedro del Gallo (corresponde al extremo noroeste de la cadena plegada), Transversal de Parras (situado entre Jimulco y Saltillo, Coahuila), Saliente de Monterrey (se ubica desde el poniente de Monterrey, hasta Aramberri, Nuevo León), Plataforma de Valles (localizado entre Ciudad Victoria, Tamaulipas y Valles, San Luis Potosí), Huayacocotla (entre Tamazunchale y Teziutlán, Puebla) y Zongolica (ubicada al sur de la Faja Volcánica Transmexicana), cada sector se individualiza por variaciones en su estratigrafía y por deformación con dos estilos estructurales extremos (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000). Por este motivo es necesario aclarar que se toman en cuenta algunos trabajos que en décadas anteriores consideraban que la Plataforma de Valles-San Luis Potosí se extendía hasta el estado de Hidalgo (Corpus Christi Geological Society, 1963; Carillo-Bravo, 1971; Valencia-Islas, 1996).

Estratigráficamente, el CPSMO está compuesto por un basamento de rocas metamórficas (orto y paragneises) del supereón Precámbrico y la era Paleozoica. Este basamento está cubierto en su mayoría por rocas sedimentarias evaporíticas, clásticas y calcáreas que van desde el Jurásico Medio hasta el Paleógeno. También cubren a rocas ígneas plutónicas (granodioritas) de los arcos Permo-Triásico y Nazas del Jurásico y rocas clásticas continentales del Grupo Huizachal en el oriente del país (Chávez-Cabello, 2017).

Esta Provincia Geológica también está considerada por PEMEX y la Comisión Nacional de Hidrocarburos como “Provincia Petrolera con potencial medio-bajo” (Figura 3). En el

frente y pie de montaña del CPSMO hay numerosas manifestaciones de gas y aceite en superficie y subsuelo en varios *plays* (Eguiluz de Antuñano, 2017). Las rocas generadoras son del periodo Jurásico Superior, las rocas almacén son siliciclastos y carbonatos de los periodos Jurásico y Cretácico (Secretaría de Energía, 2019). Las trampas laramídicas que obstaculizan la migración del hidrocarburo son de tipo mixtas (estructurales y estratigráficas) principalmente por anticlinales, cambio de facies y acunamiento (Eguiluz de Antuñano, 2017). Las áreas más atractivas para la exploración en el CPSMO se limitan a sus frentes sepultados (Secretaría de Energía, 2019).

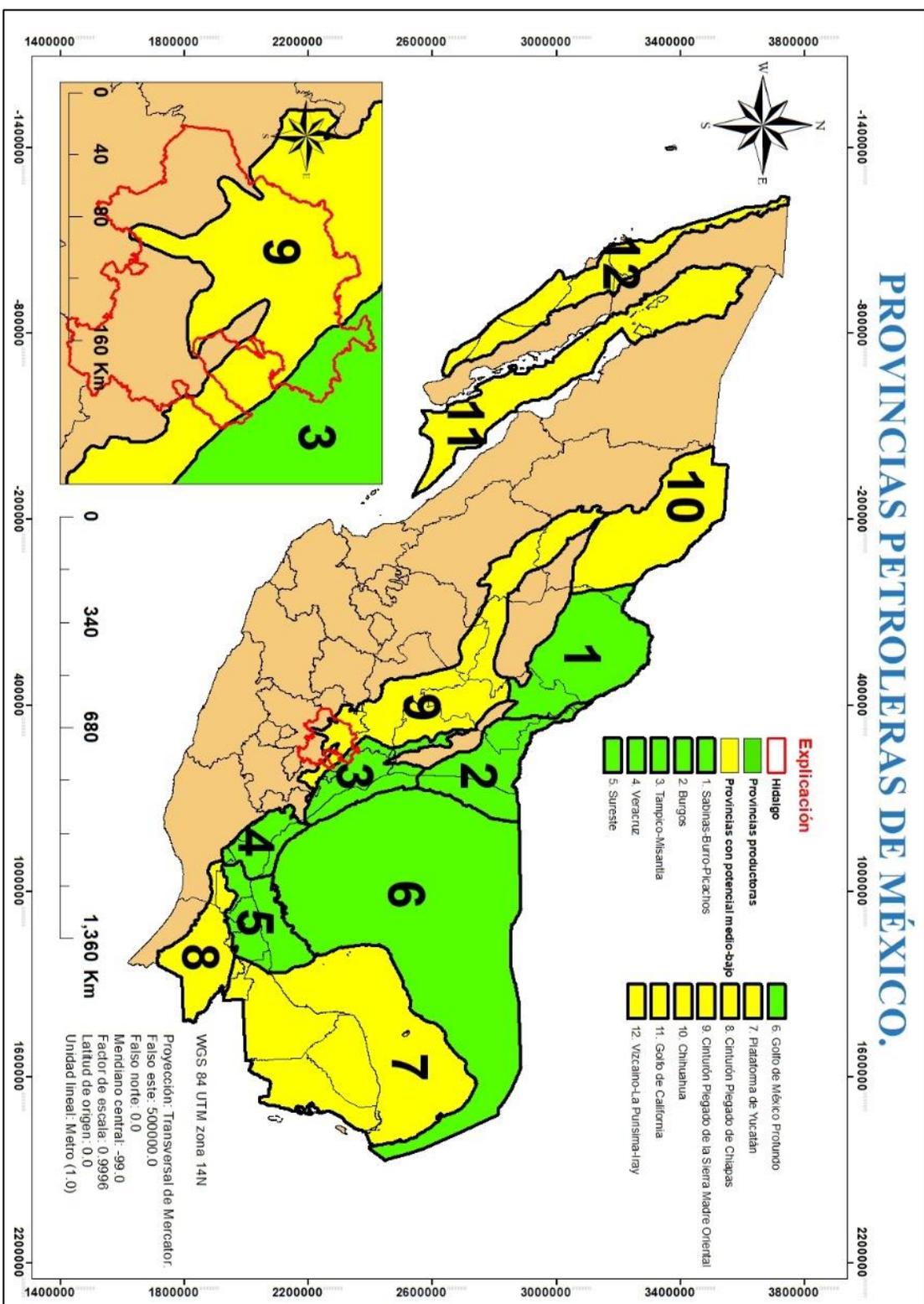


Figura 3 Límites de las Provincias Petroleras de México e Hidalgo según Aranda-García et al. (2010). Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

2.1.2 Terrenos Tectonoestratigráficos

Según Campa y Coney (1983) y Sedlock *et al.*, (1993), México está delimitado por Terrenos Tectonoestratigráficos que se encuentran limitados por grandes fallas, las cuales están compuestas por secuencias verticales de conjuntos petrotectónicos y están reunidas por una historia que difiere de los Terrenos adyacentes

El estado de Hidalgo se encuentra en la confluencia de los Terrenos Sierra Madre (SMO) (el cual no debemos confundir con la Provincia Geológica del CPSMO), Eje Volcánico Transmexicano (TMV), Guerrero (G) y Maya (M) (Figura 4).

Debido a que los Terrenos y sus límites están definidos mediante la distribución de uno o más ensambles o conjuntos tectónicos, así como las fallas conocidas o inferidas lo separan de los Terrenos adyacentes, no se sabe con exactitud si en Hidalgo existe la presencia del Terreno Maya (Campa y Coney, 1983; Sedlock *et al.*, 1993).

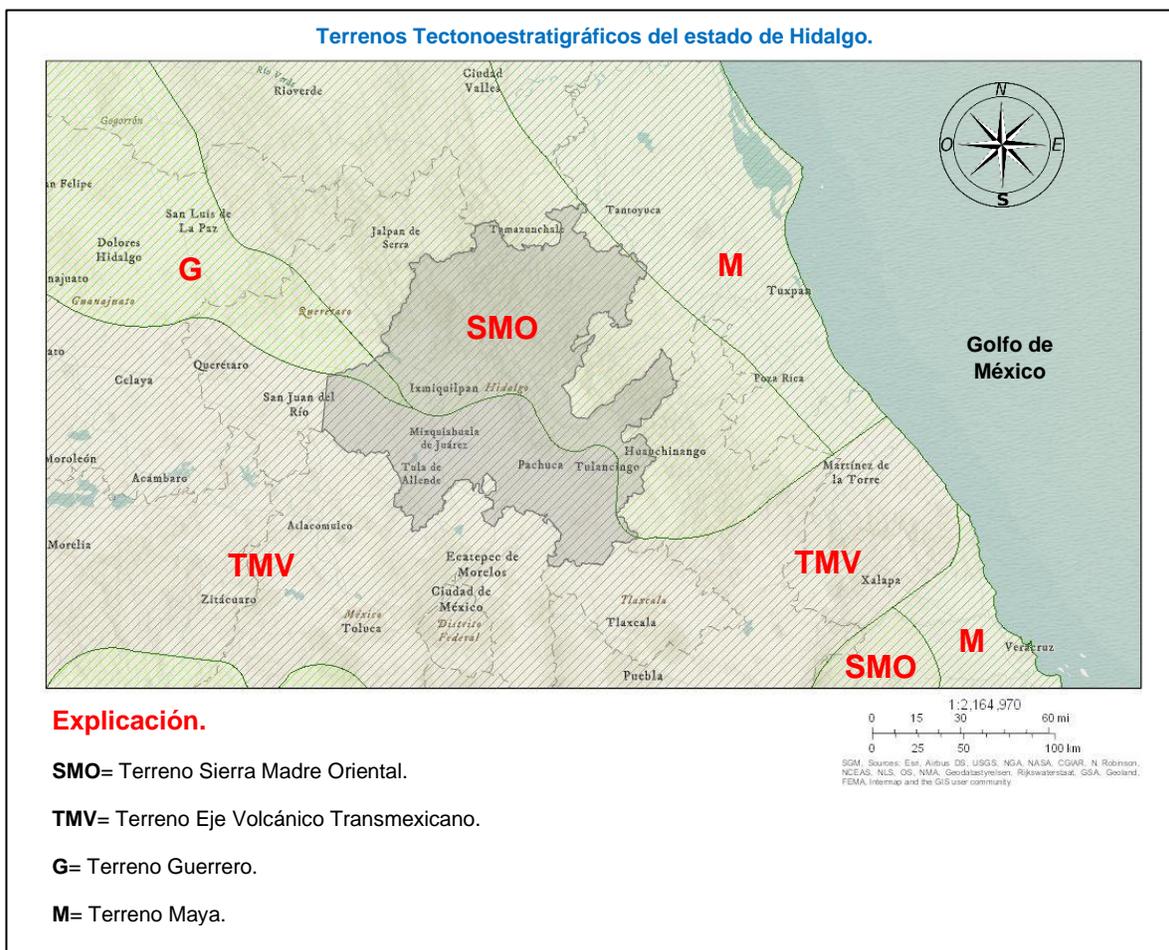


Figura 4 Límites de los Terrenos Tectonoestratigráficos en el estado de Hidalgo según Campa y Coney (1983). Modificado de Servicio Geológico Mexicano (2022).

2.1.2.1 Terreno Sierra Madre (SM)

El Terreno SM se distribuye por la parte central y noreste de estado. Está formado principalmente una secuencia de calizas, lutitas y areniscas del Mesozoico Superior plegadas e imbricadas por fallas de empuje de la secuencia transgresiva suprayacente del Golfo de México, deformada durante la orogenia Laramide del Cretácico Superior al Paleógeno Inferior (Castillo-Nieto, 2012; Campa y Coney, 1983).

La SM tiene una orientación preferencial norte-noroeste a sur-sureste; sin embargo, cambia su tren estructural de una dirección este-oeste, cerca de Saltillo, a una dirección noreste, al noreste de Saltillo; y una dirección este-oeste, cerca de Monterrey, a una dirección sureste, al oeste de Linares (Padilla-Sánchez, 1985).

2.1.2.2 Terreno Eje Volcánico Transmexicano (TMV)

El Terreno TMV se extiende a través de México desde el estado de Nayarit hasta el sur de Veracruz (Sedlock *et al.*, 1993) y se presenta en la porción sureste de Hidalgo. Se encuentra formado por una secuencia de rocas volcánicas de carácter calco-alcalino (Bustamante-García, 2011) como andesitas y dacitas, las cuales fueron emitidas a través de un importante número de aparatos volcánicos (Castillo-Nieto, 2012).

Las rocas volcánicas están ligadas a la subducción de las placas de Cocos y Rivera, pero en aspectos como amplitud, continuidad y distancia de la fosa, este arco se considera atípico con respecto a otros arcos volcánicos continentales (Sedlock *et al.*, 1993).

El Terreno TMV es más joven que otros Terrenos, por ese motivo “cruza” los límites de Terrenos más antiguos, como en el caso del Terreno Maya (Campa y Coney, 1983).

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

2.2.1 Precámbrico

1. *Gneis Huiznopala.*

- **Edad:** Proterozoico, Mesoproterozoico (Ectasiano - Steniano).
- **Localidad tipo:** Valle de Arroyo de Agua de Sal y sus afluentes, en el municipio de Lolotla, Hidalgo (Servicio Geológico Mexicano, 2012b).
- **Litología:** Es un gneis constituido por feldespato (ortoclasa y plagioclasa) sericitizado, biotita verde parcialmente cloritizada y poco cuarzo (Conde-Asiain, 2013); contiene minerales accesorios como apatito y zircón y su textura es blastomilonítica (Servicio Geológico Mexicano, 2012b).
- **Distribución:** Únicamente presente en el estado de Hidalgo. Se encuentra aflorando en los municipios de Lolotla, Tlanchinol, Molango de Escamilla y en las cercanías de la comunidad de Chapula (Tianguistengo) (Servicio Geológico Mexicano, 2007k).
- **Ambiente tectónico:** La historia geológica de esta unidad se puede dividir en dos etapas: La primera corresponde a un magmatismo de arco (se extiende desde ~1200 a 1153 m.a.); la segunda etapa incluye eventos magmáticos y termales (de ~1200 m.a.) (Lawlor *et al.*, 1999).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** No establecida.

2.2.2 Mesozoico

2. *Formación Huizachal.*

- **Edad:** Triásico Superior (Nórico) - Jurásico Inferior (Hettangiano).
- **Localidad tipo:** Se localiza en el Valle del Huizachal, aproximadamente 20 kilómetros al suroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas (Servicio Geológico Mexicano, 2006a).
- **Litología:** De manera general, es una secuencia sedimentaria de lutitas, lutitas arenosas, lutitas calcáreas, areniscas de grano fino y conglomerados de color rojo, verde y gris verdoso, (predominando el color rojo), la cual en algunas ocasiones sobrepasa los 2 kilómetros de profundidad. Las capas rojas que afloran en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas están constituidas principalmente por estrados de espesor medio de limolitas de color rojo y gris verdoso (Carrillo-Bravo, 1971).
Es importante señalar que, en algunas zonas, la Formación Huizachal se encuentra afectada por cuerpos ígneos intrusivos como diques y sills; también hay actividad ígnea extrusiva registrada, como flujos de basalto y diabasa.
- **Distribución:** En los estados de Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo y Veracruz.

En Hidalgo aflora en el municipio de Zacualtipán de Ángeles (específicamente en la localidad de San Francisco Tlahuelompa), San Bartolo Tutotepec y Huehuetla (Servicio Geológico Mexicano, 2006a).

- **Contenido paleontológico:** De acuerdo con el Léxico Estratigráfico de México, el contenido fósil descrito por diversos autores está representado por:
Plantas: *Laurozamites yaqui*. Especies correspondientes a un grupo de *benettitaleas* que requieren revisión, asignadas algunas veces a *Ctenophyllum braunianum*, s.l. y *Elatocladus ex. gr. carolinensis*. En la Formación Huizachal se han colectado fragmentos cuestionables de *Podozamites sp.*
 Se destaca que ninguna de estas especies de plantas fósiles colectadas en la Formación Huizachal ha sido encontrada en estratos del Jurásico de México (Weber, 1997).
- **Ambiente de depósito:** La Formación estratigráfica corresponde a sedimentos de tipo continental, depositados en fosas tectónicas (Carrillo-Bravo, 1971). Por otro lado, las capas rojas del Triásico Superior - Jurásico Inferior en la parte más oriental de México fueron depositadas en una cuenca tipo rift durante la apertura del proto-Golfo de México, la cual estaba asociada al rompimiento de Pangea (Servicio Geológico Mexicano, 2006a).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Ninguna (PEMEX, 1988).

3. Formación Huayacocotla.

- **Edad:** Jurásico Inferior (Sinemuriano - Pliensbachiano).
- **Localidad tipo:** Huayacocotla, Veracruz; a lo largo del río Vinasco.
- **Litología:** De manera general, la litología está compuesta por lutita de tonalidades oscuras, la cual está intercalada con areniscas cuarzosas, conglomerado y lentes de caliza. Hay materia vegetal en la parte inferior y superior de la Formación, mientras que exclusivamente en la cima de esta hay algo de carbón.
- **Distribución:** En los estados de Veracruz, Hidalgo, Puebla y San Luis Potosí. En Hidalgo se ha registrado en los municipios de Tlanchinol, Tianguistengo, Zacualtipán de Ángeles (específicamente en la localidad de San Francisco Tlahuelompa), Molango de Escamilla, Tenango de Doria (en la localidad de Temapá), Tepehuacán de Guerrero (en la localidad de Otongo) (Servicio Geológico Mexicano, 2012a) y Metztitlán (Esquivel-Macías *et al.*, 2008).
- **Contenido paleontológico:** El contenido paleontológico descrito en esta Formación por varios investigadores se encuentra dominado por:
Amonites: *Paltechioceras cf. mexicanum*, *P. rothpletzi*, *Ortechioceras incaguasiense*, *Coroniceras? (Metophioceras) aff. conybeari auct.*, *Phylloceras sp.*, *Sulciferites? cf. Stenorhynchus* (Esquivel-Macías *et al.*,

2005), *Paltechioceras* sp, *P. tardecrescens*, *P. burckhardti*, *P. harbledownense*, *Orthechioceras jamesdanae*, *O. incaguasiense*, *O. pauper*, *Plesechioceras cihuacoatl*, *Arnioceras ceratitoides*, aff, *Metophioceras* sp. (Arenas-Islas et al., 2009). También se reportan los géneros *Vermiceras*, *Coroniceras*, *Oxynoticeras*, *Echioceras* y *Microderoceras* (PEMEX, 1988).

Plantas: cicadófitas (*Otozamites hespera*, *Ptilophyllum acutifolium* Zamites sp.), coníferas (*Cheirolepis* sp., *Podozamites* sp.) y helechos (*Plazopteris*) (Erben, 1956).

Bivalvos: *Posidontis semiplicata* (Esquivel-Macías et al., 2005), *Neocrassina* sp, *Plagiostoma* sp, *Bositra* sp, *?Parainoceramus* sp, *Posodonotis semiplicata* (Arenas-Islas et al., 2009).

Crinoides: Corresponden a isocrinidos bentónicos (*Isocrinidae*) y pseudoplanctónicos (*Pentacrinitidae*) (Esquivel-Macías et al., 2005).

- **Ambiente de depósito:** De acuerdo con la investigación realizada por PEMEX (1988) se establece que debido al contenido fósil dominado por amonites y bivalvos, el ambiente de depósito corresponde a una zona marina somera de baja energía (plataforma continental).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** La parte superior de la Formación en cuestión es considerada como potencialmente generadora de hidrocarburos (PEMEX, 1988).

4. Formación Cahuwasas.

- **Edad:** Jurásico Medio (Aaleniano - Bathoniano).
- **Localidad tipo:** En el Rancho Cahuwasas, Hidalgo, sobre el Río Amajac, al sureste de Chapulhuacán, Hidalgo (Servicio Geológico Mexicano, 2007i).
- **Litología:** La Formación está compuesta de conglomerados de areniscas y lutitas de color rojo y grano fino, en algunas partes se encuentra con intercalaciones de medianas a gruesas de brechas y conglomerados de areniscas; en menor proporción contiene horizontes de bentonitas y lutitas (Hernández-Medina, 2014).
- **Distribución:** En los estados de Hidalgo, Veracruz y Puebla (Servicio Geológico Mexicano, 2007i). La Formación Cahuwasas se encuentra aflorando en la porción central del CPSMO y en el subsuelo de la Cuenca T-M (PEMEX, 1988). En el estado de Hidalgo se le puede hallar puntualmente en los municipios de Tianguistengo, Huehuetla, al sureste de Chapulhuacán (Servicio Geológico Mexicano, 2007i) y Tenango de Doria (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2013).
- **Contenido paleontológico:** En la perforación de los Pozos Guayabas-1, Comales-102 y Piedra de Cal-8 sobre la Formación en cuestión se reportaron los siguientes fósiles:

Plantas terrestres: *Equisetites* sp., *Ptilophyllum* sp. y *Yuccites* sp.

- **Ambiente de depósito:** Los lechos rojos de esta Formación fueron acumulados como abanicos aluviales y como depósitos fluviales y

lacustres; además estos lechos rojos se encuentran sobreyaciendo a la Formación Huayacocotla (marina), lo cual es indicativo de una regresión durante la parte temprana del Jurásico Medio (Servicio Geológico Mexicano, 2007i).

- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Debido a que sus rocas son originadas en un ambiente continental, es posible que funcionen como rocas almacenadoras o sello (Hernández-Medina, 2014).

5. Formación Tepexic

- **Edad:** Jurásico Medio (Bathoniano Superior - Calloviano Medio).
- **Localidad tipo:** Ubicada en el puente de Mampostería de Acazapa, aguas abajo de la planta Tepexic, Presa Encasa, norte del estado de Puebla (Servicio Geológico Mexicano, 2007b).
- **Litología:** Representada por una secuencia de calizas arcillosas de color gris a gris oscuro, calizas con terrígenos, oolitas, así como calcarenitas de color gris oscuro (Araujo-Mendieta, 1978).
- **Distribución:** Principalmente en los estados de Puebla e Hidalgo, pero también se ha reportado en el estado de México, Tamaulipas y Veracruz. Los afloramientos del estado de Hidalgo están reportados en los municipios de Huehuetla, Pisaflores, Tepehuacán de Guerrero, Metztitlán, Chapulhuacán, Molango de Escamilla y Zacualtipán.
- **Contenido paleontológico:** Se encuentra representado por pelecípodos y amonites de los siguientes géneros:
Pelecípodos: *Ostrea*, *Liogryphaea* y *Gryphaea*.
Amonites: *Neuquenicerias* y *Reinekeia*.
 (Servicio Geológico Mexicano, 2007b).
- **Ambiente de depósito:** La unidad representa depósitos marinos de transgresión; además la fauna encontrada (pelecípodos y amonites) indican que fue depositada en las cercanías de la costa, o en las partes algo más profundas del litoral (Erben, 1956)
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Por las características físicas de los carbonatos, se puede considerar a las calizas de esta Formación como posibles rocas almacén de hidrocarburos (PEMEX, 1988).

6. Formación Santiago.

- **Edad:** Jurásico Medio (Calloviano) - Jurásico Superior (Oxfordiano).
- **Localidad tipo:** Se encuentra Tamán, San Luís Potosí, sobre la ladera oeste del Río Moctezuma, cerca de la desembocadura del arroyo Santiago del cual proviene el nombre de la misma (Servicio Geológico Mexicano, 2008a).
- **Litología:** La Formación está dividida en dos miembros; el inferior se caracteriza por su litología de limolitas calcáreas y algunos horizontes

calcáreos, y el superior se encuentra compuesto de lutitas estratificadas que van de color gris oscuro a negro (Hernández-Medina, 2014).

La base de la Formación se encuentra en Pisaflores, Hidalgo. En Huehuetla, Hidalgo la litología consiste en intercalaciones de lutitas negras, carbonosas y capas de caliza cuyos espesores varían de 2-3 metros y 5-10 centímetros respectivamente (Servicio Geológico Mexicano, 2008a).

- **Distribución:** En los estados de San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo y Puebla. En Hidalgo los afloramientos se ubican en los municipios de Pisaflores, Huehuetla, Molango de Escamilla y Tenango de Doria (Servicio Geológico Mexicano, 2007k).
- **Contenido paleontológico:** Los trabajos bioestratigráficos realizados por varios investigadores han determinado que la fauna fósil de la Formación Santiago está representada principalmente por amonites, pelecípodos y braquiópodos. Se reconocen las siguientes especies:
Amonites: *Reineckeia aff. leiophala*, *R. aff. mixteca*, *Discosphinctes virgulatus*, *Gregoryceras (Gregoryceras) sp. gr. chongirazi-transversarium*, *Vinalesphinctes (Vinalesphinctes) tamanensis* y *V. (Vinalesphinctes) tenangensis*.
 También se reportaron diversas especies pertenecientes al género *Ochetoceras*, las cuales se ha considerado que tienen un amplio rango estratigráfico durante el Oxfordiano de México.
Pelecípodos: El único que fue formalmente registrado es *Lucina aff. potosina*.
 (Servicio Geológico Mexicano, 2008a).
- **Ambiente de depósito:** La Formación Santiago se depositó en condiciones de aguas marinas tranquilas reductoras en facies de cuenca (Pedrazzini y Basáñez-Loyola, 1978).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Es una de las rocas generadoras más importantes en la Provincia T-M (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a) con kerógeno tipo I, II y III (González-García y Holguín-Quiñonez, 1992).

7. Formación Tamán.

- **Edad:** Jurásico Superior (Kimmeridgiano - Titoniano).
- **Localidad tipo:** La sección tipo aflora en las cercanías del poblado de Tamán, San Luis Potosí, entre el río Moctezuma y la carretera México-Laredo (Servicio Geológico Mexicano, 2008b).
- **Litología:** De manera general es una secuencia de calizas bien estratificadas, de color negro, de grano fino y microcristalinas, con lutita negra (Carrillo-Bravo, 1971).
- **Distribución:** En los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Veracruz y Zacatecas. En el estado de Hidalgo ha sido reportada en los municipios de Huehuetla, Pisaflores (Servicio Geológico Mexicano, 2008b) y Metztitlán (Esquivel-Macías *et al.*, 2008).

- **Contenido paleontológico:** De acuerdo con el Léxico Estratigráfico de México, el contenido fósil descrito por diversos autores está representado por:
Pelecípodos: Principalmente del género *Aulacomyella*.
Braquiópodos: Del género *Rhynchonella*.
Amonites: De los géneros *Ataxioceras*, *Rasenia*, *Virgatosphinctes*, *Taramelliceras*, *Idoceras*, *Glochiceras*, *Ochetoceras*, *Aspidoceras*, *Subdichotomoceras*, *Hybonotoceras*, *Butticeras*, *Pseudolissoceras*, *Haploceras*, *Danubisphinctes* y *Sublithacoceras*.
Radiolarios: De la familia *Pantanelliidae*.
- **Ambiente de depósito:** Existen diferentes teorías sobre el ambiente de depósito de esta Formación; para Hermoso De La Torre y Martínez-Pérez (1972) es de cuenca, donde además se observan estructuras sedimentarias primarias asociadas a condiciones de alta energía temporal, producida por corrientes de turbidez; Pessagno *et al.* (1987) menciona que la asociación fósil sugiere que esta unidad se depositó en profundidades que van de abisal a batial.
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** En su parte de calizas arcillosas es considerada como roca generadora de importancia, los cuales son extraídos de los campos de la Provincia T-M (PEMEX, 1988). Se ha identificado que contiene kerógeno tipo II (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

8. Formación Chipoco.

- **Edad:** Jurásico Superior (Kimmeridgiano - Titoniano).
- **Localidad tipo:** Ubicada a 1 kilometro al oeste del Rancho Chipoco, Hidalgo, en el Tajo de Tetzintla de la Compañía Minera Autlán (Servicio Geológico Mexicano, 2007j).
- **Litología:** Esta Formación está constituida por calizas de textura packstone-grainstone de pellets, interclastos finos y en partes abundantes fósiles de radiolarios, espículas de esponjas y fragmentos equinodermos intercaladas con lutitas de color negro (Hernández-Medina, 2014).
 Por otro lado, Aguayo-Camargo (1977) describe en Hidalgo cuatro secciones correspondientes a la Formación Chipoco: Calnali, Chipoco, Amixco y San Antonio. La sección Calnali está constituida por una alternancia de arenisca conglomerática con estructuras acorazadas de 1 a 2 cm de diámetro, pelmicrita y oomicrita; en la sección Chipoco se encuentran coquinas en matriz de pelmicrita de color oscuro que intemperiza a gris claro; la sección Amixco está constituida por biomicrudita y biomicrita; finalmente la sección San Antonio es una alternancia de biomicrita en estratos delgados de 10 a 15 cm de espesor, y de ooespatita pobremente lavada, biomicrita y pelmicrita fosilífera.

- **Distribución:** En los estados de Hidalgo y Veracruz. Puntualmente se puede encontrar en los municipios de Chapulhuacán, Calnali, Tlanchinol y Molango de Escamilla, Hidalgo.
- **Contenido paleontológico:** Diversos autores como Hermoso De La Torre y Martínez-Pérez (1972) y Aguilera (1972) mencionan que el contenido paleontológico de esta Formación está representado por amonites, radiolarios, espículas de esponja, pelecípodos y equinoides. Se describieron principalmente géneros de amonites.
Amonites: *Haploceras*, *Dichotomosphinctes*, *Idoceras* y *Glochiceras*. (Servicio Geológico Mexicano, 2007j).
- **Ambiente de depósito:** Aguayo-Camargo (1977) interpreta que la Formación Chipoco en las secciones Calnali y Chipoco representa un ambiente sedimentario marino somero de plataforma con pendiente suave y cercano a la costa.
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Posible roca almacén en zonas que se encuentren fuertemente plegadas y que estén fracturadas (Aguayo-Camargo, 1977).

9. Formación Las Trancas.

- **Edad:** Jurásico Superior (Kimmeridgiano - Titoniano).
- **Localidad tipo:** Se encuentra en el poblado de Puerto Las Trancas, en el kilómetro 217 de la carretera México-Laredo y aproximadamente 18 kilómetros al norte de Zimapán.
- **Litología:** La litología está representada por lutita y limolita calcárea, ligeramente filitizada, de color gris oscuro, con intercalaciones de caliza arcillosa parcialmente piritizada y capas delgadas de grauvaca y pedernal (Segerström, 1961).
- **Distribución:** Se distribuye entre los estados de Hidalgo y Querétaro. Los afloramientos de Hidalgo se localizan al norte del municipio de Zimapán (Servicio Geológico Mexicano, 2007f).
- **Contenido paleontológico:** Solo se han reportado algunos géneros de amonites los cuales son: *Parodontoceras sp.*, *Mazapilites* y *Karsteniceras*. La parte superior de la Formación parece que no contiene fósiles, además los microfósiles también se encuentran ausentes en la unidad (Segerström, 1961).
- **Ambiente de depósito:** El ambiente varía de aluvial a litoral, el cual está relacionado con la zona de post-arco y arco magmático (debido a la presencia de tobas y lavas almohadilladas) (PEMEX, 1988).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** No definida.

10. Formación Pimienta.

- **Edad:** Jurásico Superior (Titoniano) - Cretácico Inferior (Berriasiano - Valanginiano).
- **Localidad tipo:** En los alrededores del Rancho Pimienta, al sur-sureste de Tamazunchale en San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971).
- **Litología:** La descripción original la define como una secuencia de estratificación delgada de calizas arcillosas oscuras ligeramente carbonatadas (mudstone y wackestone) las cuales están alternadas con lutita negra (Heim, 1926). También se reporta la presencia de lentes de pedernal negro y capas delgadas de bentonita en la cima de la sucesión estratigráfica (Servicio Geológico Mexicano, 2007d).
- **Distribución:** En los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Veracruz y Estado de México. De manera puntual ha sido reportada en el municipio de Tenango de Doria, Hidalgo (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2013).
- **Contenido paleontológico:** Los principales fósiles descritos por diversos autores en esta Formación son:
Amonites: De los géneros *Mazapillites*, *Haploceras*, *Suarites*, *Parodontoceras* y *Proniceras*.
Microfósiles: Las especies *Calpionella* sp., *C. alpina*, *C. elíptica*, *C. alpina*, *Calpionellites darderi*, *Globochaete alpina*, *Fibrosphaera* sp., *Tintinnopsella carpathica*, *T. oblonga*, *T. longa* y *Crassicolaria* sp. (Servicio Geológico Mexicano, 2007d)
- **Ambiente de depósito:** Corresponde a una zona de plataforma continental externa que varía a cuenca (PEMEX, 1988), donde las aguas eran tranquilas, claras y de salinidad normal (Servicio Geológico Mexicano, 2007d)
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Es considerada la principal roca generadora de la Provincia Tampico-Misantla debido al alto contenido en materia orgánica presente en los mudstone, wackestone y lutitas carbonatadas negras (PEMEX, 1988). Los hidrocarburos de esta Formación varían en calidad de aceites medios a ligeros (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b). Contiene kerógeno tipo II-III, el cual actualmente se encuentran en el pico de generación de aceite. También se encuentra como roca sello (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

11. Formación Tamaulipas Inferior.

- **Edad:** Cretácico Inferior (Berriasiano - Aptiano).
- **Localidad tipo:** No definida. Se dividió a la Caliza Tamaulipas en tres, solamente se estableció la localidad tipo para la Formación Tamaulipas Superior (Muir, 1936).
- **Litología:** Es una secuencia de calizas cristalinas de grano fino (mudstone y wackestone), de colores blanco, gris claro, gris crema y amarillo crema,

con nódulos y lentes de pedernal gris obscuro-negro y líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación (Carrillo-Bravo, 1971).

- **Distribución:** Se encuentra presente en los estados de San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz e Hidalgo. En cuanto a las Provincias Geológicas, la unidad se distribuye sobre el frente oriental y sector transversal del CPSMO, así como en gran parte de T-M. Aflora en el área de Zimapán y Asunción dentro del estado de Hidalgo.
- **Contenido paleontológico:** Esta unidad tiene un alto contenido fosilífero el cual ha sido descrito por diversos investigadores, entre los cuales destacan:
Microfósiles planctónicos: *Caucasella hauterivica*, *Globigerinelloides ferroalensis*, *Calpionella alpina*, *C. elíptica*, *Tintinopsella cadischiana*, *Calpionellites daday*, *Remaniella cadischiana*, *Hedbergella delrioensis*, *H. planispira*, *H. semielongata* y *Leopoldina* sp.
Amonites: *Heteroceras americanus*, *Australiceras jacki*, *Acanthodiscus octagunus*, *Subthurmania mazatepensis*, *Spiticeras*, *Berriasella*, *Olocostephanus* sp., *Distoloceras* sp., *Psilotissotia* sp., *Pseudohaploceras* sp., *Melchiorites* sp., *Valdedorsella* sp. y *Crioceratites* sp (Servicio Geológico Mexicano, 2013c).
- **Ambiente de depósito:** Por sus características litológicas se puede inferir que fue depositada sobre una plataforma, en aguas de alta energía. Aunque, por otro lado, la mayoría de la fauna de dicha Formación es de aguas pelágicas (Carrillo-Bravo, 1971).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** En el Campo Arenque, ubicado en la zona marina norte de la Provincia T-M, la Formación Tamaulipas Inferior funciona como roca almacén (Rodríguez-Dávila, 2015).

12. Horizonte Otates.

- **Edad:** Cretácico Inferior (Aptiano Medio - Superior).
- **Localidad tipo:** Se encuentra en el Cañón de Otates en el estado de Tamaulipas, México
- **Litología:** Es una unidad con un espesor que va de pocos centímetros hasta un máximo de 25 metros (Servicio Geológico Mexicano, 2006b). Se compone de mudstone y wackestone arcilloso y aparentemente carbonoso, de color gris oscuro a negro, intercalada con lutita calcárea láminas de color café oscuro. En algunas partes hay presencia de pedernal en capas, el cual se vuelve más común en la cima de esta Formación. También existen intercalaciones de bentonita de color gris y gris claro y verde (PEMEX, 1988).
- **Distribución:** Esta ampliamente distribuida en México sobre los estados de Tamaulipas, Coahuila, Nuevo León, Veracruz, Hidalgo y San Luis Potosí; mientras que en Estados Unidos de América se encuentra en el estado de

Texas. En Hidalgo aflora en el municipio de Jacala (Servicio Geológico Mexicano, 2006b) y Metztlán (Esquivel-Macías *et al.*, 2008).

- **Contenido paleontológico:** De manera general, se han reportado diversas especies de foraminíferos planctónicos, fragmentos de moluscos, ostrácodos, radiolarios calcificados.
Amonites: *Puzosia* sp., *Parahoplites* aff. *Milletianus*, *Dufrenoya* sp., *Oxytropidoceras acutocarinarum*, *Uhligella* sp., y *Parahoplites* sp.
Bivalvos: *Inoceramus* sp.
Foraminíferos: *Globigerina* sp., *Globigerinelloides algerianus*, *G. barri*, *G. blowi*, *G. ferreolensis*, *Hedbergella infracretaceae*, *H. delrioensis*, *H. trocoidea*
Calpionelidos: *Colomiella recta*.
- **Ambiente de depósito:** La unidad se depositó en mares de baja energía debido a su fauna pelágica. En el norte de México se depositó en un ambiente de cuenca intraplatafórmica (Servicio Geológico Mexicano, 2006b).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** No determinada.

13. Formación Tamaulipas Superior.

- **Edad:** Cretácico Inferior (Albiano) - Cretácico Superior (Cenomaniano).
- **Localidad tipo:** Se designa a El Cañón de la Borrega como la sección tipo de la Caliza Tamaulipas Superior (Muir, 1936).
- **Litología:** Esta Formación se compone de calizas color café de grano fino, en partes arcillosa y con nódulos y lentes de pedernal negro o blanco, su espesor es de aproximadamente 400 metros (Hernández-Medina, 2014). Las calizas son mudstone y wackestone en capas que varían de un espesor mediano a grueso. En algunas zonas está alternada con calizas arcillosas de capas delgadas y margas de capas laminares (Servicio Geológico Mexicano, 2013b). Así mismo se observa la presencia de bentonita (PEMEX, 1988).
- **Distribución:** San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz de Ignacio de la Llave, Hidalgo. Fisiográficamente se le reconoce en gran parte del CPSMO y de T-M. En Hidalgo hay afloramientos de esta Formación en el municipio de Metztlán (Esquivel-Macías *et al.*, 2008).
- **Contenido paleontológico:** Al igual que la Formación Tamaulipas Inferior, esta es una Formación con un alto contenido paleontológico, dominado principalmente por foraminíferos bentónicos, planctónicos, calcisferúlidos, tintínidos y nanocónidos. La macrofauna corresponde a equinodermos y pelecípodos.
Radiolarios: Del tipo espumeláridos y naseláridos.
Foraminíferos: *Oligostegina* sp., *Orbitolina texana*, *Nummuloculina* sp., *Dictyoconus* sp., *Bonetocardiella* sp., *Pithonella trejoi*, *Stomiosphaera similis*, *Ticinella primulla*, *Globigerinelloides* sp., *G. maridalensis*, *G. barri*,

G. ferroelensis, *Hedbergella* sp., *Colomiella mexicana*, *Calpionellospella maldonadoi*, *Favusella washitensis*, *Sabudia* sp., *Glomospira* sp., *Saccoma* sp., *Microcalamoides diversus*, *M. ornatu*, *Hedbergella planispira*, *H. delrioensis*, *H. trocoidea*, *Bishopella alata*, *Ticinella bejaouensis*, *Pithonella ovalis*, *Calcisphaerula innominata*, *Stomiosphaera sphaerica*, *Colomiella recta* (Servicio Geológico Mexicano, 2013b).

- **Ambiente de depósito:** Se asocia a facies de cuenca marina, donde hubo un escaso aporte de terrígenos finos y de material bentonítico y tobáceo, derivado de la actividad volcánica en el arco magmático del occidente de la República Mexicana (PEMEX, 1988). A esta cuenca se le denominó Cuenca de Tamaulipas (López-Doncel, 2003).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Esta Formación contiene importantes acumulaciones de petróleo (Corpus Christi Geological Society, 1963), el cual está almacenado en calcarenitas y fracturas (Hernández-Medina, 2014).

14. Formación Tamabra.

- **Edad:** Cretácico Inferior (Aptiano) - Cretácico Superior (¿Campaniano?)
- **Localidad tipo:** No definida con exactitud (Servicio Geológico Mexicano, 2013a).
- **Litología:** Corresponde a una mezcla de sedimentos autóctonos y alóctonos.

Los sedimentos autóctonos están representados por intercalaciones de mudstone y wackestone con fauna pelágica con pequeños lentes y nódulos de pedernal. Los sedimentos alóctonos están representados por packstone, grainstone, floatstone y rudstone.

Así mismo se han reconocido tres tipos de depósitos alóctonos:

- 1) Brechas calcáreas depositadas flujo de escombros (debris flows).
- 2) Turbiditas calcáreas depositadas por gravedad y suspensión.
- 3) Depósitos de pliegues sinsedimentarios producidos por deslizamientos de masas (López-Doncel, 2003).

- **Distribución:** Principalmente en los estados de San Luis Potosí, Veracruz y Tamaulipas (Servicio Geológico Mexicano, 2013a). También se ha reportado en Hidalgo, en el municipio de Metztitlán (Carrasco-Velázquez, 1977).
- **Contenido paleontológico:** De acuerdo con López-Doncel (2003), los fósiles principales de esta Formación son foraminíferos planctónicos, pequeños bioclastos, calcisferas, microfauna bentónica lagunar (preferentemente miliolidos). La macrofauna es muy pobre, identificándose únicamente tres ejemplares de amonites (*Scaphites* sp., *Worthoceras* sp. y *Turrilites* sp.), rudistas, briozoarios, algas y fragmentos de equinodermos.
- **Ambiente de depósito:** Los sedimentos autóctonos de aguas profundas que se intercalan con sedimentos alóctonos gravitacionales provenientes de ambientes de aguas someras indican que la Formación en cuestión se

depositó en una zona de transición (talud) entre una plataforma continental (Formación El Abra) y cuenca dos cuencas marinas (Formación Tamaulipas Superior y Formación Cuesta del Cura) (López-Doncel, 2003).

- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** La Formación Tamabra es una buena roca almacenadora (Hernández-Medina, 2014) y a la vez son una de las más importantes de México (Servicio Geológico Mexicano, 2013a).

15. Formación El Doctor.

- **Edad:** Cretácico Inferior (Albiano) - Cretácico Superior (Cenomaniano) (Servicio Geológico Mexicano, 2007e).
- **Localidad tipo:** Se encuentra en un pueblo del mismo nombre, ubicado en el estado de Querétaro a 25 kilómetros al noroeste de Zimapán, Hidalgo.
- **Litología:** De forma general, la unidad se compone de calizas relativamente puras, de textura variada, con o sin lentes/nódulos de pedernal, intercalaciones de dolomita y capas delgadas de lutita (Segerström, 1961). Así mismo se ha reportado conglomerado de grano fino con cantidades considerables de coquina clástica.
- **Distribución:** En los estados de Hidalgo, México y Querétaro. Los afloramientos del estado de Hidalgo se han descrito en los municipios de Zimapán, Ixmiquilpan (Servicio Geológico Mexicano, 2007e) y Metztlán (Esquivel-Macías *et al.*, 2008).
- **Contenido paleontológico:** Los fósiles descritos por Segerström (1961) son principalmente rudistas y gasterópodos, pero también hay presencia de corales, ostreas, pelecípodos y equinoides.
Algunos ejemplares reportados por Segerstrom son:
Rudistas: Se reportaron los géneros *Caprinuloidea*, *Toucasia*, *Radiolites*, *Eoradiolites* y *Monopleura*.
Gasterópodos: Los principales géneros son *Nerinea* y *Actaeonelia*.
Pelecípodos: Incluyen *Chondrodonta*, *Pinna* y *Neithea*.
Amonites: Pequeños amonites que refieren al género *Diptychoceras*, y posiblemente a los géneros *Hamites?*, *Mamulina?* y *Ptychoceras?*.
Foramníferos: *Miliolidae Nummoloculina* y *Pithonelta*.
Radiolarios: *Radiolaria*.
- **Ambiente de depósito:** La presencia ocasional de guijarros del Jurásico en un conglomerado basal de caliza indican la existencia de un ambiente costero del Albiano-Cenomaniano (Servicio Geológico Mexicano, 2007e).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Sin información.

16. Formación El Abra.

- **Edad:** Cretácico Inferior (Albiano) - Cretácico Superior (Santoniano)
- **Localidad tipo:** Ubicada en el Cañón de El Abra, sobre la carretera Ciudad Valles (San Luis Potosí) - Tampico (Tamaulipas), aproximadamente a 10 kilómetros al oriente de Ciudad Valles (Servicio Geológico Mexicano, 2009b).
- **Litología:** El nombre de Formación El Abra en un principio fue aplicado a un grupo de dos facies: Las Facies Taninul (de rudistas) y la Facies El Abra (de miliolas) (Carrillo-Bravo, 1971).

El complejo calcáreo que representa a la Formación El Abra se ha podido subdividir en cinco litofacies:

- 1) Unidad clástica post-arrecifal constituida por calcirudita, calcarenita y caliza oolítica.
- 2) Unidad de calcilutita y calcarenita de color gris y gris crema, en partes de color negro por impregnación de hidrocarburos.
- 3) Unidad de dolomita de grano fino a medio y caliza parcialmente dolomitizada.
- 4) Unidad constituida por calcilutita, calcarenita biogénica, caliza oolítica y algunos horizontes de caliza dolomítica.
- 5) Zona dolomítica basal, dolomita de grano fino a grueso, de color café grisáceo y gris acero, en capas gruesas (Servicio Geológico Mexicano, 2009b).

La textura de las calizas va de grainstone y wackestone hasta mudstone (Valdés-Candanosa *et al.*, 2017).

- **Distribución:** La Formación El Abra aflora en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro. En Hidalgo se puede encontrar afloramientos en los municipios de Metztitlán (Esquivel-Macías *et al.*, 2008) y Francisco I. Madero (Luna-Rodríguez, 2008).
- **Contenido paleontológico:** Esta unidad tiene un amplio contenido fósil, el cual está representado principalmente por:
 - Rudistas: De los géneros *Toucasia*, *Eoradiolites*, *Caprina*, *Coalcomana ramosa*, *Caprinuloidea perfecta*, *Kimbleia albrittoni*, *Mexicaprina corneta*, *M. quadrata*, *Hippurites resectus mexicana* y *Durania austinensis*.
 - Gasterópodos: De los géneros *Tronchus*, *Cerithium*, *Turritela*, *Actaeonella* y *Nerinea*.
 - Braquiópodos: Del género *Kingenia*.
 - Lamelibranchios: De los géneros *Pecten* y *Chondronta*.
 - Foraminíferos: *Merlingina cretacea*, *Nummoloculina sp.*, *Cuneolina pavonea*, *Peneroplis parvus*, *Dicyclina schlumbergeri* (Servicio Geológico Mexicano, 2009b).
- **Ambiente de depósito:** Esta Formación se depositó en una plataforma amplia y estable de aguas someras, con dos facies principales: post-arrecifal o lagunar y arrecifal (PEMEX, 1988).

La parte oeste de la PVSLP pertenece a la zona post-arrecifal (Valdés-Candanosa *et al.*, 2017).

- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Relevante en el subsuelo de la región conocida como La Faja de Oro (porción media oriental de T-M), por la producción de hidrocarburos el cual se obtiene de las facies arrecifal, de talud y de post- arrecife (PEMEX, 1988). Las calizas de esta Formación forman excelentes rocas almacenadoras (Hernández-Medina, 2014).

17. Formación Agua Nueva.

- **Edad:** Cretácico Superior (Cenomaniano - Turoniano).
- **Localidad tipo:** Se encuentra en el Cañón de la Borrega, cerca del Rancho Agua Nueva, Tamaulipas
- **Litología:** La litología descrita corresponde a calizas arcillosas finamente bandeadas; calizas de grano fino a medio, de color gris a negro, en capas de espesor delgado a medio, que se encuentran alternadas con estratos medianos-gruesos de lutitas laminares de color gris y gris oscuro a negro, de intemperismo amarillento, ligeramente rojizo. Una de las principales características de la Formación Agua Nueva es la presencia de pedernal negro, en lentes o láminas (Carrillo-Bravo, 1971).
- **Distribución:** En los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Guerrero, Hidalgo y Veracruz. Se extiende por casi toda la cuenca de T-M y a lo largo del CPSMO. En Hidalgo se presentan en la región de Santa María, Molango de Escamilla y Pilcuatla.
- **Contenido paleontológico:** Los fósiles descritos por diversos autores están representados por:
 - Peces: En la base de la unidad se han reportado escamas y dientes de peces, pero no se especifica la especie o el género.
 - Foraminíferos: Se han encontrado los siguientes géneros *Heterohelix*, *Pithonella*, *Rotalipora*, *Hedbergella*, *Calcisphaerula*, *Stomiosphaera*, *Marginotruncana*, *Whiteinella*, *Globotruncana* y *Dicarinella*.
 - Amonites: *Iceramus*, *Phylloceras*, *Mantelliceras* y *Mammites*.
 - Bivalvos: *Inoceramus* (*Mytiloides*).
 - Tiburón: Se reportaron las partes de un tiburón lamniforme (*Chondrychthyes*; *Elasmobranchii*) (Servicio Geológico Mexicano, 2007h).
- **Ambiente de depósito:** Su ambiente de depósito corresponde a facies de mar abierto de poca profundidad, poca oxigenación y escasa energía (Hernández-Medina, 2014).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Es una importante roca generadora de hidrocarburos (Santamaría-Orozco, 2017). Los estudios ópticos indican que contiene predominantemente kerógeno tipo II. Todo esto, permite definir a esta Formación, aún inmadura, como

potencialmente generadora de regular importancia, en la mayor parte de la Provincia T-M (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b).

18. Formación San Felipe.

- **Edad:** Cretácico Superior (Cenomaniano Superior - Campaniano Inferior) (Servicio Geológico Mexicano, 2015).
- **Localidad tipo:** Rancho San Felipe, San Luis Potosí.
- **Litología:** De manera general, la litología está representada por un cuerpo bien estratificado de calizas y calizas arcillosas de grano fino-medio expuestas en capas de espesor delgado-medio, de color gris claro, gris y gris verdoso, que intemperizan en amarillo limolítico; están alternadas con capas de lutitas de color gris olivo-gris verdoso. En toda la Formación son frecuentes los estratos de bentonita de color verde (Carrillo-Bravo, 1971).
- **Distribución:** En los estados de Coahuila de Zaragoza, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla. En el estado de Hidalgo se pueden encontrar afloramientos en los alrededores de Huejutla, Calnali y Metztlán.
- **Contenido paleontológico:** El Servicio Geológico Mexicano (2015) menciona que el contenido paleontológico se encuentra representado de manera general por abundantes foraminíferos planctónicos y escasos bentónicos, radiolarios, espinas de equinodermos, moldes de moluscos como gasterópodos e icnofósiles de los icnogéneros *Zoophicus* y *Cruciana*.
Equinodermos: *Balanocrinus mexicanus*,
Bivalvos: *Ostrea plumosa*, *O. congesta*, *Durania manuelensis*, *Inoceramus* sp. y *I. unduloplicatus*.
Rudistas: *Sauvagesia delgolyeri*.
Foraminíferos planctónicos: *Marginotruncana sigali*, *M. renzi*, *M. indica*, *M. caniculata*, *M. difformis*, *Globotruncana fornicata*, *G. concavata*, *G. calcarata*, *G. lapparenti*, *G. elevata*, *G. arca*, *G. linneiana*, *G. californis*, *G. stuarti*, *G. stuartiformis*, *G. innominata*, *Dicarinella* sp., *D. renzi*, *D. concavata*, *Gumbelina* sp., *Pithonella ovalis*, *Calcisphaerula innomiata*, *Heterohelix* sp. y *Globigerina* sp.
Radiolarios: *Dictyonitra multicostata*, *Rotalipora* sp. y *R. cushmani*.
- **Ambiente de depósito:** Las rocas de esta unidad se depositaron en un ambiente de mar abierto (PEMEX, 1988). La cuenca donde se depositaron corresponde a un ambiente neríticos-epinerítico (Carrillo-Bravo, 1971)
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Roca almacén (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000).

19. Formación Soyatal.

- **Edad:** Cretácico Superior (Turoniano - Campaniano) (Servicio Geológico Mexicano, 2007g).
- **Localidad tipo:** La localidad tipo se encuentra en los alrededores de Soyatal, Querétaro (Carrillo-Bravo, 1971).

- **Litología:** Está compuesta por caliza arcillosa de color gris oscuro y distribuida en capas de espesor mediano a delgado, sin pedernal (Segerström, 1961). Por otro lado, en el área de Zimapán, Hidalgo está constituida por calizas arcillosas de color gris oscuro que se encuentran intercaladas con cuerpos gruesos de lutitas y limolitas calcáreas del mismo color y que intemperizan en gris amarillento; la parte basal de la Formación contiene nódulos y lentes de pedernal negro (Carrillo-Bravo, 1971).
- **Distribución:** La unidad aflora en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Guanajuato y Querétaro. En Hidalgo se pueden encontrar afloramientos en Jacala, al oeste-suroeste de Zimapán y al sur de Ixmiquilpan (Servicio Geológico Mexicano, 2007g).
- **Contenido paleontológico:** No es muy amplio el contenido paleontológico que se ha descrito, pero se han reportado los siguientes géneros de foraminíferos planctónicos:
Globotruncana sp., *Stomiosphaera* sp. y *Heterohelix* sp.
- **Ambiente de depósito:** La unidad se depositó en un ambiente marino de tipo transgresivo, y la presencia de clastos de limos, arcillas, fragmentos de mica y calizas indican que las condiciones fueron inestables en el área donde se originaron (Carrillo-Bravo, 1971).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** No establecida.

20. Formación Méndez.

- **Edad:** Cretácico Superior (Campaniano - Maastrichtiano).
 - **Localidad tipo:** La localidad tipo se encuentra a 300 metros al este de la Estación Méndez, Veracruz, sobre el Ferrocarril Tampico-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971).
- Litología:** La Formación Méndez muestra pocas variantes litológicas (Carrillo-Bravo, 1971), y en general está constituida por lutitas y margas de color gris, gris verdoso (Hernández-Medina, 2014), azul y negro, y escasas capas de arenisca y caliza (Servicio Geológico Mexicano, 2007c).
- **Distribución:** Se encuentra ampliamente distribuida por los estados de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, Chiapas y Tabasco. Se ha registrado su presencia en el frente oriental del CPSMO y en el subsuelo de la cuenca T-M. Los afloramientos del estado de Hidalgo se localizan en los municipios de San Felipe Orizatlán, Calnali y Huehuetla (Servicio Geológico Mexicano, 2007k).
 - **Contenido paleontológico:** El contenido fósil de esta unidad está representado principalmente por foraminíferos y amonites, así como fragmentos de un mosasáurido.

Algunos géneros reportados son:

Foraminíferos: *Bolivina*, *Bulimina*, *Cibicides*, *Clavulina*, *Gaudryina*, *Gümbelina*, *Lagena*, *Planoglobulina*, *Pseudotextularia*, *Globotruncana*, *Racemiguembelina*, *Pseudoguembelina*, *Globotruncanella*,

Globigerinelloides, *Heterohelix*, *Pseudoguembelina*, *Archaeoglobiferina*, *Anomalinoidea*, *Cibicidoides*, *Clavulinoides*, *Eouvigerina*, *Gyroidinoidea* y *Nuttallides* (Servicio Geológico Mexicano, 2007c).

Las especies que se reconocen de foraminíferos son *Globotruncana conica*, *G. contusa*, *G. sp.*, *G. ventricosa*, *Gumbelina globosa*, *Planulina dayi*, *Steinsionia pomerana* y *Clavulinoides trilaterata* (Carrillo-Bravo, 1971).

Amonites: *Naefia*, *Hypophylloceras*, *Phyllopachyceras*, *Tetragonites*, *Saghalinites*, *Pseudophyllites*, *Gaudryceras*, *Anagaudryceras*, *Zelandites*, *Desmophyllites*, *Hauericeras*, *Pachydiscus*, *Menuites*, *Brahmaites*, *Baculites*, *Fresvillia*, *Diplomoceras*, *Solenoceras* y *Nostoceras* (Servicio Geológico Mexicano, 2007c).

- **Ambiente de depósito:** Los sedimentos de esta unidad fueron depositados en mares abiertos, con profundidades considerables (Carrillo-Bravo, 1971); para PEMEX (1988) el ambiente de depósito lo describen como una secuencia de "flysch" característico en zonas de antifosa en mar abierto, con intercalaciones de flujos turbidíticos provenientes de las áreas de plataforma; finalmente Hernández-Medina (2014) menciona que con base en la litología, el ambiente de depósito ocurrió en una plataforma externa.
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Las rocas margosas y arcillo-calcáreas que componen la unidad son importantes almacenadoras de aceite y gas (PEMEX, 1988). También se les puede encontrar como roca sello (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

2.2.3 Cenozoico

21. Formación Chicontepec.

- **Edad:** Paleógeno (Paleoceno-Eoceno).
- **Localidad tipo:** Chicontepec, Veracruz.
- **Litología:** Constituida por una alternancia arrítmica de arenisca y lutita, que suele presentar variaciones de espesor. En ocasiones la alternancia se vuelve rítmica y se asemeja a una secuencia tipo flysch. Diversos autores reconocen la división de esta unidad en 3 miembros (inferior, medio y superior) (Blanco-Briones y Hernández-Loredo, 2005).

De acuerdo con la descripción de Nájera-Chiapa (1952) la litología general de los 3 miembros es la siguiente:

Chicontepec inferior: La base está constituida por lutita gris-verde, glauconítica, con intercalaciones frecuentes de lutita café-rojiza dura y poca arenisca gris verdosa (en ocasiones la arenisca se transforma en caliza arenosa)

Chicontepec medio: Caracterizada por lutita gris-verdosa (raramente de color café) con intercalaciones de arenisca de grano fino color gris. La bentonita se vuelve poco frecuente, y se presenta en color blanquizco.

Chicontepec superior: La litología está representada por lutita gris-verdosa ligeramente arenosa, con intercalaciones de arenisca arcosa, con cementante calcáreo y raramente poco arcilloso. La bentonita se observa raramente en este miembro.

- **Distribución:** Ampliamente distribuida por los estados de San Luis Potosí, Veracruz, Puebla, Tabasco, Chiapas e Hidalgo (Servicio Geológico Mexicano, 2007a). Los afloramientos del estado de Hidalgo se localizan en los siguientes municipios: Huautla, San Felipe Orizatlán, Huejutla de Reyes, Atlapexco, Huehuetla y Xochiatipan (Servicio Geológico Mexicano, 2007k).
- **Contenido paleontológico:** En la Formación Chicontepec el contenido fósil es muy abundante; representado principalmente por foraminíferos y en menor cantidad algunos moluscos, fragmentos de corales, briozoarios, equinodermos y restos de plantas. Los géneros reportados por diversos autores para foraminíferos e icnofósiles son los siguientes:
Foraminíferos: Para Chicontepec inferior se reporta *Rotalia*, *Aragonia*, *Anomalina*, *Globorotalia*, *Textularia*, *Planulina*, *Bolivina*, *Flabellina*, *Marssonella*, *Nodellum* y *Nuttallides*; para Chicontepec medio se describieron los géneros *Cornuspira*, *Gumbelina*, *Globigerina* y *Globorotalia*; para Chicontepec superior se identificaron *Textularia*, *Globigerina*, *Hantkenina*, *Rectobolivina* y *Gaudryna*.
Icnofósiles: Se encuentran presentes los géneros *Lorenzina*, *Cosmorhappe*, *Helminthorhappe*, *Spirorhappe* y *Paleodictyon* de importancia paleoambiental.
(Servicio Geológico Mexicano, 2007a).
- **Ambiente de depósito:** De manera general, se sabe que, por la asociación de foraminíferos bentónicos, la Formación Chicontepec es una secuencia de turbiditas que se depositó en aguas profundas durante el Paleoceno Superior y el Eoceno Inferior (Busch y Amado, 1978).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Las variaciones de porosidad y permeabilidad en sentido lateral y vertical, se deben a una cementación parcial de los elementos clásticos arenosos donde se han acumulado hidrocarburos; los cuales se han encontrado en cantidades variables y su explotación ha sido considerada de importancia secundaria con relación a las rocas cretácicas (Nájera-Chiapa, 1952). Busch y Amado (1978) mencionan que toda el área de las areniscas de la Formación Chicontepec se puede considerar como prospectivas. Por otro lado, Magoon *et al.* (2001) mencionan que los sedimentos siliciclásticos cenozoicos desarrollaron importantes areniscas reservorios como es el caso de las turbiditas de la Formación Chicontepec, la cual contiene una gran cantidad de petróleo en el campo Chicontepec.

22. Formación El Morro.

- **Edad:** Paleógeno (Eoceno Medio? - Oligoceno Inferior).
- **Localidad tipo:** La Formación recibe su nombre por los afloramientos presentes en el Cerro del Morro, sobre el camino que conduce a la mina de San Pascual, a 6 km al noroeste de Zimapán, Hidalgo (Servicio Geológico Mexicano, 2009a).
- **Litología:** En el área de Zimapán, la litología de la unidad está constituida por conglomerado-calizo grueso, bien consolidado, mal clasificado, formado de una matriz rojiza con guijas y bloques derivados de la Formación Soyatal. También existen lavas y tobas andesíticas-basálticas que están intercaladas localmente con los conglomerados (Segerström, 1961).
- **Distribución:** La Formación El Morro se encuentra en los estados de México e Hidalgo (Servicio Geológico Mexicano, 2009a). La unidad ha sido reconocida principalmente en este último estado, en los municipios de Zimapán, Santa María Amajac, al norte de Tepatepec, Metztlán, Pachuca, Real del Monte y al norte de Mixquiahuala (Servicio Geológico Mexicano, 2007k).
- **Contenido paleontológico:** En ninguna de las localidades donde aflora la unidad se han encontrado fósiles (Segerström, 1961).
- **Ambiente de depósito:** Los depósitos de esta unidad se acumularon en un ambiente continental como producto de la erosión intensa y fueron acumuladas en las partes topográficas más bajas (Servicio Geológico Mexicano, 2009a).
- **Importancia económica relacionada a la industria petrolera:** Ninguna.

23. Actividad ígnea.

- **Descripción:** En el área de estudio la actividad volcánica se encuentra escasamente representada, pero se describen dos eventos volcánicos de interés.
En el Mioceno se tiene el registro de un evento que se caracteriza por derrames de lava de composición basáltica-andesítica denominados como basalto Tlanchinol. Sobreyaciendo al basalto Tlanchinol, se encuentra rocas basálticas intercaladas con tobas riolíticas del Plioceno denominadas como Formación Atotonilco (Vergara-Martínez y Zárate-López, 2002).

24. Depósitos recientes

- **Descripción:** En el Pleistoceno y Holoceno se tienen depósitos (aluvión, coluvión y conglomerado polimíctico) mal consolidados que se encuentran cubriendo a los sedimentos del Terciario. Están constituidos por fragmentos redondeados a subredondeados de diferente material como arena, grava, arcilla y limo, depositados por corrientes fluviales, en los cauces de ríos y arroyos, transportados y depositados en meandros y llanuras de inundación (Blanco-Briones y Hernández-Loredo, 2005).

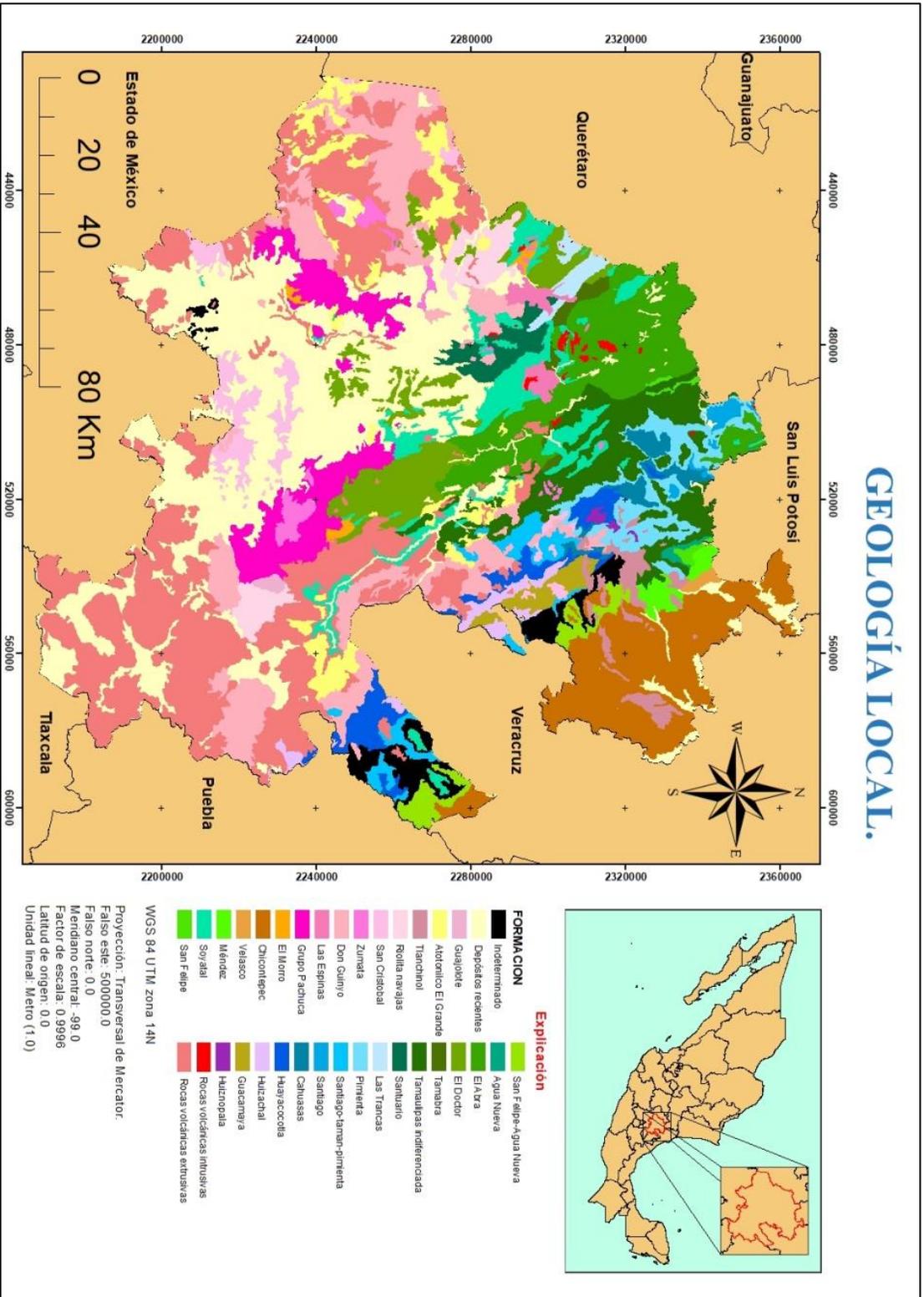


Figura 5 Distribución general de las Formaciones Geológicas en el estado de Hidalgo. Modificado de Servicio Geológico Mexicano (2022).

CAPITULO III - MÉTODO

Se realizó una recopilación bibliográfica relacionada al panorama del petróleo y gas en el estado de Hidalgo con el siguiente orden:

1. Se comenzó con una recopilación de información sobre el petróleo que se obtuvo de archivos, boletines, artículos de revista, páginas web e informes de fuentes como Pemex, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Servicio Geológico Mexicano, Comisión Nacional de Hidrocarburos e instituciones y autores afines, la cual además está relacionada con las Provincias Geológicas Tampico-Misantla y Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental.
2. Se organizaron los periodos, épocas y edades estratigráficas asociadas a la generación y almacenamiento de hidrocarburos en México y posteriormente se verificó si había registro de estos en Hidalgo.
3. El tercer paso consistió en la descripción de la estratigrafía de la zona de estudio con ayuda del Léxico Estratigráfico de México (2022) y otras fuentes donde posteriormente se hizo la discriminación de las distintas Formaciones, hasta que se reconoció a aquellas que integran algún sistema petrolero (roca generadora, roca almacén o roca sello) y que son de interés para el estado de Hidalgo.
4. Una vez que se hizo lo anterior, se enlistaron y describieron los tipos de trampa en las que se pueden encontrar almacenados los hidrocarburos.
5. Se ubicaron geográficamente a los pozos que se perforaron en el estado de Hidalgo y se describieron sus principales características.
6. Finalmente se concluyó con la búsqueda de datos de alguno de los pozos anteriores y para intentar presentarlo a modo de columna estratigráfica y conocer sus principales características geológicas.

CAPITULO IV - RESULTADOS

Los resultados de la presente investigación están divididos en cuatro apartados los cuales son: Formaciones geológicas de interés para la industria petrolera, Pozos de perforación, Campos petroleros y Asignaciones Vigentes.

En el primer apartado se explica y se representa por medio de un cuadro comparativo aquellas Formaciones geológicas que se encuentran presentes en el estado de Hidalgo y regiones adyacentes para conocer a que elemento del sistema petrolero (roca generadora, roca almacén, roca sello, trampa) corresponden; así mismo se indica a los principales fósiles registrados a nivel de género taxonómico, los cuales sirven para identificar a las Formaciones geológicas que sean de interés para la industria petrolera.

El segundo apartado describe por medio de mapas y tablas en que municipios del estado de Hidalgo se han realizado pozos de perforación con la finalidad de identificar hidrocarburos y sus características principales de cada perforación realizada.

El tercer apartado tiene relación directa con el segundo, debido a que en los campos petroleros del estado de Hidalgo se han hecho perforación de pozos, pero aquí se describe con más detalle los datos generales de dichos campos.

Finalmente, en el último apartado se describe y representa gráficamente cuáles son las asignaciones vigentes que existen en Hidalgo con la finalidad de conocer las zonas que sirven para el resguardo, exploración o explotación de los hidrocarburos.

4.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS DE INTERÉS PARA LA INDUSTRIA PETROLERA

En el estado de Hidalgo existen al menos 28 Formaciones geológicas que incluyen los 3 tipos de rocas conocidas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) (Servicio Geológico Mexicano, 2007k), pero solo 15 son de gran interés para la exploración y explotación petrolera debido a que se ha identificado su presencia en tres sistemas petroleros (López-Arriaga, 2013) (Figuras 6 y 7):

- Sistema Jurásico Inferior-Medio-Jurásico Medio (!)
- Sistema Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!)
- Sistema Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (·)

Dichos sistemas petroleros se extienden por estados aledaños como Veracruz, San Luis Potosí, Querétaro, Puebla y Tamaulipas y cuentan con todos los elementos necesarios que son rocas generadoras, rocas almacén, rocas sello y trampa; dado origen a la vez a yacimientos convencionales o no convencionales.

Las Formaciones registradas en Hidalgo son: Huayacocotla, Cahuasas, Tepexic, Santiago, Tamán, Chipoco, Pimienta, Tamaulipas Inferior, Tamaulipas Superior, Tamabra, El Abra, Agua Nueva, San Felipe, Méndez y Chicontepec, las cuales se encuentran distribuidas por las Provincias Geológicas T-M y CPSMO.

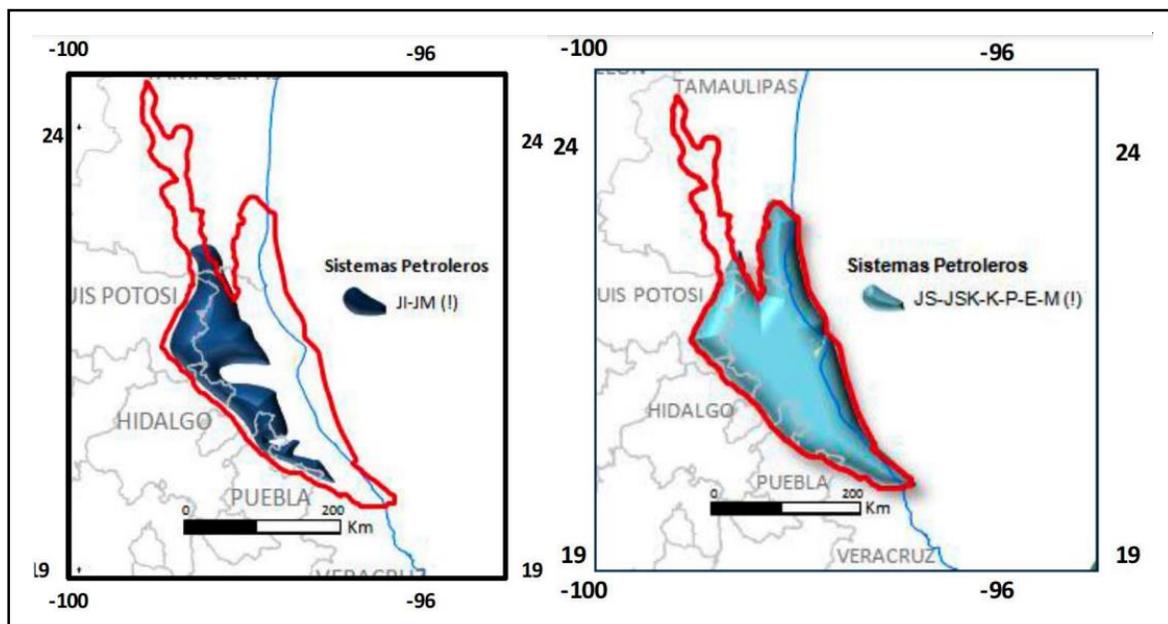


Figura 6 Extensión del sistema petrolero del Jurásico Inferior-Medio-Jurásico Medio (!) y Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!). Tomado de López-Arriaga (2013).

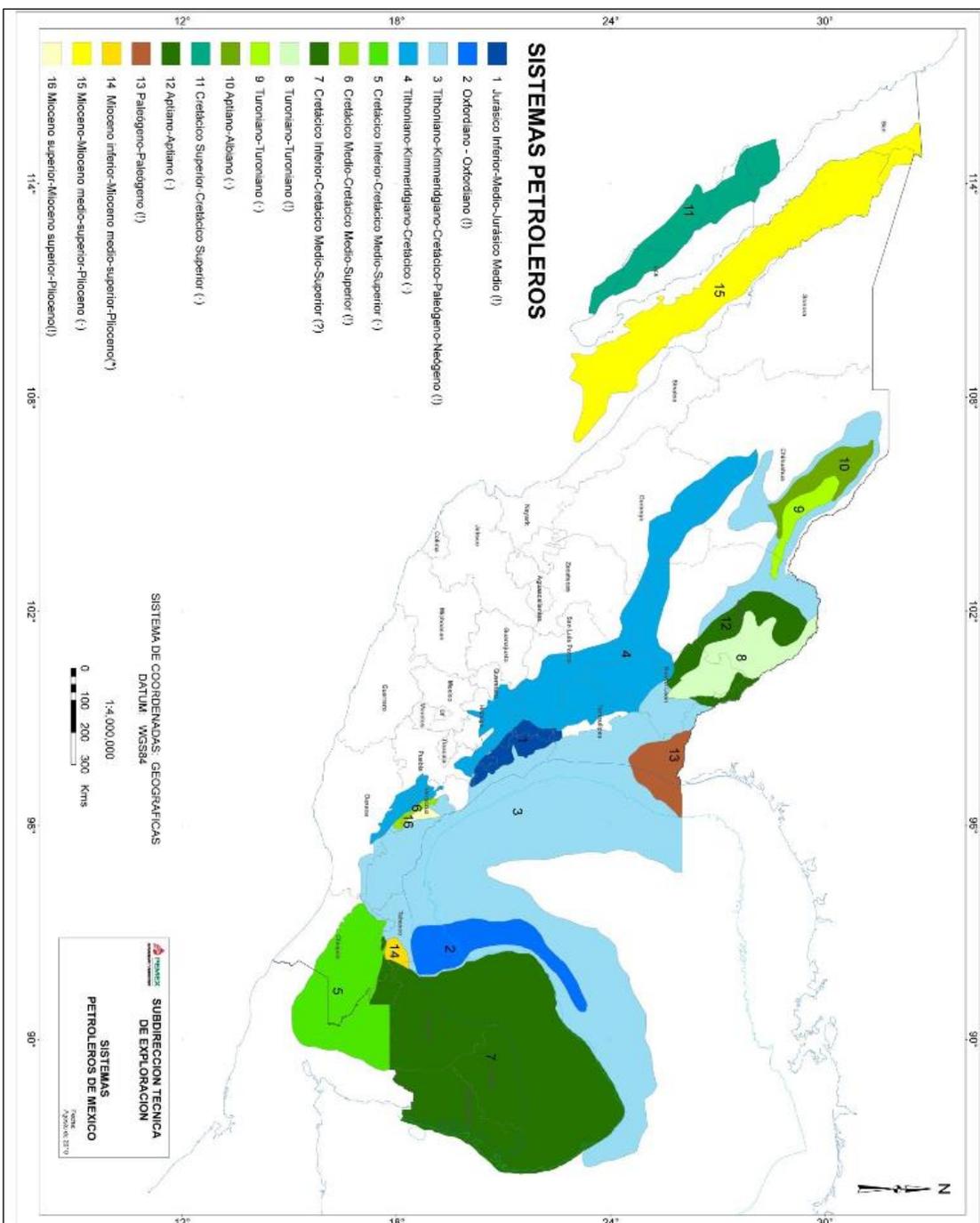


Figura 7 Mapa de los Sistemas Petroleros de México. Tomado de Santos-Segura (2017).

4.1.1 Roca generadora

Comenzando por las rocas generadoras de las Provincias T-M y CPSMO, las principales son del Jurásico Medio y Superior, pero también existen rocas generadoras del Jurásico Inferior, aunque no son tan importantes como las de las épocas anteriores. Las rocas generadoras del Jurásico Inferior-Medio se encuentran distribuidas dentro de las ventanas de generación de aceite en la parte oriental de la Provincia T-M y del gas hacia el occidente, a lo largo del frente del CPSMO (López-Arriaga, 2013). La presencia de gas en la porción más proximal con el CPSMO está dada debido a que hubo un mayor sepultamiento y calentamiento de las rocas generadoras en esta área de la Provincia T-M (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

Desde los 80's, PEMEX había catalogado como potencialmente generadora de hidrocarburos a la Formación Huayacocotla, especialmente en su parte superior (PEMEX, 1988). Se ha identificado su presencia en los sistemas petroleros Jurásico Inferior-Medio-Jurásico Medio (!) (López-Arriaga, 2013) y Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (·) (Eguiluz de Antuñano, 2017). Contiene una mezcla de kerógenos II y III (precursores de aceite y gas). Se le considera como roca madura-sobremadura, y lo largo del frente del CPSMO está ligada a la ventana de generación de gas y condensado.

Es muy probable que las lutitas del Jurásico Inferior-Medio (como las que conforman a la Formación Huayacocotla) no sean la roca generadora predominante en las Provincias T-M y CPSMO, pero se considera que estas rocas proveen los aceites y gases acumulados en las areniscas y limolitas del Jurásico Medio (López-Arriaga, 2013).

Para los sistemas petroleros Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) y Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (·), las rocas generadoras reportadas son las siguientes:

- Formación Santiago con kerógeno tipo I y II, pero con aportaciones de materia orgánica continental (kerógeno tipo III).
- Formación Tamán con kerógeno tipo II.
- Formación Pimienta con kerógeno tipo II.
- Formación Agua Nueva con kerógeno tipo II.
(González-García y Holguín-Quiñonez, 1992).
- Formación Chicontepec con kerógeno tipo III.
(Anda-Romero, 2013).

Las Formaciones Santiago, Tamán y Pimienta son generadoras de hidrocarburos líquidos y en menor proporción gas debido a que provienen de kerógenos tipo I y II (López-Arriaga, 2013). A pesar de que la Formación Agua Nueva es una roca generadora, se han descartado en importancia debido que esta Formación se encuentra aún en fase inmadura (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b). Por otro lado, los miembros Inferior y Medio de la Formación Chicontepec tienen un potencial generador

principalmente de gas, esto debido al kerógeno tipo III que contiene, pero en mayor parte de la Provincia T-M, la materia orgánica está aún en la fase inmadura (Anda-Romero, 2013).

Estas rocas generadoras se encuentran soportando la carga litostática de las Formaciones sobreyacientes del resto del Mesozoico y Cenozoico, con espesores superiores a los 4 kilómetros. La ventana de generación de aceite se encuentra a profundidades de entre los 3-5 km, mientras que entre 5 y 6 km se encuentran en la ventana de generación de gas húmedo (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

4.1.2 Roca almacén

Debido a la variedad de kerógenos identificados en rocas generadoras del sistema petrolero Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) se generó aceite y gas asociado que se almacenó en rocas carbonatadas del Cretácico Inferior entre 2500 y 3500 m; en las calizas arrecifales, pre-arrecifales y de talud del Cretácico Medio a profundidades de 600 a 4700 m con aceites de 15 a 36° API; en los carbonatos fracturados del Cretácico Superior a una profundidad de 500 m con aceites de 11 a 18° API que están afectados por severa biodegradación y en las areniscas del Paleoceno-Eoceno donde se tienen aceites de 19 a 40° API (López-Arriaga, 2013).

De acuerdo con López-Arriaga (2013), las rocas almacén reconocidas en dicho sistema petrolero son las siguientes:

- Formación Tepexic: Con porosidad primaria la cual varía de 9 a 15%, mientras su permeabilidad se encuentra entre 0.2 y 300 mD. La mejor calidad de la roca almacén está relacionada con las facies oolíticas.
- Formación Tamaulipas Inferior: Los horizontes productores presentan porosidades entre 12 y 20%, siendo esta intercrystalina y secundaria por fracturamiento de calizas, provocado por una compactación diferencial. Tiene permeabilidad baja de 1 a 5 mD, la cual tiende a incrementar por la presencia de fracturas hacia la cima.
- Formación El Abra: La cima de la Formación es la que presenta la mejor calidad como roca almacén, debido a se presentan fenómenos de karsticidad, colapsamiento y porosidad vugular en calizas de plataforma que incrementan considerablemente la permeabilidad de la roca. Las porosidades determinadas son de tipo intergranular, intragranular, móldica y fracturas. La porosidad es de entre 14 y 35%, mientras que la permeabilidad llega alcanzar hasta 600 mD.
- Formación Tamabra: En las rocas de pie de talud carbonatado que conforman esta Formación se encuentran porosidades hasta de 30% y permeabilidades mayores a 1,000 mD.

- Formación Tamaulipas Superior: Con porosidad secundaria en calizas fracturadas.
- Formaciones Agua Nueva - San Felipe: Están conformadas por calizas arcillosas, cuya porosidad y permeabilidad están condicionadas por la presencia de fracturas. Los valores de porosidad varían entre 2 y 12%.
- Formación Chicontepec: Es la principal roca almacenadora donde se ha encontrado la mayor acumulación de aceite en areniscas turbidíticas. Cuenta con una porosidad promedio del 12% y permeabilidad baja de 0.5 mD. Chicontepec medio es considerado como roca almacén pues sus horizontes arenosos presentan moderadas porosidades y permeabilidades (Anda-Romero, 2013).

Con una posibilidad menor de ser almacenadoras de hidrocarburos se encuentran las Formaciones Cahuasas y Formación Chipoco, esta última se encuentra intensamente afectada por procesos de cementación y compactación, lo cual ha eliminado casi en su totalidad propiedades petrofísicas tales como la porosidad y permeabilidad de las rocas; sin embargo, no descarta la posibilidad de que exista acumulación de hidrocarburos en zonas que se encuentren fuertemente plegadas y que estén fracturadas (Aguayo-Camargo, 1977).

4.1.3 Roca sello

Finalmente, como roca sello identificadas de manera puntual en el sistema petrolero Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) se encuentran las siguientes Formaciones:

- Formación Pimienta: Conformada por las calizas arcillosas del Titoniano que se encuentran ampliamente distribuidas a excepción donde cambian a facies más terrígenas o se adelgazan sobre los altos de basamento o han sido erosionadas.
- Formación Méndez: El sello del Campaniano - Maastrichtiano está constituido por calizas arcillosas y margas de esta Formación (López-Arriaga, 2013).
- Formación Chicontepec: El miembro superior es considerado roca sello debido a su alto contenido arcilloso (Anda-Romero, 2013).

4.1.4 Trampas

En el sistema petrolero Jurásico Inferior-Medio-Jurásico Medio (!) las trampas son de tipo combinado asociadas a los bloques del rift del Triásico-Jurásico Temprano; para el sistema petrolero Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) los yacimientos se encuentran en trampas esencialmente estructurales y combinadas de diversos tipos y orígenes; finalmente en el sistema petrolero Titoniano-Kimmeridgiano-

Cretácico (·) las trampas son estructurales y combinadas con cierre contra falla (López-Arriaga, 2013)

Las trampas de tipo estratigráficas reportadas son por cambio de facies y paleorelieves, las estructurales se generaron por compresión (anticlinales, pliegues y zonas de fractura asociadas a fallas) y las mixtas son una combinación de las estratigráficas y estructurales como las de sub-discordancia.

Ejemplo de ello se aprecia en las siguientes Formaciones:

- Formación Tamaulipas Inferior: Estructurales, combinadas (anticlinales, bajo discordancia).
- Formación Tamaulipas Superior: Estratigráficas (por cambio de facies).
- Formación Tamabra: Combinadas (por cambio lateral de facies, paleorelieves y basculamiento).
- Formación El Abra: Estratigráficas (paleorelieves de depósito).
- Formación San Felipe: Estructurales (pliegues, anticlinales y zonas de fractura asociadas a fallas).
- Formación Chicontepec: Estratigráficas y combinadas (cambio lateral de facies, bajo discordancia, asociadas a pliegues) (López-Arriaga, 2013; Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

La formación de todas las trampas comenzó durante el evento compresivo de la orogenia Laramide durante el Paleoceno-Eoceno (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

Existen otras Formaciones que tiene condiciones geológicas diferentes, debido a que la roca generadora tiene una baja permeabilidad, lo cual las hace actuar también como roca almacén, roca sello y trampa, por lo tanto, el hidrocarburo queda alojado en una misma roca (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b). Esto ocurre en lutitas (oil shale y gas shale) por lo que su producción en cantidades comerciales demanda técnicas de perforación horizontal, fracturamiento hidráulico (fracking) y grandes volúmenes de agua y químicos con la finalidad de generar una porosidad secundaria que permita extraer al hidrocarburo retenido. A esto se le conoce como yacimientos no convencionales (Aguilar-Rodríguez, 2016).

Pemex inició trabajos de exploración a principios del 2010 en diferentes Provincias Petroleras de la República Mexicana, y la Provincia T-M ha sido reconocida como una de las Provincias más importantes relacionadas con los yacimientos no convencionales de hidrocarburos. Los principales de la Provincia T-M son los que se encuentran en las Formaciones Pimienta y Agua Nueva, que se encuentran actualmente en la ventana de generación de aceite-gas y tienen una baja complejidad geológica, lo cual hace relativamente más fácil su extracción (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a)

La diferencia entre yacimientos convencionales y no convencionales se explica mejor en la siguiente Figura.

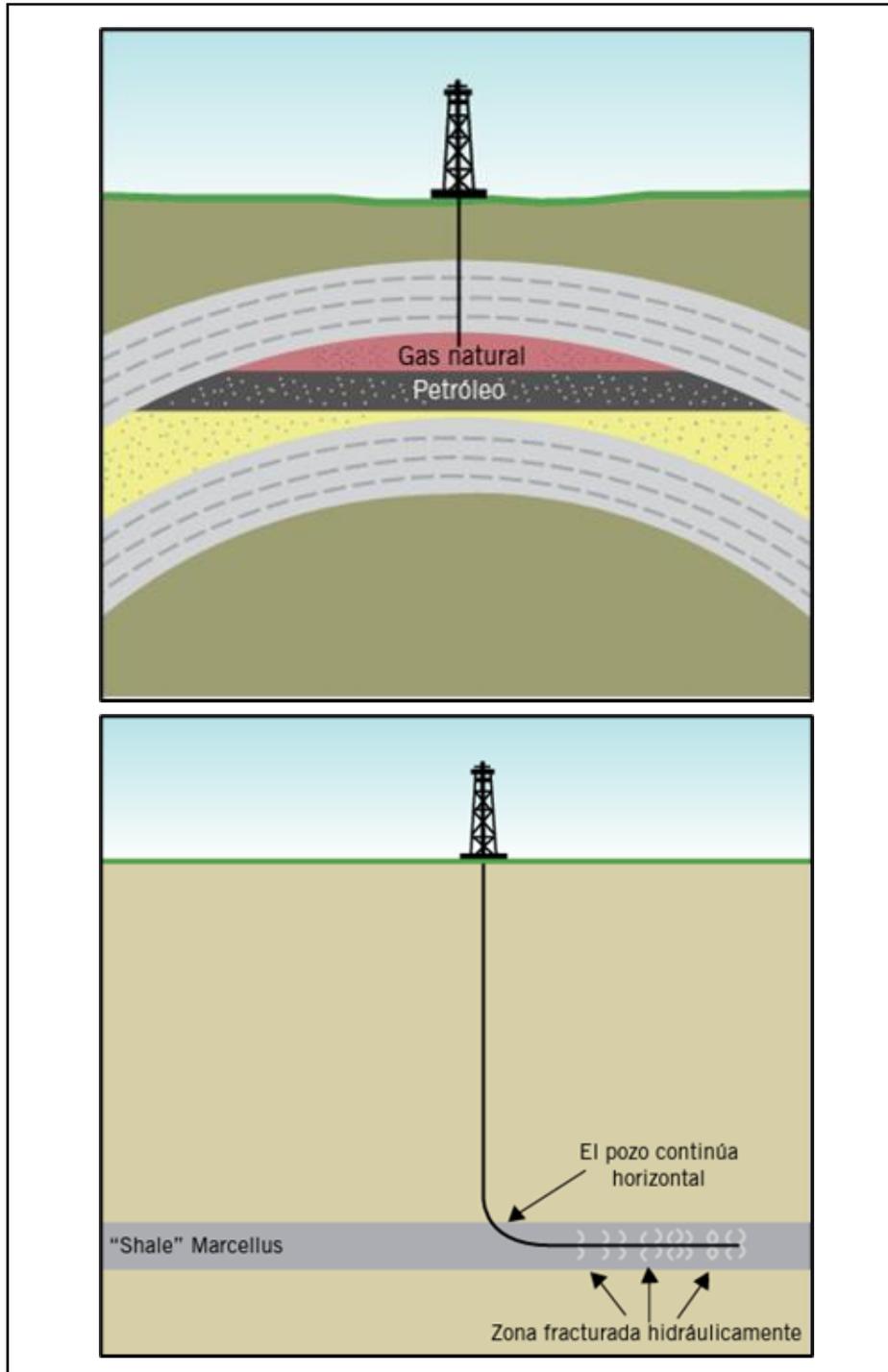


Figura 8 Geología de yacimientos convencionales (arriba) y no convencionales (abajo). Tomado de Blanco-Ybáñez y Vivas-Hohl (2012).

La información obtenida se expone de manera más clara en la siguiente tabla (Tabla 3).

Formaciones geológicas de interés para la industria petrolera.							
Era	Periodo	Época	Edad	Principales características.			
Mesozoico.	Jurásico.	Inferior.	Sinemuriano - Pliensbachiano.	Formación Huayacocotla.			
				Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Tlanchinol, Tianguistengo, Zacualtipán de Ángeles, Molango de Escamilla, Tenango de Doria, Tepehuacán de Guerrero y Metztlán.		
				Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Jurásico Inferior-Medio-Jurásico Medio (!) y Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (·).		
				Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora sobremadura.		
				Kerógeno reportado.		Mezcla de kerógenos II y III.	
				Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Vermiceras, Arnioceras, Coronicerias, Oxynoticerias, Echioceras, Paltechioceras, Ortechioceras, Phylloceras, Plesechioceras, Microderoceras, Metophioceras y Sulciferites.</i>
						Bivalvos.	<i>Posidontis, Neocrassina, Plagiostoma, Bositra, ?Parainoceramus y Posodonotis.</i>
						Pelecípodos.	x
						Crinoides.	<i>Isocrinidae y Pentacrinidae.</i>
						Braquiópodos.	x
						Plantas.	<i>Otozamites, Ptilophyllum, Zamites, Cheirolepis, Podozamites, Plazopteris y Phlebopteris.</i>
					Microfauna.	Foraminíferos.	x
				Radiolarios.		x	
				Calpionelidos.		x	
				Medio.	Aaleniano - Bathoniano.	Formación Cahuasas.	
	Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Tianguistengo, Huehuetla, Chapulhuacán y Tenango de Doria.					
	Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Sin dato preciso.					
	Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Posiblemente roca almacén o sello.					
	Tipos de trampas reportadas.		x				
	Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.			x	
			Bivalvos.			x	
			Pelecípodos.		x		
			Crinoides.		x		
			Braquiópodos.		x		
	Plantas.	<i>Equisetites, Ptilophyllum y Yuccites.</i>					
	Microfauna.	Foraminíferos.	x				
		Radiolarios.	x				
Calpionelidos.		x					
Bathoniano Superior - Calloviano Medio.	Formación Tepexic.						
	Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huehuetla, Pisaflores, Tepehuacán de Guerrero, Metztlán, Chapulhuacán, Molango de Escamilla y Zacualtipán.					
	Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).					
	Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca almacén.					
	Tipos de trampas reportadas.		x				
	Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Neuquenicerias y Reinekeia.</i>			
			Bivalvos.	x			
			Pelecípodos.	<i>Ostrea, Liogryphaea y Gryphaea.</i>			
Crinoides.			x				
Braquiópodos.			x				
Microfauna.	Foraminíferos.	x					
	Radiolarios.	x					
	Calpionelidos.	x					

Formaciones geológicas de interés para la industria petrolera.						
Era	Periodo	Época	Edad	Principales características.		
Mesozoico.	Jurásico.	Medio.	Calloviano.	Formación Santiago.		
				Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Pisaflores, Huehuetla, Molango de Escamilla y Tenango de Doria.	
				Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) y Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (-).	
				Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora.	
				Kerógeno reportado.		Mezcla de kerógenos I-II y en menor proporción III.
			Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Reineckeia, Discosphinctes, Gregoryceras (Gregoryceras) y Vinalesphinctes (Vinalesphinctes).</i>
					Bivalvos.	x
					Pelecípodos.	<i>Lucina.</i>
					Crinoides.	x
					Braquiópodos.	x
		Microfauna.		Foraminíferos.	x	
				Radiolarios.	x	
				Calpionelidos.	x	
				Formación Tamán		
				Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huehuetla, Pisaflores y Metztlán.	
		Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) y Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (-).			
		Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora.			
		Kerógeno reportado.		II.		
		Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Ataxioceras, Rasenia, Virgatosphinctes, Taramelliceras, Idoceras, Glochiceras, Ochotoceras, Aspidoceras, Subdichotomoceras, Hybonotoceras, Butticerias, Pseudolissoceras, Haploceras, Danubisphinctes y Sublithacoceras.</i>	
				Bivalvos.	x	
				Pelecípodos.	<i>Aulacomyaella.</i>	
				Crinoides.	x	
				Braquiópodos.	<i>Rhynchonella.</i>	
			Microfauna.	Foraminíferos.	x	
				Radiolarios.	Solo se reconoce a la familia Pantanelliidae.	
				Calpionelidos.	x	
Formación Chipoco.						
Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Chapulhuacán, Calnali, Tlanchinol y Molango de Escamilla					
Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Sin dato preciso.					
Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Posiblemente roca almacén en zonas plegadas o fracturadas.					
Tipos de trampas reportadas.		Posiblemente estructurales.				
Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Haploceras, Dichotomosphinctes, Idoceras y Glochiceras.</i>			
		Bivalvos.	x			
		Pelecípodos.	x			
		Crinoides.	x			
		Braquiópodos.	x			
	Microfauna.	Foraminíferos.	x			
		Radiolarios.	x			
		Calpionelidos.	x			
Superior.	Kimmeridgiano - Titoniano.					

Formaciones geológicas de interés para la industria petrolera.							
Era	Periodo	Época	Edad	Principales características.			
Mesozoico.	Jurásico.	Superior.	Títoniano.	Formación Pimienta.			
				Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Tenango de Doria.		
				Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) y Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (-).		
				Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora-almacén que también funciona como roca sello.		
				Kerógeno reportado.	II.		
				Tipo de yacimiento.	No convencional.		
				Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Mazapillites, Haploceras, Suarites, Parodontoceras y Proniceras.</i>
						Bivalvos.	x
						Pelecípodos.	x
						Crinoides.	x
	Braquiópodos.	x					
	Microfauna.	Foraminíferos.	x				
		Radiolarios.	x				
		Calpionelidos.	<i>Calpionella, Calpionellites y Tintinnopsella.</i>				
		Formación Tamaulipas Inferior.					
		Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Zimapán.				
	Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) y Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (-).					
	Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca almacén.					
	Tipos de trampas reportadas.			Estructurales y combinadas (anticlinales, sub discordancia).			
	Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Heteroceras, Australiceras, Acanthodiscus, Subthurmania, Spiticeras, Berriasella, Olocostephanus, Distoloceras, Psilotissotia, Pseudohaploceras, Melchiorites, Valdedorsella y Crioceratites.</i>			
			Bivalvos.	x			
			Pelecípodos.	x			
			Crinoides.	x			
			Braquiópodos.	x			
		Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Remaniella, Hedbergella, Leopoldina, Caucasella y Globigerinelloides.</i>			
			Radiolarios.	x			
			Calpionelidos.	<i>Calpionella, Calpionellites y Tintinnopsella.</i>			
			Cretácico.	Inferior.	Berriasiano - Valanginiano.	Berriasiano - Aptiano.	

Formaciones geológicas de interés para la industria petrolera.							
Era	Periodo	Época	Edad	Principales características.			
Mesozoico.	Cretácico.	Inferior.	Albiano.	Formación Tamaulipas Superior.			
				Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Meztitlán.		
				Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) y Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (:).		
				Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca almacén.		
				Tipos de trampas reportadas.		Estratigráficas (Cambio de facies).	
				Superior.	Cenomaniano.	Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.
		Bivalvos.	x				
		Pelecípodos.	x				
		Crinoides.	x				
		Braquiópodos.	x				
		Plantas.	x				
		Microfauna.	Foraminíferos.				<i>Oligostegina, Orbitolina, Nummoloculina, Dictyoconus, Bonetocardiella, Pithonella, Stomiosphaera, Ticinella, Globigerinelloides, Hedbergella, Calpionellospella, Favusella, Sabudia, Glomospira, Saccoma, Microcalamoides, Bishopella, Calcisphaerula, Stomiosphaera y Colomiella.</i>
			Radiolarios.				Únicamente se reportan los tipos espumeláridos y naseláridos.
			Calpionelidos.				x
			Formación Tamabra.				
			Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.				Meztitlán.
			Sistema petrolero en el que se ha identificado.				Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).
		Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca almacén.				
	Tipos de trampas reportadas.		Combinadas (por cambio lateral de facies, paleorelieve y basculamiento).				
	Inferior - Superior.	Aptiano - ¿Campaniano?.	Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Scaphites, Worthoceras y Turrilites.</i>	
					Bivalvos.	x	
					Pelecípodos.	x	
					Crinoides.	x	
					Braquiópodos.	x	
					Plantas.	x	
				Microfauna.	Foraminíferos.	x	
					Radiolarios.	x	
					Calpionelidos.	x	
					Formación El Abra.		
					Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Meztitlán y Francisco I. Madero.	
					Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).	
	Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca almacén.					
	Tipos de trampas reportadas.		Estratigráficas (Paleorelieves de depósito).				
Albiano - Santoniano.	Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Gasterópodos.	<i>Tronchus, Cerithium, Turritella, Actaeonella y Nerinea.</i>			
			Bivalvos.	<i>Toucasia, Eoradiolites, Caprina, Coalcomana, Caprinuloidea, Kimbleia, Mexicaprina, Hippurites, Durania, Pecten y Chondronta.</i>			
			Pelecípodos.	x			
			Crinoides.	x			
			Braquiópodos.	<i>Kingenia.</i>			
			Plantas.	x			
		Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Merlingina, Nummoloculina, Cuneolina, Peneroplis y Dicyclina.</i>			
			Radiolarios.	x			
			Calpionelidos.	x			

Formaciones geológicas de interés para la industria petrolera.							
Era	Periodo	Época	Edad	Principales características.			
Mesozoico.	Cretácico.	Superior.	Cenomaniano - Turoniano.	Formación Agua Nueva.			
				Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Molango de Escamilla y Tlanchinol.		
				Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!) y Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (-).		
				Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora inmadura que también funciona como roca almacén.		
				Kerógeno reportado.		II.	
				Tipos de yacimiento.		No convencional.	
				Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	<i>Iceramus, Phylloceras, Mantelliceras y Mammites.</i>
						Bivalvos.	<i>Inoceramus (Mytiloides).</i>
						Pelecípodos.	x
						Crinoides.	x
						Braquiópodos.	x
					Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Heterohelix, Pithonella, Rotalipora, Hedbergella, Calcisphaerula, Stomiosphaera, Marginotruncana, Whiteinella, Globotruncana y Dicarinella.</i>
						Radiolarios.	x
						Calpionelidos.	x
						Formación San Felipe.	
		Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huejutla, Calnali y Metztlán.				
		Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).				
		Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca almacén.				
		Tipos de trampas reportadas.		Estructurales (pliegues, anticlinales y zonas de fractura asociadas a fallas).			
		Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	x		
				Bivalvos.	<i>Ostrea plumosa, O. congesta, Durania manuelensis, Inoceramus sp., I. unduplicatus y Sauvagesia delgolyeri.</i>		
				Pelecípodos.	x		
				Crinoides.	x		
				Braquiópodos.	x		
			Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Marginotruncana sigali, M. renzi, M. indica, M. caniculata, M. difformis, Globotruncana fornicata, G. concavata, G. calcarata, G. lapparenti, G. elevata, G. arca, G. linneiana, G. californis, G. stuarti, G. stuartiformis, G. innominata, Dicarinella sp., D. renzi, D. concavata, Gumbelina sp., Pithonella ovalis, Calcisphaerula innomiata, Heterohelix sp. y Globigerina sp.</i>		
				Radiolarios.	<i>Dictyonitra multicostata, Rotalipora sp. y R. cushmani.</i>		
				Calpionelidos.	x		
Formación Superior - Campaniano Inferior.							
Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huejutla, Calnali y Metztlán.						
Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).						
Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca almacén.						
Tipos de trampas reportadas.		Estructurales (pliegues, anticlinales y zonas de fractura asociadas a fallas).					
Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	x				
		Bivalvos.	<i>Ostrea plumosa, O. congesta, Durania manuelensis, Inoceramus sp., I. unduplicatus y Sauvagesia delgolyeri.</i>				
		Pelecípodos.	x				
		Crinoides.	x				
		Braquiópodos.	x				
	Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Marginotruncana sigali, M. renzi, M. indica, M. caniculata, M. difformis, Globotruncana fornicata, G. concavata, G. calcarata, G. lapparenti, G. elevata, G. arca, G. linneiana, G. californis, G. stuarti, G. stuartiformis, G. innominata, Dicarinella sp., D. renzi, D. concavata, Gumbelina sp., Pithonella ovalis, Calcisphaerula innomiata, Heterohelix sp. y Globigerina sp.</i>				
		Radiolarios.	<i>Dictyonitra multicostata, Rotalipora sp. y R. cushmani.</i>				
		Calpionelidos.	x				

Formaciones geológicas de interés para la industria petrolera.								
Era	Periodo	Época	Edad	Principales características.				
Mesozoico.	Cretácico.	Superior.	Campaniano - Maastrichtiano.	Formación Méndez.				
				Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	San Felipe Orizatlán, Calnali y Huehuetla.			
				Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).			
				Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca sello.			
				Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites..	<i>Naefia, Hypophylloceras, Phyllopachyceras, Tetragonites, Saghalinites, Pseudophyllites, Gaudryceras, Anagaudryceras, Zelandites, Desmophyllites, Hauericeras, Pachydiscus, Menuites, Brahmaites, Baculites, Fresvillia, Diplomoceras, Solenoceras y Nostoceras.</i>	
						Bivalvos.	x	
						Pelecípodos.	x	
						Crinoides.	x	
						Braquiópodos.	x	
					Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Bolivina, Bulimina, Cibicides, Clavulina, Gaudryina, Gumbelina, Lagena, Planoglobulina, Pseudotextularia, Globotruncana, Racemiguembelina, Pseudoguembelina, Globotruncanella, Globigerinelloides, Heterohelix, Pseudoguembelina, Archaeoglobiferina, Anomalinoideas, Cibicoides, Clavulinoideas, Eouvigerina, Gyroidinoideas y Nuttallides.</i>	
							Radiolarios.	x
							Calpionelidos.	x
							Formación Chicontepec.	
Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huautla, San Felipe Orizatlán, Huejutla de Reyes, Atlapexco, Huehuetla y Xochiatipan.							
Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).							
Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora inmadura (Chicontepec Inferior y Medio). Roca almacén (Chicontepec Medio) y Roca sello (Chicontepec Superior).							
Kerógeno reportado.		III.						
Tipos de trampas reportadas.		Estratigráficas y combinadas (cambio lateral de facies, bajo discordancia, asociadas a pliegues).						
Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	x					
		Bivalvos.	x					
		Pelecípodos.	x					
		Crinoides.	x					
		Braquiópodos.	x					
	Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Rotalia, Aragonia, Anomalina, Globorotalia, Textularia, Planulina, Bolivina, Flabellina, Marssonella, Nodellum, Nuttallides, Cornuspira, Gumbelina, Globigerina, Hantkenina, Rectobolivina y Gaudryna.</i>					
			Radiolarios.	x				
			Calpionelidos.	x				
			Formación Chicontepec.					
			Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huautla, San Felipe Orizatlán, Huejutla de Reyes, Atlapexco, Huehuetla y Xochiatipan.				
Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).							
Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora inmadura (Chicontepec Inferior y Medio). Roca almacén (Chicontepec Medio) y Roca sello (Chicontepec Superior).							
Kerógeno reportado.		III.						
Tipos de trampas reportadas.		Estratigráficas y combinadas (cambio lateral de facies, bajo discordancia, asociadas a pliegues).						
Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	x					
		Bivalvos.	x					
		Pelecípodos.	x					
		Crinoides.	x					
		Braquiópodos.	x					
	Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Rotalia, Aragonia, Anomalina, Globorotalia, Textularia, Planulina, Bolivina, Flabellina, Marssonella, Nodellum, Nuttallides, Cornuspira, Gumbelina, Globigerina, Hantkenina, Rectobolivina y Gaudryna.</i>					
			Radiolarios.	x				
			Calpionelidos.	x				
			Formación Chicontepec.					
			Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huautla, San Felipe Orizatlán, Huejutla de Reyes, Atlapexco, Huehuetla y Xochiatipan.				
Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).							
Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora inmadura (Chicontepec Inferior y Medio). Roca almacén (Chicontepec Medio) y Roca sello (Chicontepec Superior).							
Kerógeno reportado.		III.						
Tipos de trampas reportadas.		Estratigráficas y combinadas (cambio lateral de facies, bajo discordancia, asociadas a pliegues).						
Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	x					
		Bivalvos.	x					
		Pelecípodos.	x					
		Crinoides.	x					
		Braquiópodos.	x					
	Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Rotalia, Aragonia, Anomalina, Globorotalia, Textularia, Planulina, Bolivina, Flabellina, Marssonella, Nodellum, Nuttallides, Cornuspira, Gumbelina, Globigerina, Hantkenina, Rectobolivina y Gaudryna.</i>					
			Radiolarios.	x				
			Calpionelidos.	x				
			Formación Chicontepec.					
			Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huautla, San Felipe Orizatlán, Huejutla de Reyes, Atlapexco, Huehuetla y Xochiatipan.				
Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).							
Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora inmadura (Chicontepec Inferior y Medio). Roca almacén (Chicontepec Medio) y Roca sello (Chicontepec Superior).							
Kerógeno reportado.		III.						
Tipos de trampas reportadas.		Estratigráficas y combinadas (cambio lateral de facies, bajo discordancia, asociadas a pliegues).						
Contenido paleontológico predominante (géneros taxonómicos).	Macrofauna.	Amonites.	x					
		Bivalvos.	x					
		Pelecípodos.	x					
		Crinoides.	x					
		Braquiópodos.	x					
	Microfauna.	Foraminíferos.	<i>Rotalia, Aragonia, Anomalina, Globorotalia, Textularia, Planulina, Bolivina, Flabellina, Marssonella, Nodellum, Nuttallides, Cornuspira, Gumbelina, Globigerina, Hantkenina, Rectobolivina y Gaudryna.</i>					
			Radiolarios.	x				
			Calpionelidos.	x				
			Formación Chicontepec.					
			Afloramientos reportados en el estado de Hidalgo.	Huautla, San Felipe Orizatlán, Huejutla de Reyes, Atlapexco, Huehuetla y Xochiatipan.				
Sistema petrolero en el que se ha identificado.	Tithoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).							
Elemento del sistema petrolero al que pertenece.	Roca generadora inmadura (Chicontepec Inferior y Medio). Roca almacén (Chicontepec Medio) y Roca sello (Chicontepec Superior).							
Kerógeno reportado.		III.						
Tipos de trampas reportadas.		Estratigráficas y combinadas (cambio lateral de facies, bajo discordancia, asociadas a pliegues).						

Tabla 3 Síntesis estratigráfica y geológico-petrolera del estado de Hidalgo. Elaboración propia.

4.2 POZOS DE PERFORACIÓN

De acuerdo con la información presentada por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b), en el estado de Hidalgo se ha realizado la perforación de 27 pozos entre los años de 1957 a 1990.

Estos pozos se encuentran distribuidos en 8 municipios que han sido de interés para la industria petrolera, los cuales son: Atotonilco de Tula (1 pozo), Francisco I. Madero (un pozo), San Felipe Orizatlán (dos pozos), Tlanchinol (un pozo), Huejutla de Reyes (ocho pozos), Atlapexco (tres pozos), Xochiatipan (un pozo) y Huautla (diez pozos).

De los 27 pozos distribuidos por todo el estado de Hidalgo, solo 12 pudieron encontrar hidrocarburos (aceite o gas) lo cual representa el 44%, pero a pesar de haber encontrado hidrocarburos, no hay datos donde se mencione el volumen, pero se infiere que no fueron en cantidades explotables debido a que todos los pozos se encuentran actualmente cerrados, inactivos o en abandono permanente.

Es necesario mencionar que 22 pozos son clasificados como “exploratorios”, los cuales son aquellos que se perfora en zonas donde no se había encontrado antes petróleo ni gas y que pueden perforarse en un campo nuevo o en una nueva Formación productora dentro de un campo existente. Los 5 pozos restantes están clasificados como “desarrollo”, y son aquellos pozos perforados con la finalidad de explotar, extraer y drenar las reservas de un yacimiento; el objetivo principal al perforar un pozo de desarrollo es aumentar la producción del campo, razón por la cual, se perforan dentro del área probada; sin embargo, algunos pueden resultar secos.

La mayoría de las perforaciones se realizaron sobre la Provincia T-M con un total de 24; en el área que comprende al CPSMO se perforó en 2 ocasiones y de forma paralela una perforación se llevó a cabo sobre la Faja Volcánica Transmexicana.

Como dato extra, existen muestras geológicas de todos estos pozos a manera de láminas delgadas, recortes de núcleos y muestras de canal las cuales se encuentran almacenadas en la Litoteca Nacional con sede en la ciudad de Pachuca, la cual además recibe muestras geológicas provenientes de las ciudades de Poza Rica (Veracruz) y Reinos (Tamaulipas).

Los resultados anteriormente se presentan de manera detallada en la siguiente tabla (Tabla 4) y en los mapas de los municipios Atotonilco de Tula (Figura 9), Francisco I. Madero (Figura 10), San Felipe Orizatlán (Figura 11), Tlanchinol (Figura 12), Huejutla de Reyes (Figura 15), Atlapexco (Figura 17), Xochiatipan (Figura 18) y Huautla (Figura 19).

Pozos de perforación ubicados en el estado de Hidalgo.												
Nombre del pozo	Numero de pozo	Provincia geológica	Municipio	Campo	Clasificación	Estado actual	Tipo de hidrocarburo	Año de registro	Inicio de perforación	Fin de perforación	Profundidad de perforación (en metros)	Trayectoria
Jasso	1	Faja Volcánica Transmexicana Cinturón	Atonilco de Tula	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1982	26-jun-81	25-sep-82	5002	Vertical
Ixmiquilpan	1	Plegado de la Sierra Madre Oriental	Francisco I. Madero	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1981	22-mar-80	29-may-81	3137	Vertical
Piedra Hincada	1	Tampico-Misantla	San Felipe Orizatlán	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1964	30-mar-63	16-mar-64	3113	Vertical
Cordon	1	Tampico-Misantla	San Felipe Orizatlán	No disponible	Exploratorio	Abandono permanente	-	1971	08-feb-70	23-ene-71	4501	Vertical
Picucuatla	1	Cinturón	Plegado de la Sierra Madre Oriental	No disponible	Exploratorio	Cerrado	Aceite	1964	23-abr-63	13-abr-64	2729	Vertical
Tehuettlan	1	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	No disponible	Exploratorio	Cerrado	Aceite	1963	03-ago-62	02-may-63	3387	Vertical
Candelaria	1	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	Candelaria	Exploratorio	Cerrado	Aceite	1962	03-may-60	10-mar-61	3503	Vertical
Candelaria	1D	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	Candelaria	Desarrollo	Cerrado	Aceite	1962	22-jun-75	19-ago-75	1950	Vertical
Candelaria	2	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	Candelaria	Exploratorio	Cerrado	Gas	1962	03-mar-61	05-nov-61	2866	Vertical
Candelaria	21	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	Candelaria	Desarrollo	Inactivo	Aceite	1962	21-dic-75	02-abr-76	2048.5	Vertical
Candelaria	42	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	Candelaria	Desarrollo	Cerrado	Aceite	1962	29-sep-75	25-nov-75	1950	Vertical
Candelaria	5	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	Candelaria	Exploratorio	Cerrado	Aceite	1962	16-dic-61	25-mar-62	2560	Vertical
Hules	1	Tampico-Misantla	Huejutla de Reyes	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1959	11-feb-58	04-feb-59	2552	Vertical
Cardona	1	Tampico-Misantla	Atlapexco	Cardona	Exploratorio	Inactivo	Aceite-Gas	1987	04-abr-81	24-jun-81	2500	Vertical
Atlapexco	1	Tampico-Misantla	Atlapexco	Atlapexco	Exploratorio	Cerrado	-	1988	06-jun-68	14-jun-68	206	Vertical
Atlapexco	1A	Tampico-Misantla	Atlapexco	Atlapexco	Exploratorio	Inactivo	Aceite-Gas	1988	26-jun-68	19-jun-69	4238.5	Vertical
Iztazoquico	1	Tampico-Misantla	Xochiatipan	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1989	01-ago-68	28-mar-69	3022	Vertical

Pozos de perforación ubicados en el estado de Hidalgo.												
Nombre del pozo	Numero de pozo	Provincia geológica	Municipio	Campo	Clasificación	Estado actual	Tipo de hidrocarburo	Año de registro	Inicio de perforación	Fin de perforación	Profundidad de perforación (en metros)	Traectoria
Tecoloco	1	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	Acetite	1958	17-jun-57	15-oct-57	1575.5	Vertical
Tecoloco	2	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1958	29-may-61	21-oct-61	2200	Vertical
Tzacuala	1	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1965	16-feb-65	22-nov-65	2749.5	Vertical
Tzacuala	2	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1965	29-sep-69	07-oct-70	3405	Vertical
Calabozo	1	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	Acetite	1970	18-ene-70	27-ago-70	2755	Vertical
Chalirgo	1	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1960	10-feb-60	13-abr-60	1347	Vertical
Cuachiquila	1	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	Acetite	1967	07-may-66	26-abr-67	3445	Vertical
Cuachiquila	101	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Exploratorio	Cerrado	-	1967	14-feb-90	14-jul-90	3433	Vertical
Cuachiquila	2A	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Desarrollo	Cerrado	Acetite	1967	20-ago-67	16-may-68	3290.5	Vertical
Cuachiquila	2B	Tampico-Misantla	Huautla	No disponible	Desarrollo	Cerrado	-	1967	08-oct-68	29-jul-69	3456	Vertical
Total	27											

Tabla 4 Información sobre los pozos de perforación del estado de Hidalgo. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.1 Atotonilco De Tula

En el municipio de Atotonilco de Tula se realizó la perforación del pozo Jasso No. 1 entre los años 1981 y 1982 sin encontrarse hidrocarburos. Este pozo junto a otras 13 perforaciones más conforma el pequeño grupo de exploración realizada en la Faja Volcánica. Actualmente se encuentra cerrado.

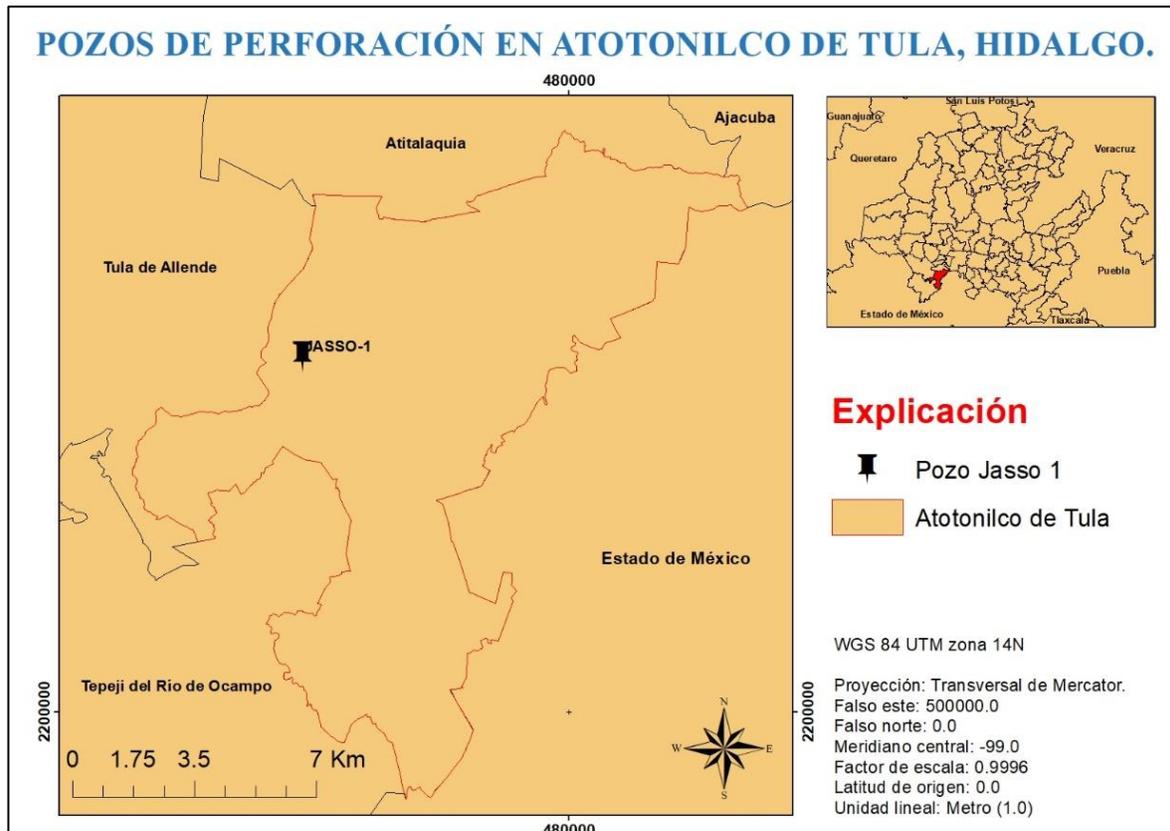


Figura 9 Pozos de perforación realizados en el municipio de Atotonilco de Tula. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.2 Francisco I. Madero

A pesar de que el pozo lleva por nombre Ixmiquilpan No. 1, la perforación se realizó en el municipio de Francisco I. Madero entre los años 1980 y 1981 sin encontrarse hidrocarburos. Actualmente se encuentra cerrado.

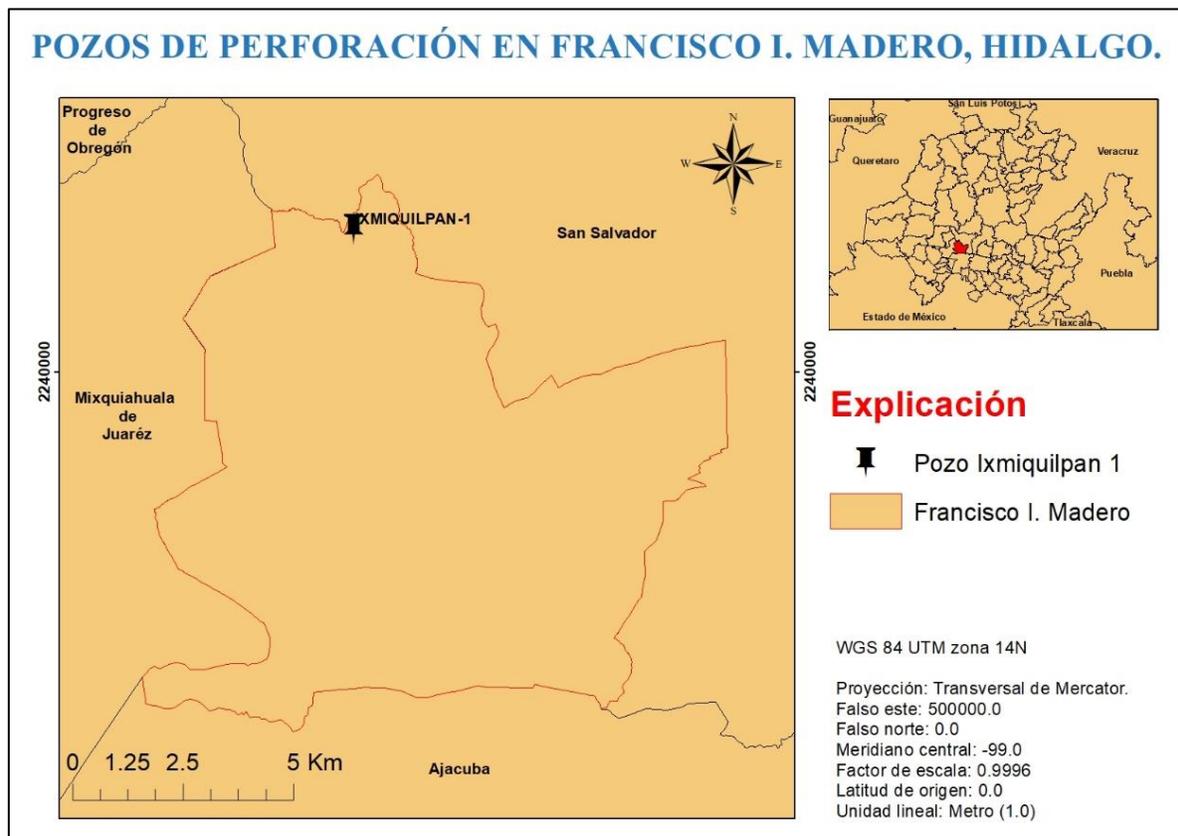


Figura 10 Pozos de perforación realizados en el municipio de Francisco I. Madero. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.3 San Felipe Orizatlán

En San Felipe Orizatlán se realizó la perforación del pozo Piedra Hincada No. 1 entre los años 1963 y 1964 sin encontrarse hidrocarburos. Actualmente se encuentra cerrado.

6 años después se hizo un nuevo intento por encontrar hidrocarburos con el pozo Cordon No. 1 entre 1970 y 1971 pero los esfuerzos fueron en vano ya que tampoco hubo reportes de hidrocarburos. El pozo se encuentra en abandono permanente.

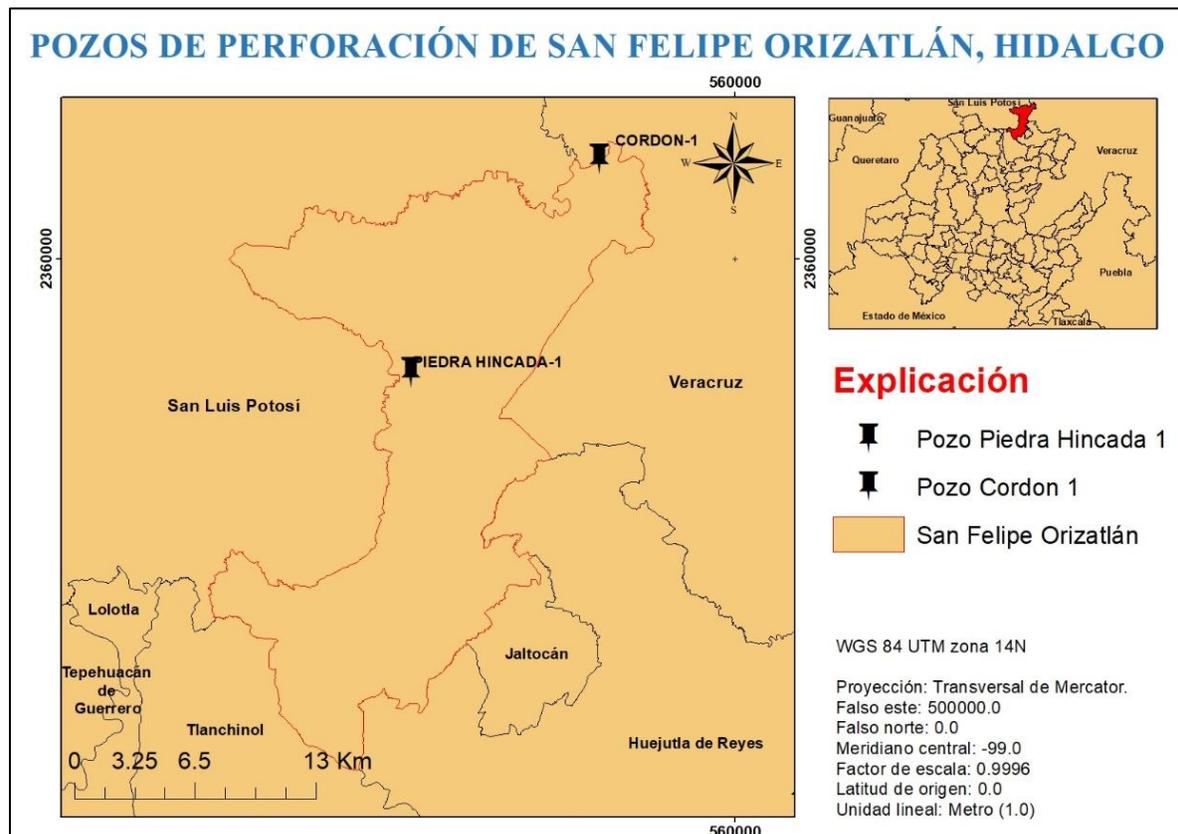


Figura 11 Pozos de perforación realizados en el municipio de San Felipe Orizatlán. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.4 Tlanchinol

Sobre los límites municipales de Tlanchinol y Huazalingo se hizo la perforación del pozo Pilcuatla No. 1 entre los años de 1963 y 1964. Se encontró aceite a 2729 metros de profundidad, pero no se reporta en que cantidades. Este es el único pozo dentro del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental en el estado de Hidalgo donde se encontró hidrocarburos. Actualmente se encuentra cerrado.



Figura 12 Pozos de perforación realizados en el municipio de Tlanchinol. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.5 Huejutla De Reyes

Huejutla de Reyes es el segundo municipio con mayor cantidad de perforaciones realizadas solo por detrás de Huautla.

Entre los años 1958 y 1976 se invirtió en la perforación de 8 pozos exploratorios, 6 de ellos se hicieron en el área de 2 km² correspondiente al Campo Candelaria, ubicado en la comunidad de Candelaria, Huejutla de Reyes, del cual se habla más a detalle en el siguiente apartado. Los pozos del Campo Candelaria llevan el mismo nombre y solo varía el número que los identifica. En los 6 pozos hubo manifestación de hidrocarburos; en Candelaria No. 1, 1D, 21, 42 y 5 se encontró aceite entre los 1950 y 3503 metros de profundidad; por otro lado, en Candelaria No. 2 solo hubo presencia de gas (no específica de que tipo) el cual se reportó hasta los 2866 metros de profundidad.



Figura 13 Imágenes tomadas en el campo Candelaria. Arriba: Árbol de válvulas de Candelaria 21. Abajo: Tanque de almacenamiento ubicado a un par de metros del árbol de válvulas Candelaria 21. Fotografías tomadas por Ballato-González (2022).

Sobre la base del árbol de válvulas Candelaria 21 el cual actualmente se encuentra inactivo. Había aceite derramado en la base del mismo, y enfrente de este se ubica el tanque de almacenamiento el cual parece abandonado desde hace tiempo; se puede apreciar en el las siglas “PEMEX”.



Figura 14 Imágenes tomadas en el campo Candelaria. Arriba: Árbol de válvulas Candelaria 1-D. Abajo: Acercamiento a las siglas “C 1-D” que identifican a la perforación. Fotografías tomadas por Ballato-González (2022).

También se pudo fotografiar a la perforación Candelaria 1-D, la cual se encuentra en estado de abandono, ya que incluso la vegetación ha comenzado a ocultar al árbol de válvulas.

De acuerdo con testimonios del comisariado ejidal de la comunidad de Candelaria, Juan Hernández Hernández, menciona que PEMEX visita la zona regularmente cada 6 meses con la finalidad de extraer el aceite almacenado en el tanque de almacenamiento o para limpiar cualquier derrame que se presente en las inmediaciones de las perforaciones.

Los últimos 2 pozos corresponden a Tehuetlán No. 1 y Hules No. 1, pero solo en el primero se reportó aceite.

Todos los pozos se encuentran cerrados en la actualidad, con excepción de Candelaria No. 21 el cual está inactivo.

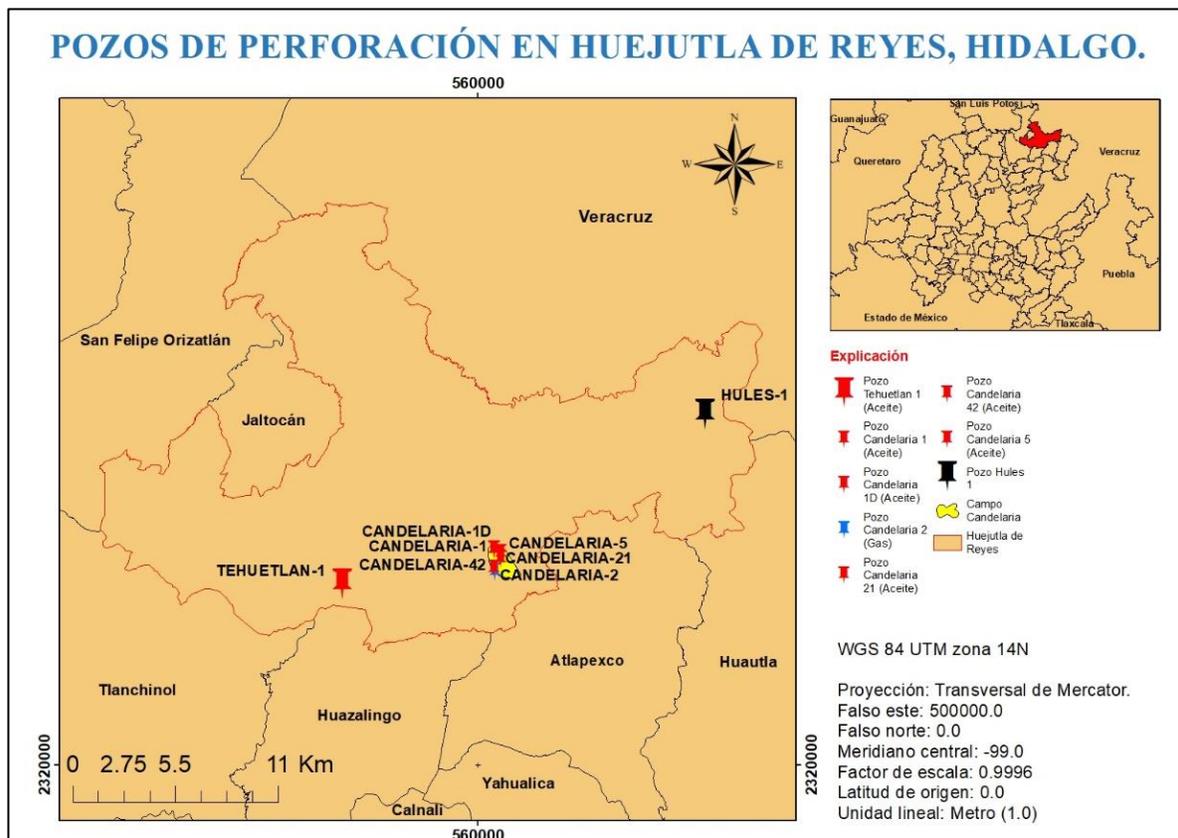


Figura 15 Pozos de perforación realizados en el municipio de Huejutla de Reyes. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.6 Atlapexco

En Atlapexco se perforó de manera casi simultánea los pozos Atlapexco No. 1 y 1A en la comunidad de Tecolotitla entre los años 1968 y 1969. Estos pozos se encuentran separados por una pequeña distancia de 7.13 metros, por este motivo no se visualizan ambos en el mapa. Solo en el segundo pozo hubo manifestación de aceite-gas a 4238.5 metros de profundidad. El pozo Atlapexco No. 1 se encuentra cerrado, mientras que Atlapexco No. 1A está inactivo. Sobre el mismo lugar se encuentra el Campo Atlapexco el cual es una pequeña superficie de 400 m² (Figura 17).



Figura 16 Imágenes tomadas del Campo Atlapexco. Arriba: Vista general del terreno. Inferior derecha: Tanque de almacenamiento. Inferior izquierda: Árbol de válvulas. Fotografías tomadas por Ballato-González (2022).

Se puede apreciar que el árbol de válvulas se encuentra completamente oxidado y en condiciones de abandono, pero de acuerdo con testimonios de personas que habitan en la comunidad de Tecolotitla, Atlapexco, PEMEX visita la zona regularmente cada 6 meses con la finalidad de extraer el aceite almacenado en el tanque de almacenamiento y así mismo limpiar cualquier derrame que se presente en la base del mismo.

12 años después se hizo una tercera perforación en el año de 1981 siendo la correspondiente al pozo Cardona No. 1. Al igual que el pozo Atlapexco 1A, se encontró aceite-gas a 2500 metros de profundidad. Hoy en día el lugar se encuentra cerrado. Sobre el mismo lugar se encuentra el Campo Cardona el cual tiene una superficie de 12100 m².



Figura 17 Pozos de perforación realizados en el municipio de Atlapexco. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.7 Xochiatipan

En el municipio de Xochiatipan se realizó solamente una perforación entre los años 1968 y 1969, la cual corresponde al pozo Iztazoquico No. 1, donde no se encontraron hidrocarburos. Actualmente se encuentra cerrado.

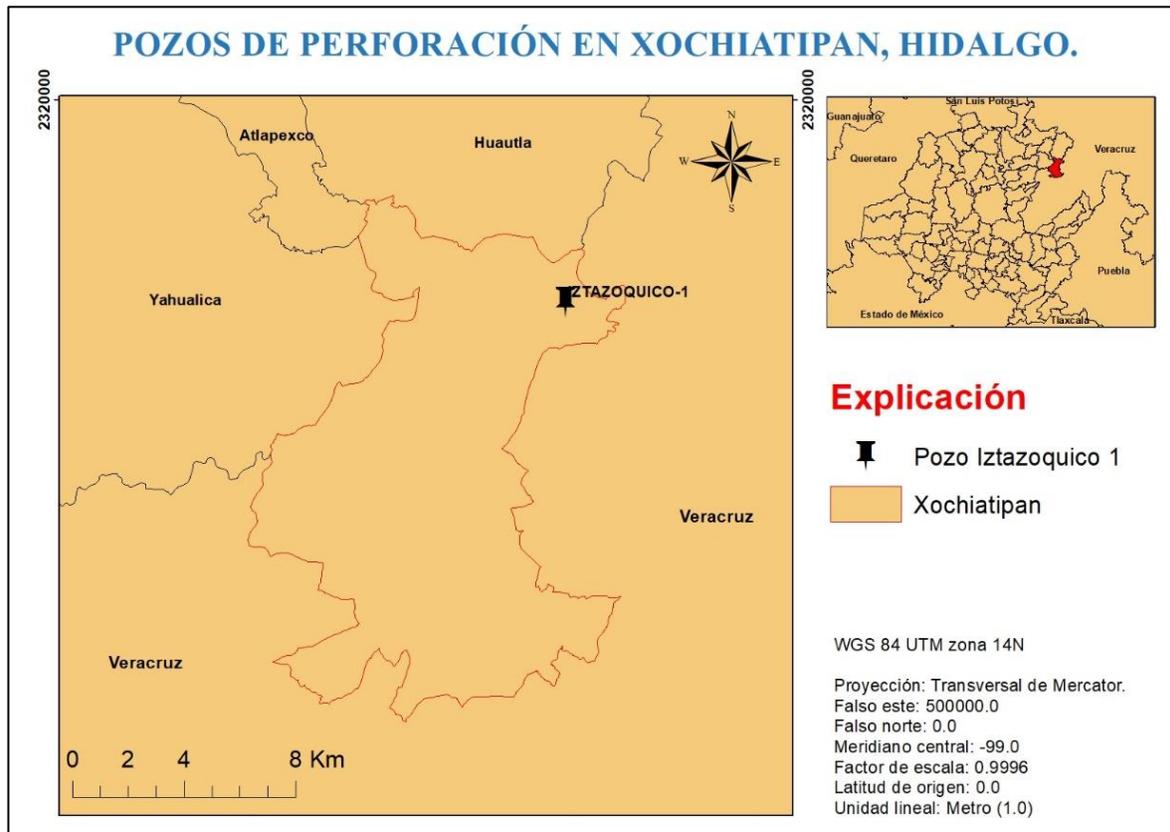


Figura 18 Pozos de perforación realizados en el municipio de Xochiatipan. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.2.8 Huautla

El municipio de Huautla es donde se ha realizado la mayor cantidad de pozos en el estado de Hidalgo, pues entre 1957 y 1990 se realizaron un total de 10 perforaciones.

El primer pozo que se perforó fue Tecoloco No. 1 en 1957, en donde se encontró aceite a 1575.5 metros de profundidad. Este pozo tiene relevancia histórica ya que representa la primera perforación realizada en el estado de Hidalgo para localizar hidrocarburos. 4 años después se comenzó a trabajar en el pozo Tecoloco No. 2, pero no se tuvo éxito para localizar hidrocarburos.

En 1960 se hizo una pequeña perforación que duro solamente 2 meses con el denominado pozo Chalingo No. 1, en el cual tampoco se encontró hidrocarburos.

Los pozos Tzacuala No. 1 y 2 intentaron localizar hidrocarburos entre 1965 y 1970 pero no se tuvo el resultado esperado.

El pozo Calabozo No. 1 comenzó a perforarse en enero de 1970 y terminó en agosto del mismo año, y se encontró aceite a los 2755 metros bajo tierra.

Finalmente, los pozos Cuachiquitla No. 1 y 2A encontraron aceite entre los 3290.5 y 3445 metros de profundidad. Cuachiquitla No. 2B no localizó hidrocarburos.

20 años después se hizo la última perforación registrada en el estado de Hidalgo con el pozo Cuachiquitla No. 101 donde tampoco hubo manifestación alguna de aceite o gas.

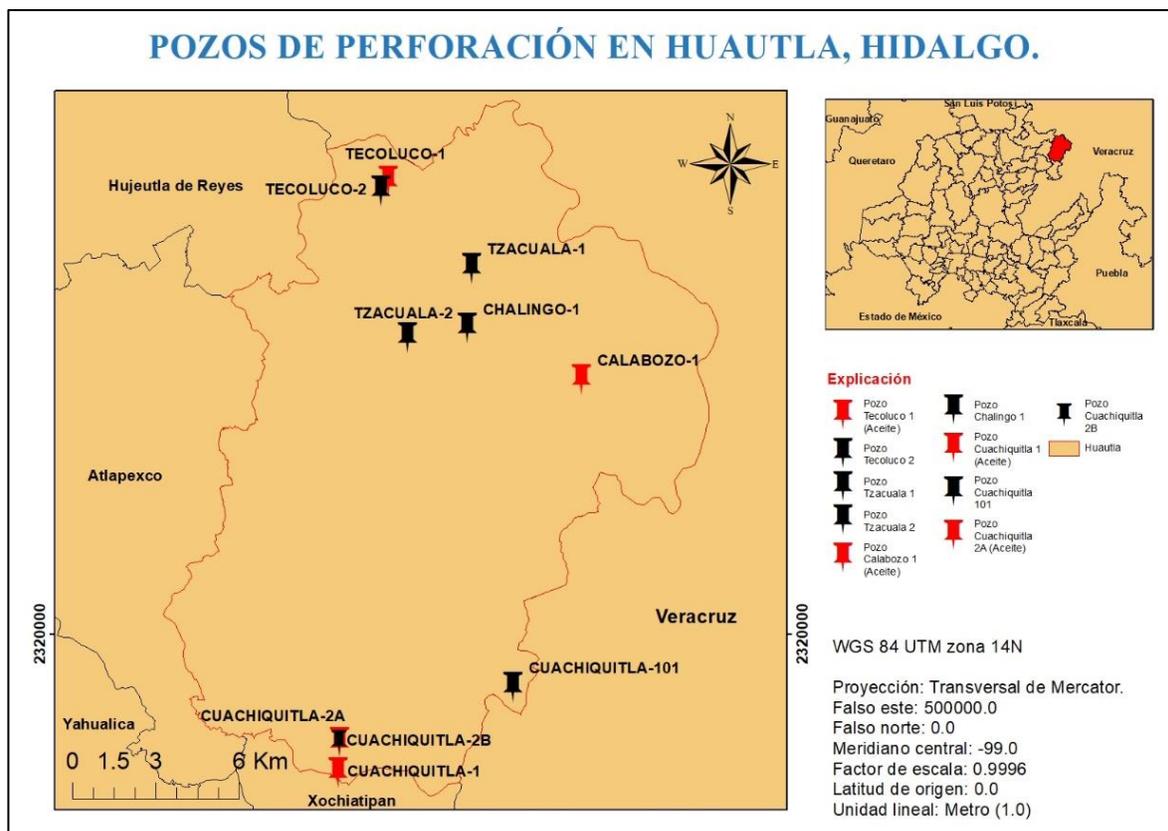


Figura 19 Pozos de perforación realizados en el municipio de Huautla. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

4.3 CAMPOS PETROLEROS

De acuerdo con lo estipulado por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b), los campos pueden ser divididos en 2 tipos:

Campos con reservas: Son áreas que consisten en uno o varios yacimientos agrupados o relacionados de acuerdo a los mismos aspectos como pueden ser geológicos, estructurales o estratigráficos.

Áreas con recursos: Representan las áreas de exploración en las que se predijo la presencia de hidrocarburos en ciertas cantidades. Las evaluaciones de estos recursos son enfocadas en aquellas cantidades que potencialmente pueden ser recuperadas y comercializadas en proyectos comerciales.

En el estado de Hidalgo existe 1 campo con reserva y 3 áreas con recursos; los cuales son Pastoría, Candelaria, Atlapexco y Cardona respectivamente.

El campo Pastoría (Figuras 20 y 21) fue descubierto en el año de 1979 mediante el pozo Pitepec No. 1 y se distribuye entre los municipios de Huautla (Hidalgo) y Chicontepec (Veracruz). La superficie del campo es de 138.01 km² y se encuentra dentro de la asignación AR-0266 - Campo Pastoría. Tiene un estatus actual de producción con vigencia hasta el 2046 y se encuentra operado por PEMEX. Al día de hoy, en este campo se han perforado 8 pozos únicamente en el estado de Veracruz (Pastoría No. 501, 847,1023 y 1448; Camaitlán No. 1 y 1A; Pachitepec No. 1; Pitepec No. 1) de los cuales 2 son pozos productores y 2 son pozos inyectoros. Resulta interesante que el método de recuperación del hidrocarburo en esta zona es mediante la inyección de CO₂ (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2021a).

CAMPO PASTORÍA, ENTRE LOS ESTADOS DE HIDALGO Y VERACRUZ.

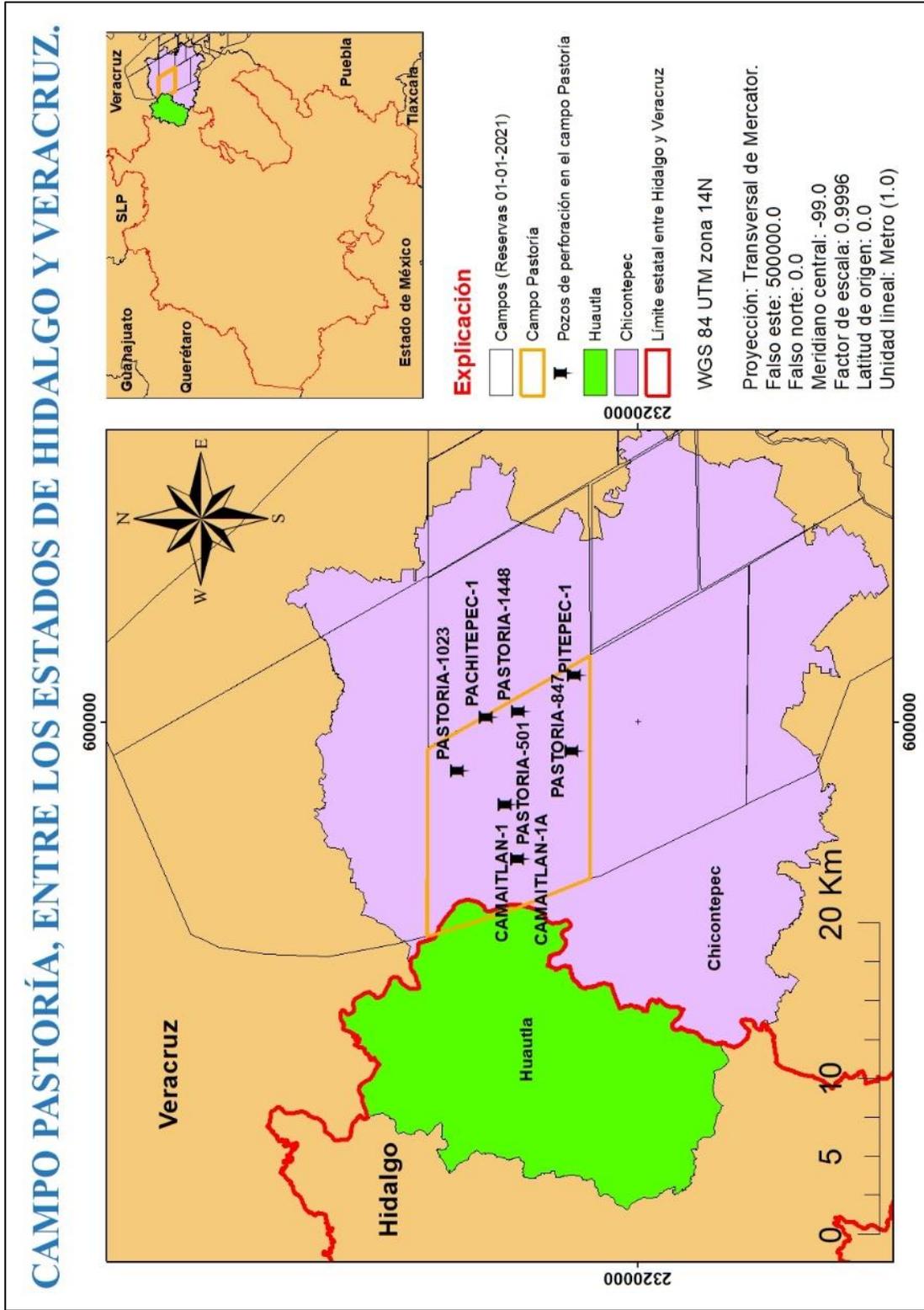


Figura 20 Límites del campo petrolero "Pastoria". Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

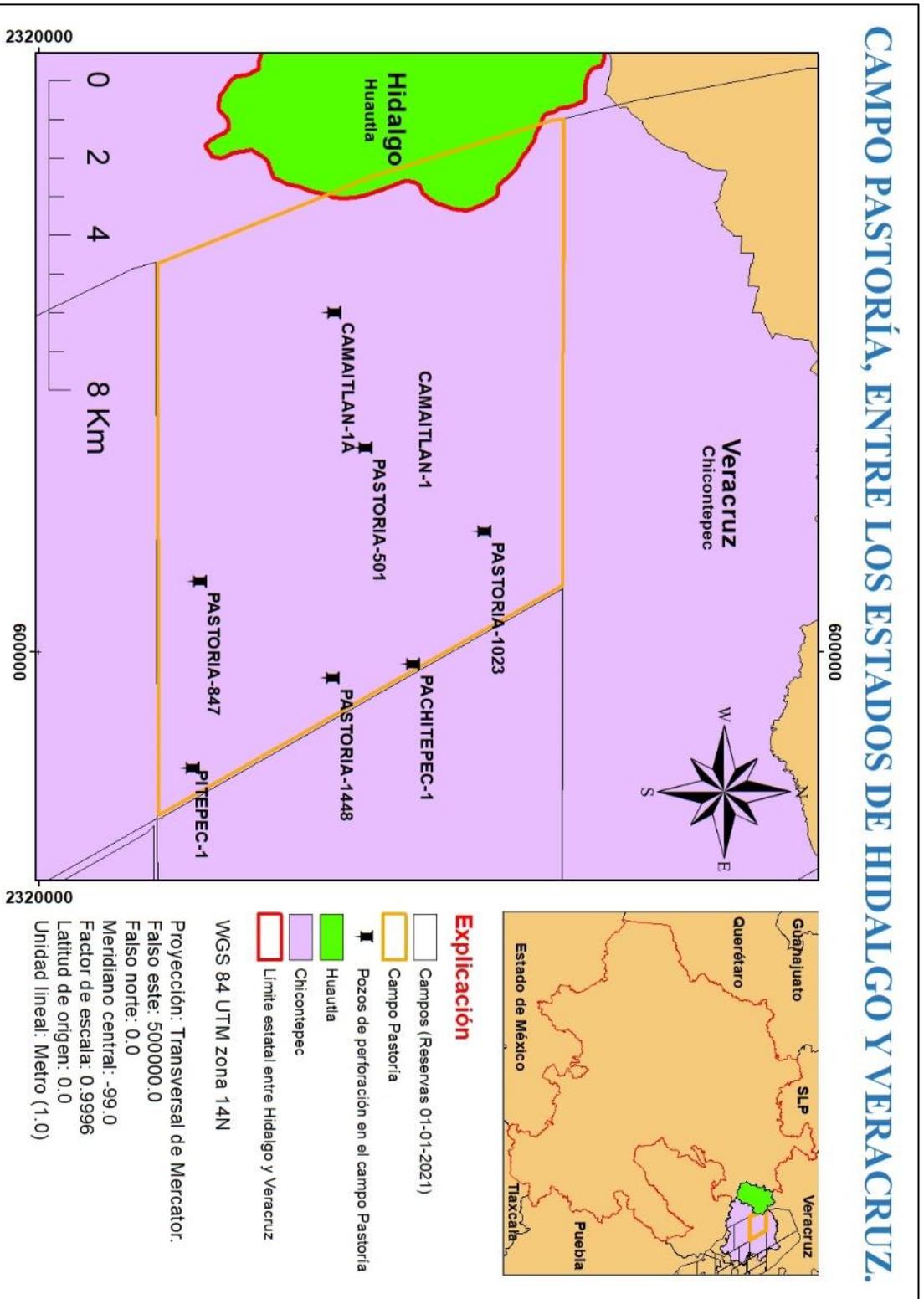


Figura 21 Acercamiento a los límites del campo petrolero “Pastoria”. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

El campo Candelaria se encuentra en el municipio de Huejutla de Reyes (Hidalgo), tiene un área de 1.9687 km² y fue descubierto en el año de 1960 mediante el pozo Candelaria No. 1. En este campo se han perforado 6 pozos (los cuales se mencionaron en el apartado anterior) y al día de hoy se encuentra cerrado.

El campo Atlapexco se localiza dentro del municipio del mismo nombre en el estado de Hidalgo. Es el campo más pequeño que se encuentra en dicho estado, pues su superficie es de apenas 400m². Se descubrió en el año de 1968 mediante el pozo Atlapexco No. 1, y en el mismo año se perforó el segundo y último pozo el cual es Atlapexco No 1A. Actualmente se encuentra cerrado.

Finalmente, el campo Cardona, el cual se ubica de igual forma en Atlapexco, tiene una superficie de 12,100 m², lo cual es considerablemente mayor en comparación con el campo Atlapexco. Se descubrió en el año de 1981 gracias al pozo homónimo No. 1. Se encuentra cerrado desde el año 2003 (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2021a).

La tabla presentada a continuación (Tabla 5) además de resumir y mencionar las características generales de los 4 campos petroleros del estado de Hidalgo, incluye datos sobre las reservas de cada campo, aunque no hay información suficiente de todos los apartados.

Campos petroleros en el estado de Hidalgo															
Nombre	Clasificación del campo	Provincia geológica	Estado	Municipios	Tipo	Superficie	Cantidad de pozos perforados	Tipo de fluido	° API	Volumen original de crudo 1P (MMb)	Volumen original de gas 1P (MMMMpc)	Reserva Remanente 1P (MMbpc)	Reserva Remanente 2P (MMbpc)	Reserva Remanente 3P (MMbpc)	Volumen Original Remanente (MMbpc)
Pastoria	Área con reservas	Tampico-Msantla	Veracruz e Hidalgo	Chicontepec (En Veracruz), Huautla (En Hidalgo)	Terrestre	138.01 km ²	8	Acetite ligero	32° (Acetite ligero)	33.85	13.54	4.8	207.3	480.6	4,284.40
Candelaria	Área con recursos	Tampico-Msantla	Hidalgo	Huejutla de Reyes	Terrestre	1,9687 km ²	6	Acetite ligero	32° (Acetite ligero)	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	0.4
Cardona	Área con recursos	Tampico-Msantla	Hidalgo	Atlapexco	Terrestre	12100 m ²	1	Acetite ligero	33° (Acetite ligero)	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	0
Atlapexco	Área con recursos	Tampico-Msantla	Hidalgo	Atlapexco	Terrestre	400 m ²	2	Acetite	32° (Acetite ligero)	0.15	0.05	0	0	0	0.2

Unidades: Millones de barriles (MMb), Millas de millones de pies cúbicos (MMMMpc), Millones de barriles de petróleo crudo equivalente (MMbpc).

Tabla 5 Información sobre los campos petroleros del estado de Hidalgo. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021a).

El volumen original representa la cantidad de crudo o gas que se estima existe originalmente en el yacimiento, y está confinado por límites geológicos y de fluidos.

Las reservas son el volumen de hidrocarburos en el subsuelo, calculado a una fecha dada a condiciones atmosféricas, que se estima será producido técnica y económicamente, bajo el régimen fiscal aplicable, con cualquiera de los métodos y sistemas de extracción aplicables a la fecha de evaluación.

La reserva original es la fracción del recurso que podrá obtenerse al final de la explotación del yacimiento. La reserva remanente es el volumen de hidrocarburos medido a condiciones atmosféricas, que queda por producirse económicamente de un yacimiento a determinada fecha, con las técnicas de explotación aplicables; es la diferencia entre la reserva original y la producción acumulada de hidrocarburos a una fecha específica.

La reserva 1P es la reserva probada; la reserva 2P es la suma de las reservas probadas más las reservas probables; la reserva 3P es la suma de las reservas probadas más las reservas probables más las reservas posibles (Secretaría de Energía, 2018).

4.4 ASIGNACIONES VIGENTES

Una asignación es el acto jurídico administrativo mediante el cual la Secretaría de Energía, a través de la Subsecretaría de Hidrocarburos y con previa opinión de la Comisión Nacional de Hidrocarburos, otorga exclusivamente a un asignatario el derecho para realizar actividades como la exploración, extracción o resguardo de hidrocarburos en el área que se le ha asignado, por una duración específica (Secretaría de Energía, 2018).

El Mapa de la Industria de Hidrocarburos publicado por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b) indica que al estado de Hidalgo se le han otorgado 4 áreas para realizar trabajos de exploración y/o extracción de hidrocarburos las cuales son AR-0266-M - Campo Pastoría, AE-0122-M - TAMPICO MISANTLA, AE-0179 – MAGUEY, AE-0181 – KUKNI (Figuras 22 y 23). Estas asignaciones no solo se encuentran dentro de Hidalgo, pues comparten territorio con otros estados como Veracruz, San Luis Potosí o Puebla (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2021b). La tabla 6 resume las principales características que se encuentran disponibles para el público.

Es necesario aclarar que el Mapa de la Industria de Hidrocarburos señala que son 4 las asignaciones que se ocupan una porción del territorio hidalguense, pero la Secretaría de Energía solo reconoce que las asignaciones AR-0266-M - Campo Pastoría, AE-0122-M - TAMPICO MISANTLA y AE-0181 – KUKNI se encuentran dentro de Hidalgo, mientras que la asignación AE-0179 – MAGUEY solo se distribuye por los estados de San Luis Potosí y Veracruz (Secretaría de Energía, 2022).

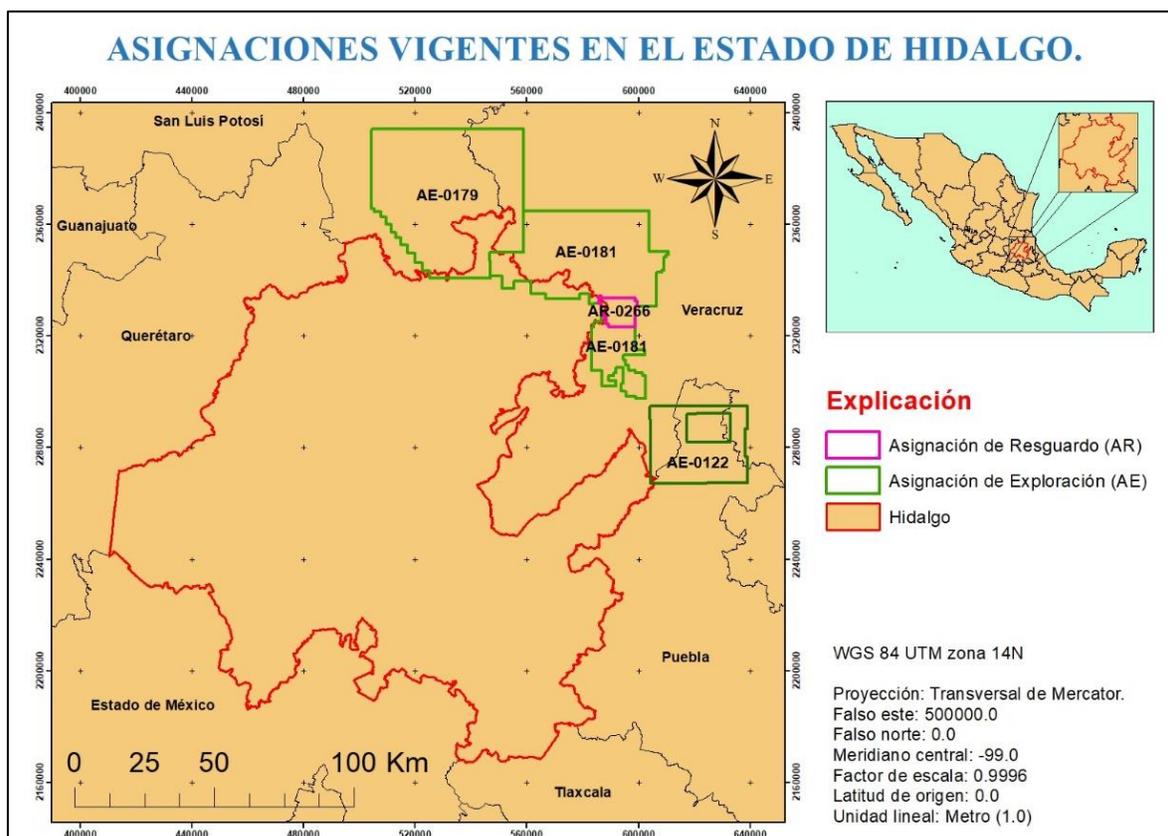


Figura 22 Asignaciones vigentes en el estado de Hidalgo. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

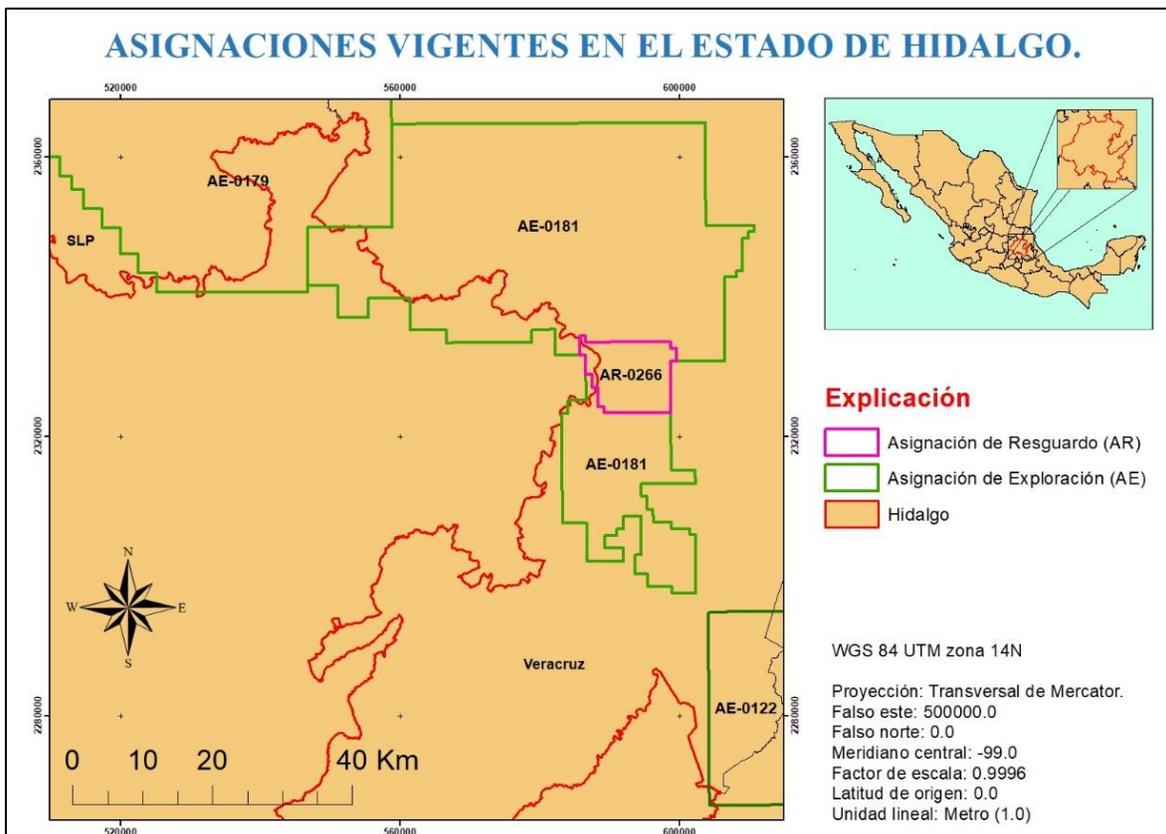


Figura 23 Acercamiento a las asignaciones vigentes en el estado de Hidalgo. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b).

Asignaciones vigentes en el estado de Hidalgo									
Asignación original	Ultimo nombre de asignación	Estatus	Tipo	Actividad a la que tienen derecho	Clase	Estado	Municipios	Fecha de otorgamiento	Vigencia (en años)
AR-0266 - Campo Pastoría	AR-0266-M - Campo Pastoría	Vigente	AR (Asignación de resguardo)	Extracción	Terrestre	Veracruz e Hidalgo	Chicontepec (Veracruz) y Huautla (Hidalgo)	29/08/2014	Hasta que se asigne en una licitación
AE-0122 - TAMPICO MISANTLA	AE-0122-M - TAMPICO MISANTLA	Vigente	AE (Asignación de exploración)	Exploración	Terrestre	Hidalgo y Puebla	Huehuetla (Hidalgo) y Castillo de Teayo, Francisco Z. Mena, Ixhuatlán de Madero, Jalpan, Pantepec, Tihuatlán, Venustiano Carranza (Puebla)	28/08/2019	30
AE-0179 - MAGUEY	AE-0179 - MAGUEY	Vigente	AE (Asignación de exploración)	Exploración y Extracción	Terrestre	San Luis Potosí, Hidalgo y Veracruz	Axtla de Terrazas, Coxcatlan, Huehuetlan, Matlapa, San Antonio, San Martin Chalchicuautla, Tampacan, Tampamolón Corona, Tamazunchale, Tancanhuitz, Tanlajas, Tanquian de Escobedo, Xiitla, (San Luis Potosí), Lolotla, San Felipe Orizatlán, Tlanchinol (Hidalgo) y Chiconmel, Platón Sanchez, Tempoal (Veracruz)	29/03/2021	31 años contados a partir del 29 de marzo de 2021
AE-0181 - KUKNI	AE-0181 - KUKNI	Vigente	AE (Asignación de exploración)	Exploración y Extracción	Terrestre	Veracruz e Hidalgo	Benito Juárez, Chalma, Chiconmel, Chicontepec, Chontla, Ixcatepec, Ixhuatlán de Madero, Platón Sanchez, Tantoyuca (Veracruz) y Atlapexco, Huautla, Huejutla de Reyes, Jaltocán, San Felipe Orizatlán (Hidalgo)	29/03/2021	33 años contados a partir del 29 de marzo de 2021

Tabla 6 Información sobre las asignaciones vigentes del estado de Hidalgo. Modificado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2021b) y Secretaría de Energía (2022).

CAPITULO V - DISCUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos, queda demostrado que en el estado de Hidalgo hay presencia de rocas generadora-almacén-sello las cuales integran al menos tres sistemas petroleros que ya han sido estudiados en estados vecinos como Veracruz y Puebla, donde se ha demostrado que cuentan con las características necesarias para que haya dado la generación, migración y acumulación de hidrocarburos (aceite, condensado y gas).

La zona de mayor interés para la exploración y explotación petrolera a futuro en el estado de Hidalgo es al noreste, sobre la parte oriental de la Provincia T-M donde hay presencia de aceite ligero y condensado y a lo largo del frente del CPSMO con gas (López-Arriaga, 2013). No resulta muy viable realizar exploración en el núcleo del CPSMO, debido a que su exploración es compleja y se han reconocido dos riesgos en la prospección petrolera; primero, la mayoría de las rocas almacén y sello están aflorando (Eguiluz de Antuñano, 2017); segundo, todos los datos geoquímicos de las rocas aflorantes indican que las rocas generadoras están inmaduras (Agua Nueva) o sobremaduras (Pimienta, Tamán y Santiago) (Patiño-Ruiz *et al.*, 2013). Por este motivo, en la actualidad no se han descubierto yacimientos de hidrocarburos económicamente explotables y tampoco se cuenta con estimación de recursos prospectivos (Secretaría de Energía, 2019).

Para que las rocas generadoras estén en su fase madura es necesario que se encuentren a profundidades de entre 1000 y 3000 metros para que el kerógeno presente en dichas rocas comience su proceso de transformación y se pueda generar aceite (ventana de aceite) (Tissot y Welte, 1984). Esto queda comprobado en la Formación Pimienta en Veracruz, donde las áreas prospectivas de esta Formación se encuentran a profundidades de entre 1400 y 3000 metros (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. b). Si la profundidad de enterramiento es mayor a los 3000 metros, entonces comenzara la ventana de generación de gas húmedo y posteriormente gas seco (Tissot *et al.*, 1974). Esto aplica en la Provincia T-M, en su porción más proximal con el CPSMO, donde hay acumulaciones de gas debido a que hubo un mayor sepultamiento y calentamiento de las rocas generadoras en esta área (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

La exploración petrolera en Hidalgo en el siglo XX sin duda alguna fue de gran interés para PEMEX durante al menos 40 años, lo cual queda registrado con la perforación de 27 pozos de los cuales algunos aún conservan su estructura en pie (árbol de válvulas). En el siglo XXI el interés aún continúa, pues el campo Pastoría tiene un estatus actual de producción con vigencia hasta el 2046 y se encuentra operado por PEMEX; además las cuatro asignaciones petroleras AR-0266-M - Campo Pastoría, AE-0122-M - TAMPICO MISANTLA, AE-0179 – MAGUEY, AE-0181 – KUKNI fueron autorizadas para realizar trabajos de exploración y/o extracción de hidrocarburos con una vigencia de al menos 30 años. Esto nos habla que a futuro Hidalgo podría posicionarse como un estado estratégico para la extracción de Hidrocarburos, cuando las reservas del golfo de México comiencen a disminuir, aunque el interés petrolero solo se reduce a una pequeña área del noreste del estado (principalmente sobre la Provincia T-M).

En cuanto a los resultados no obtenidos, fue difícil encontrar información en la que se describa de manera detallada las litologías que se perforaron en alguno de los 27 pozos del estado de Hidalgo, por lo cual no se logró cumplir el último objetivo específico que era: “Obtener y exponer la columna estratigráfica de un pozo de exploración conocido en el estado de Hidalgo”. Esto ocurre debido a que la información de dichos pozos aún permanece clasificada en archivos confidenciales de PEMEX, a pesar de que el Diario Oficial de la Federación establece en la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, Art. 15 (2002) que “La información clasificada como reservada según los artículos 13 y 14, podrá permanecer con tal carácter hasta por un periodo de doce años; las investigaciones de PEMEX tienen más de 30 años de antigüedad, por lo cual no se cumple esta ley”.

No fue posible realizar una visita a la Litoteca Nacional con sede en la ciudad de Pachuca donde se almacenan muestras geológicas como laminas delgadas, recortes de núcleo y muestras de canal de los 27 pozos perforados en el estado de Hidalgo debido a que esta tarea excede los límites establecidos originalmente en esta tesis, aunque en una investigación posterior se podría realizar dicha visita para conocer de manera más detallada que litologías se perforaron y cuáles son las que funcionan como roca generadora, roca almacén o roca sello para el estado de Hidalgo.

CAPITULO VI - CONCLUSIONES

Por sus características geológicas y por la exploración realizada en el estado de Hidalgo desde 1957 hasta la actualidad, se puede concluir que los yacimientos de hidrocarburos presentes en el estado de Hidalgo tienen un potencial económico bajo a menos que estudios posteriores demuestren lo contrario. Además, algunas zonas del estado son de alto riesgo para la exploración debido a que muchas rocas almacén o generadoras están aflorando y otras se encuentran aún como inmaduras o sobremaduras. Las zonas de mayor interés para continuar con la exploración y explotación petrolera son al noreste del estado, en el área de la cuenca Tampico-Misantla (si lo que se busca es aceite), y sobre el pie de montaña del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental (si lo que se busca es gas). En el caso particular del núcleo del CPSMO, la exploración petrolera requiere la adquisición de datos sísmicos de montaña, con una resolución apropiada para interpretar horizontes sísmicos deformados e integrar la información geológica, geofísica y geoquímica, dentro de un marco regional, bajo el control de personal capacitado y con experiencia.

A pesar de todos los datos obtenidos, sigue existiendo mucha información que aún se mantiene como confidencial por PEMEX e instituciones privadas a pesar de que las investigaciones tienen una antigüedad mayor a 30 años, conocerla podría ayudar a comprender mejor el panorama en el que se encuentra el estado de Hidalgo referente a la exploración y explotación de hidrocarburos.

La importancia de rescatar información generada en el siglo XX sobre la exploración petrolera que se realizó en el estado de Hidalgo, así como las principales características geológicas que dieron origen a la formación y posterior acumulación de hidrocarburos es para que pueda conocerse y consultarse en cualquier momento por las actuales y futuras generaciones, ya que esta etapa de exploración petrolera de Hidalgo es poco conocida, y su difusión ayudara a que más personas conozcan los recursos que se encuentran presentes en dicho estado así como su potencial económico. Esta reseña también podría motivar a que a futuro se retome el interés por la exploración y explotación petrolera en los principales sitios de interés mencionados ya que las nuevas tecnologías y el conocimiento adquirido permiten hacer descubrimientos que en el siglo pasado eran difíciles de lograr.

GLOSARIO

Antefosa: Es una zona deprimida que se encuentra en la parte exterior de un orógeno o de una zona que ha sido plegada. En esta depresión se van depositando los materiales erosionados de la montaña (Dávila-Burga, 2011).

Árbol de válvulas: También conocido como árbol de navidad, es el conjunto de válvulas, bridas dobles y accesorios conectados al extremo superior del pozo para dirigir y controlar el flujo de fluidos de formación del pozo (Figura 24) (Schlumberger, 2022).

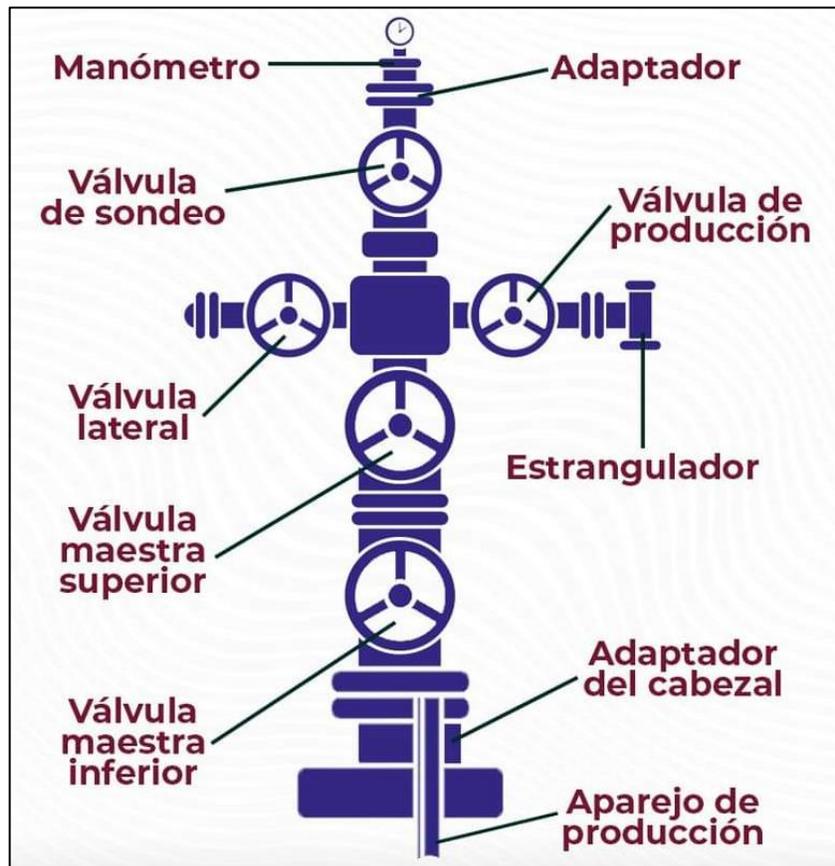


Figura 24 Partes del árbol de válvulas. Tomado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2022).

Condensado: Es una fase de hidrocarburo líquido que por lo general está asociado con el gas natural. Su presencia como una fase líquida depende de las condiciones de temperatura y presión existentes en el yacimiento, que permiten la condensación del líquido a partir del vapor. El gas producido en asociación con el condensado se denomina gas húmedo (Schlumberger, 2022).

Ensamblajes o Conjuntos Tectónicos: Conjunto de rocas que tienen una misma historia geológica y tectónica (Solari *et al.*, 2009).

Formación: Es la unidad fundamental en la clasificación litoestratigráfica. Una formación es un cuerpo de roca que se identifica por sus características líticas y por su

posición estratigráfica; generalmente, aunque no necesariamente, es tabular y se puede cartografiar en la superficie de la Tierra o seguirse en el subsuelo.

Las Formaciones que han sido reconocidas de manera formal son aquellas que se nombran de acuerdo con un esquema de clasificación establecido; la formalización se pone de manifiesto mediante el uso de la letra mayúscula inicial para el nombre de la formación (por ejemplo, Formación Morrison) (Jones, 2010).

Gravedad API: Escala de gravedad específica desarrollada por el Instituto Estadounidense del Petróleo (American Petroleum Institute, API) para medir la densidad relativa de diversos líquidos de petróleo, expresada en grados. La gravedad API está graduada en grados en un instrumento de hidrómetro y fue diseñada de manera tal que la mayoría de los valores quedaran entre 10° y 70° de gravedad API (Schlumberger, 2022).

Relacionándolo con su gravedad API el petróleo se puede clasificar en:

- Condensado: Entre 50.0° y 120.0° (Schlumberger, 2022).
- Extraligero: Entre 39.0° y 50.0°
- Ligero: Entre 31.1° y 39.0°
- Mediano: Entre 22.3° y 31.1°
- Pesado: Entre 10.0° y 22.3°
- Extrapesado: Menor a 10.0° (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2017).

En México el petróleo se divide en tres tipos dependiendo de su densidad que son Olmeca (extraligero), Istmo (ligero), Maya, Talam y Altamira (pesado) (Figura 25) (NavaOil, 2020).

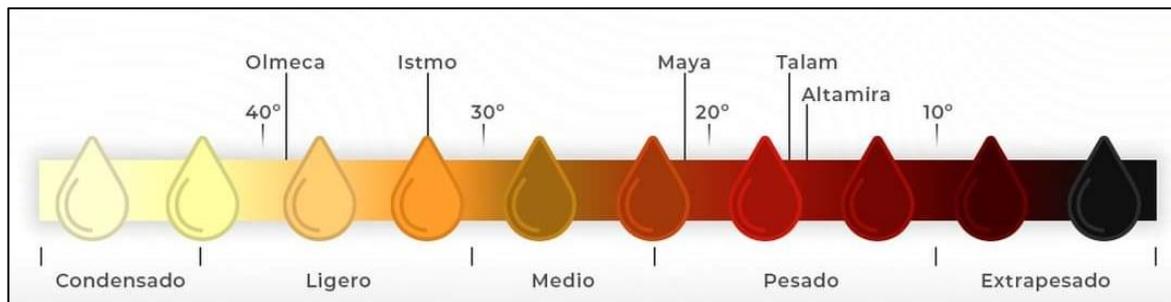


Figura 25 Diferencia entre grados API. Tomado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2022).

Kerógeno: Es la fracción orgánica contenida en las rocas sedimentarias que es insoluble en disolventes orgánicos. Bajo condiciones de presión y temperatura, el kerógeno empieza a ser inestable y se produce reagrupamiento en su estructura con objeto de mantener el equilibrio termodinámico precediendo a la generación de hidrocarburos (Comisión Nacional de Hidrocarburos, sin fecha. a).

Los Kerógenos se clasifican químicamente dependiendo de su composición elemental y de su evolución con respecto a la gráfica de Van Krevelen que relaciona H/C vs. O/C (Figura 26).

- Kerógeno tipo I: Derivado de materia orgánica marina. Genera aceite.
- Kerógeno tipo II: Derivado de materia orgánica marina y terrestre. Genera aceite y gas.
- Kerógeno tipo III: Derivado de materia orgánica terrestre. Genera gas.
- Kerógeno tipo IV: Poca capacidad de generar aceite o gas, genera carbón. (Tissot y Welte, 1984).

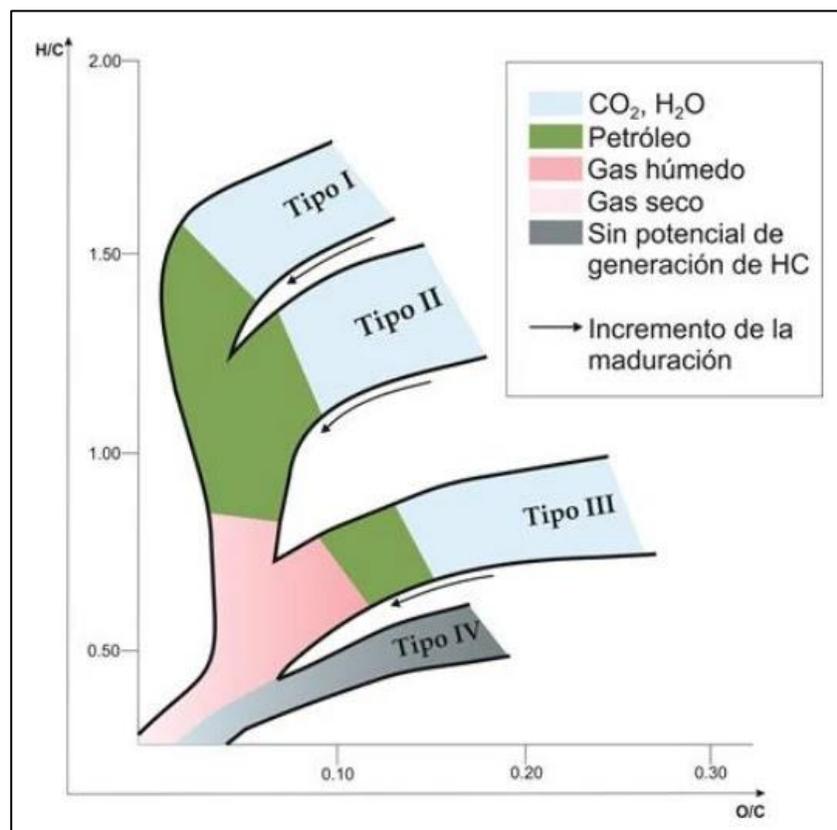


Figura 26 Diagrama de Van Krevelen. Tomado de Madrid (2011).

Play: Conjunto de campos o prospectos genéticamente relacionados, que comparten características similares en ambiente de depósito, rocas generadoras, trampas, sellos, procesos de carga de hidrocarburos (generación, expulsión, sincronía, migración, acumulación y preservación) y su tipo de hidrocarburos (López-Arriaga, 2013).

Sistema petrolero: Es un sistema geológico que se compone de elementos (roca generadora, roca almacén, roca sello, trampa y rocas de sobrecarga), así como los procesos (formación de la trampa; generación, expulsión migración y acumulación del hidrocarburo) que crea las condiciones esenciales para la existencia de acumulación de hidrocarburo (Figura 27).

El sistema petrolero puede clasificarse de tres maneras:

- **Sistema Petrolero Conocido (!):** Es aquel que presenta una correlación positiva aceite-roca generadora o gas-roca generadora. Ejemplo de ello son los sistemas Jurásico Inferior-Medio-Jurásico Medio (!) y Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico-Paleógeno-Neógeno (!).
 - **Sistema Petrolero Hipotético (·):** Es aquel que no presenta una correlación positiva petróleo-roca generadora y que solo está soportado por evidencias geoquímicas. Hay evidencia del origen de aceite o gas (rocas generadoras). Ejemplo de ello es el sistema Titoniano-Kimmeridgiano-Cretácico (·).
 - **Sistema Petrolero Especulativo (?):** Es aquel que no presenta una correlación positiva petróleo-roca generadora, ni evidencias geoquímicas y sólo se postula por evidencias geológicas o geofísicas.
- (López-Arriaga, 2013).

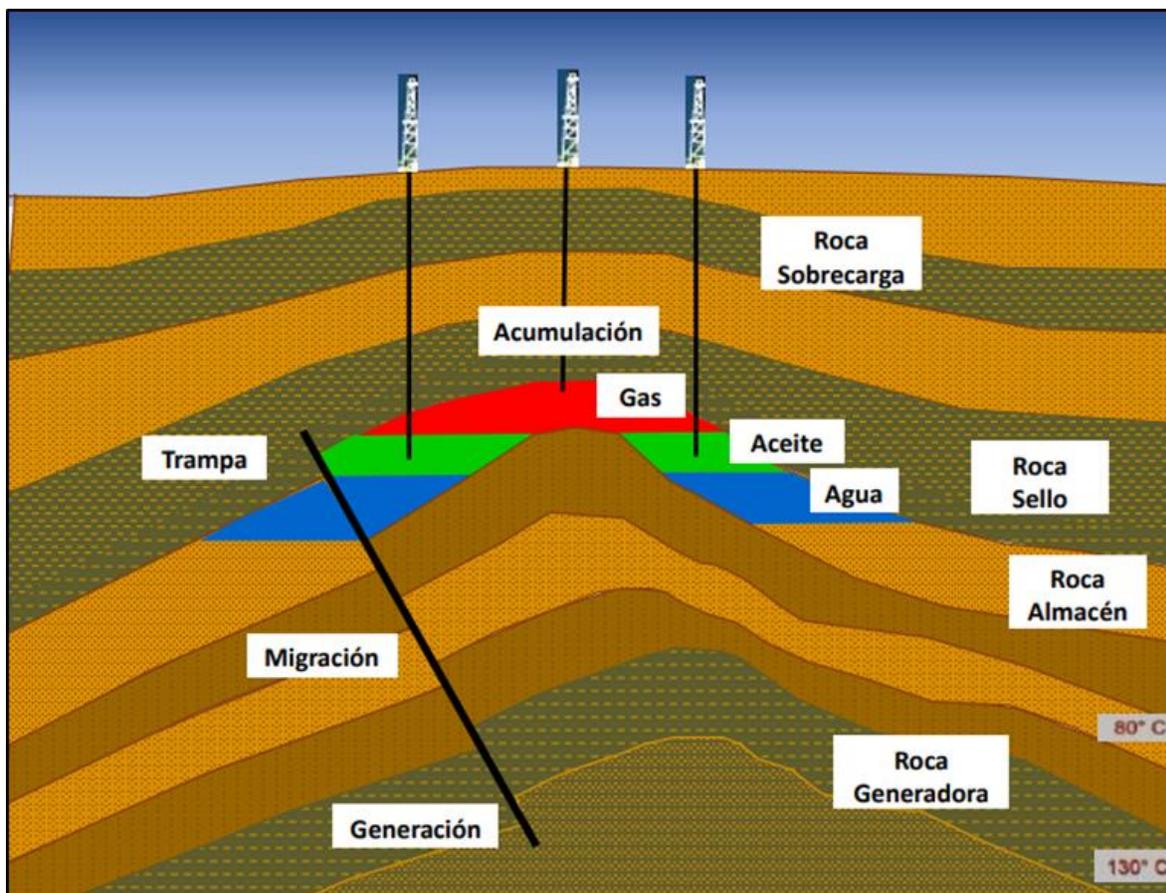


Figura 27 Elementos y procesos de un sistema petrolero. Modificado de Schiefelbein *et al.* (2008).

Ventana de Petróleo: Es aquella etapa que comprende desde el inicio hasta el fin de la generación de hidrocarburos debido al aumento de las condiciones de presión y temperatura a través del tiempo, y coincide *grosso modo* con la etapa de la Catagénesis (Figura 28) (Santamaría-Orozco *et al.*, 2009).

Ventana de Gas: Es aquella alteración térmica que sufre la materia orgánica la cual ocurre cuando la roca generadora o almacén se encuentra enterrada a una gran profundidad. La materia orgánica y el petróleo que se han acumulado previamente comenzaran a formar gas natural (termogénico) (Figura 28) (Grotek y Janas, 2014).

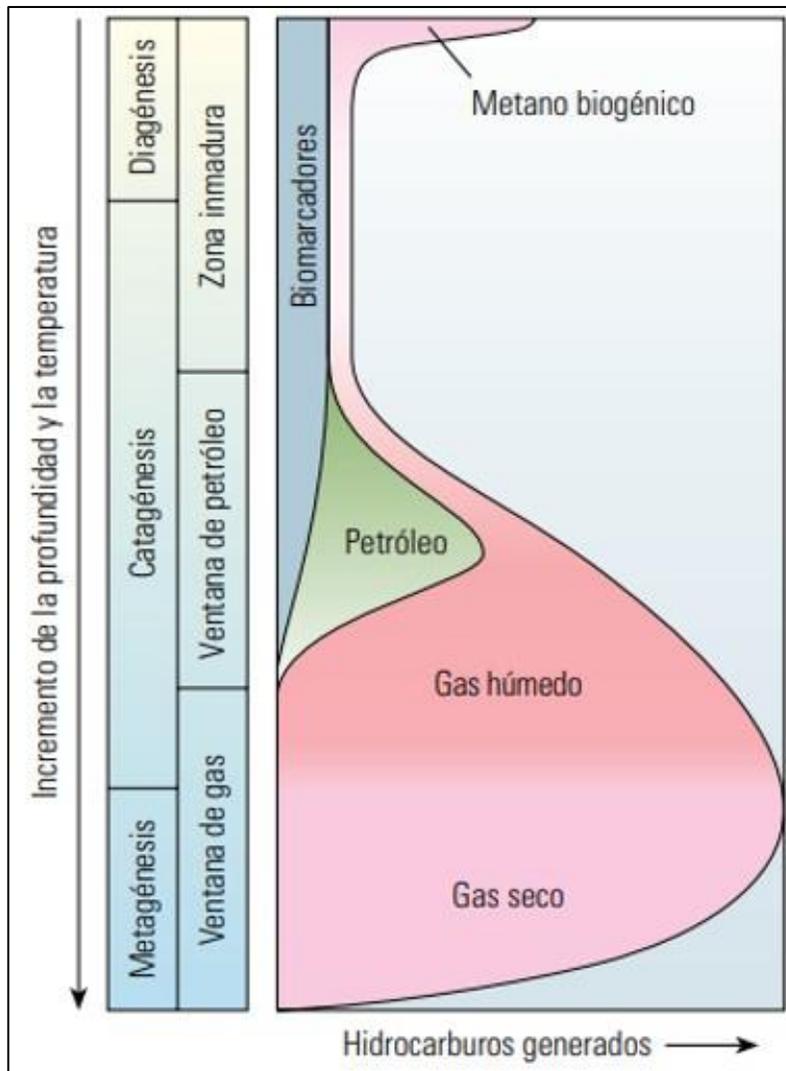


Figura 28 Proceso de maduración de la materia orgánica. Tomado de Ingeniería Petrolera (2017).

REFERENCIAS

- Aguayo-Camargo, J. E. (1977). Sedimentación y diagénesis de la Formación "Chipoco" (Jurásico Superior) en afloramientos, estados de Hidalgo y San Luis Potosí. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 9 (2), 11-37.
- Aguilar-Rodríguez, M. Á. (2016). El fascinante mundo de los yacimientos no convencionales y la protección al ambiente: D.F., México, Instituto Mexicano del Petróleo, 42 p.
- Aguilera, H. E. (1972). Ambiente de depósito de las Formaciones del Jurásico Superior en la Región Tampico-Tuxpan. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 24 (1-3), 129-163.
- Anda-Romero, J. M. (2013). Caracterización geológica-petrolera del Campo Tajín en la Cuenca de Chicontepec: Ciudad Universitaria, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 106 p.
- Aranda-García, M., Hernández-Romano, U., Ortega-González, V., Miranda-Canseco, E., y Mora-Oropeza, G. (2010). Provincias Geológicas de México: México, PEMEX Exploración y Producción, Subdirección Técnica de Exploración, Informe técnico, 18 p.
- Araujo-Mendieta, J. (1978). Litofacies y diagénesis de la Formación Tamaulipas Inferior (Cretácico Inferior) en el subsuelo de las áreas Bejuco-La Laja, Estado de Veracruz. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo XXXIX (2), 14-24. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1978v39n2a2>
- Arenas-Islas, D., Esquivel-Macías, C., y Flores-Castro, K. (2009). Amonoideos y bivalvos del Sinemuriano Superior en un nuevo afloramiento de la Formación Huayacocotla, Hidalgo, México, algunas consideraciones paleoambientales. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61 (2), 185-197.
- Blanco-Briones, J. I., y Hernández-Loredo, A. (marzo de 2005). Carta Geológico-Minera, Huejutla, F14-D42, 1:50000: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa con texto.
- Blanco-Ybáñez, A. J., y Vivas-Hohl, J. (2012). Nociones de ingeniería aplicada a reservorios no convencionales. *Revista Petrotecnia*, 90-99.
- Borja, R. (19 de marzo de 2008). Dos mil años de chapopote (en línea), La Jornada. Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/2008/03/19/nota12.html>
- Busch, D. S., y Amado, G. S. (1978). Stratigraphy and Structure of Chicontepec Turbidites, Southeastern Tampico-Misantla Basin, Mexico. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist*, 62 (2), 235-246. <https://doi.org/10.1306/C1EA481F-16C9-11D7-8645000102C1865D>
- Bustamante-García, J. (2011). Inventario físico de los recursos minerales de la carta Castillo E13-B22: Municipios de San Carlos, San Nicolás y Cruillas, Tamaulipas, México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 161 p.

- Campa, M. F., y Coney, P. J. (1983). Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20 (6), 1040–1051. <https://doi.org/10.1139/e83-094>
- Carrasco-Velázquez, B. E. (1977). Albian Sedimentation Of Submarine Autochthonous And Allochthonous Carbonates, East Edge Of The Valles-San Luis Potosi Platform, Mexico. Tulsa, Society of Economic, paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 25, 263–272. <https://doi.org/10.2110/pec.77.25.0263>
- Carrillo-Bravo, J. (1971). La Plataforma de Valles-San Luis Potosí. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 22 (1-6), 1-117.
- Castillo-Nieto, R. F. (2012). Inventario físico de los recursos minerales de la carta Tasquillo F14-C69: Municipios de Tasquillo, El Cardonal, Ixmiquilpan, Zimapán, Nicolas Flores y Tlahuiltepa, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 83 p.
- Chávez-Cabello, G. (2017). La Sierra Madre Oriental de México, un cinturón orogénico de pliegues y cabalgaduras de la cordillera norteamericana. *Ciencia UANL* (82).
- Colino-Martínez, A., y Caro, R. (2010). Fuentes Energéticas. *La Nueva Geopolítica de la Energía*, 21-34.
- Colmenares, F. (2008). Petróleo y crecimiento económico en México 1938-2006. *Economía UNAM*, 5 (15), 53-65.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (2017). LINEAMIENTOS que regulan el procedimiento de cuantificación y certificación de Reservas de la Nación: D.F., México, Diario Oficial de la Federación, 20 de diciembre de 2017, 7 p.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (2021a). Base Nacional de Campos Petroleros (en línea). Disponible en: <https://campos.hidrocarburos.gob.mx/>
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (2021b). Mapa de la Industria de Hidrocarburos (en línea). Disponible en: <https://mapa.hidrocarburos.gob.mx/>
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (2022). Comisión Nacional de Hidrocarburos (en línea), Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/cnh>
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (sin fecha. a). Atlas geológico cuenca Tampico-Misantla (en línea), Centro Nacional de Información de Hidrocarburos. Disponible en https://hidrocarburos.gob.mx/media/3091/atlas_geologico_cuenca_tampico-misantla_v3.pdf
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (sin fecha. b). Atlas geológico recursos no convencionales (lutita gas/aceite) (en línea), Centro Nacional de Información de Hidrocarburos. Disponible en: https://hidrocarburos.gob.mx/media/3095/atlas_geologico_no_convencionales_v3.pdf
- Conde-Asiain, R. A. (diciembre de 2013). Inventario físico de los recursos minerales de la carta Molango F14-D51: Municipios de Molango de Escamilla, Lolotla, Xochicoatlán, Tlanchinol, Tepehuacán de Guerrero, Juárez Hidalgo, Eloxochitlán, Tlahuiltepa y Calnali, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 116 p.

- Corpus Christi Geological Society. (1963). Geology of Peregrina Canyon and Sierra de El Abra, Mexico: Corpus Christi Geological Society Annual Field Trip, May 23-24-25-26, 1963: Estados Unidos, Corpus Christi Geological Society, 107 p.
- Dávila-Burga, J. (2011). Diccionario Geológico: Perú, Arth Grouting S.A.C., 901 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2002). Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, Art. 15: D.F., México Diario Oficial de la Federación, 11 de junio de 2002, 19 p.
- Erben, H. K. (1956). El Jurásico Medio y el Calloviano de México en XX Congreso Geológico Internacional: D.F., México, Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, 140 p.
- Esquivel-Macías, C., León-Olvera, R. G., y Flores-Castro, K. (2005). Caracterización de una nueva localidad fosilífera del Jurásico Inferior con crinoides y amonites en el centro-oriente de México (Temapá, Hidalgo). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22 (1), 97-114.
- Esquivel-Macías, C., Bravo Cuevas, V. M., González-Rodríguez, K., Cabral-Perdomo, M. A., y Castillo-Cerón, J. (2008). Bosquejo geológico y potencial paleontológico de la reserva barranca de Metztlán (Primera ed.): Pachuca, Hidalgo, México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 79-86.
- Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M., y Marrett, R. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53 (1), 1-26.
- Eguiluz de Antuñano, S. (2017). Exploración petrolera en el frente plegado de la Sierra Madre Oriental (en línea), *Ciencia UANL* (85). Disponible en: <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=7051>
- González-Alvarado, J. (1976). Resultados obtenidos en la Exploración de la Plataforma de Córdoba y principales Campos Productores. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana XXXVII*, 53-59. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1976v37n2a1>
- González-García, R., y Holguín-Quiñonez, N. (1992). Las rocas generadoras de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 17 (1), 16-30.
- Grotek, I., y Janas, M. (2014). THERMAL MATURITY OF ORGANIC MATTER AND GAS EXPLORATION (en línea), Polish Geological Institute – National Research Institute. Disponible en: <https://infolupki.pgi.gov.pl/en/gas/thermal-maturity-organic-matter-and-gas-exploration>
- Gutiérrez-Rodríguez, R. (1979). La balanza petrolera de México, 1970-1982. *Comercio Exterior*, 29 (8), 839-850.
- Guzmán-Vega, M. A., Castro-Ortiz, L., Román-Ramos, J. R., Medrano-Morales, L., Clara-Valdés, L., Vázquez-Covarrubias, E., y Ziga-Rodríguez, G. (2001). El origen del petróleo en las subprovincias mexicanas del Golfo de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 49 (1-2), 31-46.
- Heim, A. (1926). Notes on the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental, México). *Eclogae Geologicae Helveticae*, 20 (1), 84-87.

- Hermoso De La Torre, C., y Martínez-Pérez, J. (1972). Medición detallada de Formaciones del Jurásico. Superior en el frente de la Sierra Madre Oriental. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 24 (1-3), 45-63.
- Hernández-Medina, S. (2014). Modelado geológico-geoquímico del sistema petrolero Tampico-Misantla: D.F., México, Universidad Nacional Autónoma de México, Informe de Trabajo Profesional, 49 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020 (en línea), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Tabulados>
- Ingeniería Petrolera. (1 de mayo de 2017). Etapas de maduración del kerógeno (en línea), Ingeniería Petrolera. Disponible en: <http://ingpetol.blogspot.com/2017/05/etapas-de-maduracion-del-kerogeno.html>
- Jones, G. T. (2010). Traducción del Código Estratigráfico Norteamericano al español. Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica: Ciudad Universitaria, D.F., México, Universidad Nacional Autónoma de México, Informe técnico, 64 p.
- Lawlor, P. J., Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K. L., Ochoa-Camarillo, H., López, R., y Sampson, D. E. (1999). U–Pb geochronology, geochemistry, and provenance of the Grenvillian Huiznopala Gneiss of Eastern Mexico. Precambrian Research, 94 (1-2), 73-99. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00108-9)
- Liang, Y. (2019). Development of digital oil for technological innovation in petroleum engineering. Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology, 84 (6), 425-436.
- López-Arriaga, F. (2013). Especialidad en Ingeniería Petrolera, Tema 3 Cuencas de México, Manual del participante: México, PEMEX Exploración y Producción, Informe técnico, 393 p.
- López-Doncel, R. (2003). La Formación Tamabra del Cretácico medio en la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, centro-noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 20 (1), 1-19.
- Luna-Rodríguez, J. (2008). Petrografía y geoquímica de isótopos estables ($\delta^{18}O$ - $\delta^{13}C$) en calizas de la Formación El Abra, Hidalgo, México - Implicaciones de ambientes diagenéticos: Pachuca de Soto, Hidalgo, México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tesis de Licenciatura, 133 p.
- Madrid, M. (2011). Origen de los Hidrocarburos (en línea), Portal del Petróleo. Disponible en: <https://www.portaldelpetroleo.com/2011/08/origen-de-los-hidrocarburos.html>
- Magoon, L. B., Hudson, T. L., y Cook, H. E. (2001). Pimienta-Tamabra(!) - A Giant Supercharged Petroleum System in the Southern Gulf of Mexico, Onshore and Offshore Mexico. American Association of Petroleum Geologist, Memoir 75, 83-126. <https://doi.org/10.1306/M75768C4>
- Morales, R. (29 de enero de 2021). Exportaciones petroleras de México hilan tres años de descensos (en línea), El Economista. Disponible en:

<https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Exportaciones-petroleras-hilan-tres-anos-de-descensos-20210129-0018.html>

- Muir, M. J. (1936). Geology of the Tampico Region Mexico. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 20 (11), 1-280.
- Nájera-Chiapa, H. (1952). Estudio de las Formaciones del Eoceno en la región de Poza-Rica. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 4 (3-4), 71-115.
- NavaOil. (2020). Tipos de Petróleo en México (en línea), NavaOil. Disponible en: <https://www.navaoil.mx/post/tipos-de-petroleo-en-mexico>
- Oil & Gas. (septiembre de 2018). Potencial Petrolero en la Cuenca Tampico-Misantla (en línea), ONEXPO NACIONAL. Disponible en: <https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/POTENCIAL-PETROLERO-EN-LA-CUENCA-TAMPICO-MISANTLA/b>
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D. J., Alaníz-Álvarez S. A., y Nieto-Samaniego, Á. F. (1992). Texto Explicativo de la Quinta Edición de la Carta geológica de la República Mexicana, Escala 1:2,000,000: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaría de Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, Informe técnico, 74 p.
- Padilla-Sánchez, R. J. (1985). Las estructuras de la Curvatura de Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. Revista del Instituto de Geología. UNAM, 6 (1), 1-20.
- Patiño-Ruiz, J., Barrera-González, D., Clara-Valdés, L., Román-Ramos, J. R., Miranda-Canseco, E., y Hernández-Romano, U. (2013). Provincia Petrolera Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental: México, PEMEX Exploración y Producción, Subdirección Técnica de Exploración, Informe técnico, 15 p.
- Pedrazzini, C., y Basáñez-Loyola, M. (1978). Sedimentación del Jurásico Medio-Superior en el Anticlinorio de Huayacocotla–Cuenca de Chicontepec, estados de Hidalgo y Veracruz, México. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 10 (3), 6-25.
- PEMEX (Petróleos Mexicanos). (1988). Estratigrafía de la República Mexicana: Mesozoico: México, Subdirección de Producción primaria, Coordinación ejecutiva de exploración, Petróleos Mexicanos, Informe Inédito, 229 p.
- PEMEX (Petróleos Mexicanos). (2009). Anuario estadístico 2009: México, Petróleos Mexicanos, Informe técnico, 76 p.
- PEMEX (Petróleos Mexicanos). (2020). Anuario estadístico 2020: México, Petróleos Mexicanos, Informe técnico, 103 p.
- Pessagno, E. A., Jr., Longoria, J. F., MacLeod, N., y Six, W. M. (1987). Studies of North American Jurassic Radiolaria: Part. I. Upper Jurassic (Kimmeridgian-Upper Tithonian) Pantanellidae from the Taman Formation, East-Central Mexico. Tectonostratigraphic, Chronostratigraphic, and Phylogenetic implications, Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication 23, 1-51.

- Reyes-Hernández, J. C., y Hernández del Ángel, E. (2012). Yacimientos Petroleros en Calizas de Plataforma: Ciudad Universitaria, D.F., México, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 240 p.
- Rodríguez-Dávila, J. E. (2015). Caracterización Geológica de las Rocas Generadoras y Almacenadoras del Campo Arenque, ubicado en la Zona Marina Norte de la Cuenca Tampico-Misantla: D.F., México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 97 p.
- Salas, G. P. (1958). La economía de México depende de la industria petrolera nacional. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 621-622.
- Salgado, E. (2017). Industria petrolera mexicana: inversión y desarrollo (en línea), Comex División Profesional. Disponible en: <https://repositoriocentral.blob.core.windows.net/articulos/Industria%20petrolera%20mexicana.pdf>
- Santamaría-Orozco, D. M. (2008). La formación del petróleo en el sur del Golfo de México: Predicción de su calidad: D.F., México, Academia de Ingeniería México, Informe técnico, 30 p.
- Santamaría-Orozco, D. M. (2017). Potencial petrolero remanente de recursos no convencionales en las cuencas de la margen del golfo de México (en línea), SlideShare. Disponible en: <https://es.slideshare.net/AcademiaDeIngenieriaMx/potencial-petrolero-remanente-de-recursos-no-convencionales-en-las-cuencas-de-la-margen-del-golfo-de-mxcio>
- Santamaría-Orozco, D. M., Amezcua-Allieri, M. A., y Carrillo-Hernández, T. J (2009). Generación de petróleo mediante experimentos de pirólisis: revisión sobre el conocimiento actual. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 61 (3), 356-366. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2009v61n3a5>
- Santos-Segura, D. (2017). SISTEMA PETROLERO (en línea), DocPlayer. Disponible en: <https://docplayer.es/58296811-Sistema-petrolero-maquina-natural-de-hacer-petroleo-objetivo.html>
- Schiefelbein, C. F., Urien, C., Requejo, R., Talukdar, S., y Schrynmeeckers, R. (2008). GEOCHEMICAL CRIME SCENE INVESTIGATION – PERU *en* Conferencia: VI INGEPET 2008 (EXPR-1-CS-32): Lima, Perú, 1-15.
- Schlumberger. (2022). Energy Glossary (en línea), The Schlumberger Energy Glossary en Español. Disponible en: <https://glossary.slb.com/es/>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (30 de octubre de 2013). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tenango de Doria, Hidalgo 2013: Tenango de Doria, Hidalgo, México, Gobierno Municipal Tenango de Doria, Hidalgo, Informe técnico, 120 p.
- Secretaría de Energía (SENER). (2018). Glosario de términos petroleros: México, Subsecretaría de Hidrocarburos, Dirección General de Exploración y Extracción de Hidrocarburos, 20 p.

- Secretaría de Energía (SENER). (2019). Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2015-2019: México, Secretaria de Energía, Informe técnico, 139 p.
- Secretaría de Energía (SENER). (2022). Buscador web de Asignaciones (en línea), Secretaria de Energía, actualizado el 03 de junio de 2022. Disponible en: <https://asignaciones.energia.gob.mx/motorBusqueda.aspx>
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., y Speed, R. C. (1993). Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico. Geological Society of America, Special Paper 278, 1-161.
- Segerström, K. (1961). Geología del suroeste del estado de Hidalgo y del noreste del Estado de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13, 147-168.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (17 de enero de 2006a). Formación Huizachal (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 21 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Huizachal.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (12 de abril de 2006b). Horizonte Otates (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Otates.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (marzo de 2007a). Formación Chicontepec (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 6 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Chicontepec.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (marzo de 2007b). Formación Tepexic (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Tepexic.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (abril de 2007c). Formación Méndez (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 5 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Mendez.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (abril de 2007d). Formación Pimienta (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 5 p. <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Pimienta.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (junio de 2007e). Caliza El Doctor (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/EIDoctor.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (junio de 2007f). Formación Las Trancas (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 3 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/LasTrancas.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (junio de 2007g). Formación Soyatal (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 5 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Soyatal.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (julio de 2007h). Formación Agua Nueva (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 6 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/AguaNueva.pdf>

- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (agosto de 2007i). Formación Cahuwasas (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 3 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Cahuwasas.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (agosto de 2007j). Formación Chipoco (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 5 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Chipoco.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (septiembre de 2007k). Carta Geológico-Minera, Estado de Hidalgo, 1:500000: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa con texto.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (julio de 2008a). Formación Santiago (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Santiago.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (agosto de 2008b). Formación Tamán (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Taman.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (mayo de 2009a). Fanglomerado El Morro (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/EIMorro.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (junio de 2009b). Formación El Abra (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 7 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/EIAbra.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (enero de 2012a). Formación Huayacocotla (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 3 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Huayacocotla.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (diciembre de 2012b). Gneis Huiznopala (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 3 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Huiznopala.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (julio de 2013a). Formación Tamabra (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Tamabra.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (noviembre de 2013b). Formación Tamaulipas Superior (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 5 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/TamaulipasSuperior.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (diciembre de 2013c). Formación Tamaulipas Inferior (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 3 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/TamaulipasInferior.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (junio de 2015). Formación San Felipe (en línea): México, Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano, Informe técnico, 4 p. Disponible en: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/SanFelipe.pdf>

- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (22 de marzo de 2017). Búsqueda y aprovechamiento (en línea), Servicio Geológico Mexicano. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Busqueda-y-aprovechamiento.html
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2022). GeolInfoMex, El Banco de Datos del SGM (en línea), Servicio Geológico Mexicano. Disponible en: <https://www.sgm.gob.mx/GeolInfoMexGobMx/>
- Sígler, É. (2017). México, 3er importador de petrolíferos del mundo (en línea), Manufactura. Disponible en: <https://manufactura.mx/energia/2017/02/09/mexico-el-3er-importador-de-petroliferos-del-mundo>
- Solari, L. A., Corona-Chávez, P., y Martens, U. (2009). Evolución mesozoica y cenozoica del sur de México, y sus conexiones con el bloque Chortís. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26 (1), 163-164.
- Solís, A. (25 de abril de 2018). Las empresas que llegaron a México para sacar petróleo (en línea), Forbes México. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/las-empresas-que-llegaron-a-mexico-para-sacar-petroleo/>
- Solís, A. (28 de junio de 2021). Producción petrolera de Pemex se estancó durante mayo (en línea), Forbes México. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/produccion-petrolera-de-pemex-se-estanco-durante-mayo/>
- Sun, L., Zou, C., Zhu, R., Zhang, Y., Zhang, S., Zhang, B., Zhu, G., Gao, Z. (2013). Formation, distribution and potential of deep hydrocarbon resources in China. *Petroleum Exploration and Development*, 40 (6), 687–695.
- Tissot, B. P., Durand, B., Espitalié, J., y Combaz, A. (1974). Influence of Nature and Diagenesis of Organic Matter. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 58 (3), 499-506.
- Tissot, B. P., y Welte, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence: La Habra, California, Estados Unidos*, Springer-Verlag, 720 p.
- Tolson-Jones, G., Fitz-Díaz, E., Ortega-Flores, B., Bolaños-Rodríguez, D., Vázquez-Serrano, A., y Treviño, N. (2009). ¿Qué nos dicen las diferencias estructurales entre cinturones de pliegues y cabalgaduras? Comparación de las rocallosas de Canadá y la sierra madre oriental de México. Sesión Regular GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA (GEOS), 29 (1), 45-46.
- Uhthoff-López, L. M. (2010). La industria del petróleo en México, 1911–1938: del auge exportador al abastecimiento del mercado interno. Una aproximación a su estudio. *América Latina en la Historia Económica* (33), 7-30.
- Valdés-Candanosa, A. J., Cossío-Dülmer, C., Cossío-Dülmer, I., Aguilar-Pérez, J., y Pichardo-Barrón, Y. (2017). Facies de plataforma abierta en el margen oeste de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, México (resumen) en XII Congreso de Geología (GEOLOGÍA 2017), II Encuentro Internacional de Estudiantes Universitarios de Geociencias: México, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, 1 p.

- Valencia-Islas, J. J. (1996). Implicaciones de la historia térmica de la Plataforma Valles-San Luis Potosí en la distribución de los hidrocarburos y yacimientos minerales. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 45 (1), 1-19.
- Vergara-Martínez, Á., y Zárate-López, J. (abril de 2002). Carta Geológico-Minera, Molango, F14-D51, 1:50000: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa con texto.
- Villarreal, R. (1981). EL PETRÓLEO COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO Y DE NEGOCIACIÓN INTERNACIONAL. MÉXICO EN LOS OCHENTAS. *El Trimestre Económico*, 48 (1), 3-44.
- Weber, R. (1997). How old is the Triassic flora of Sonora and Tamaulipas and news on Leonardian floras in Puebla and Hidalgo, Mexico: Special issue dedicated to the International workshop on The geology of northwestern Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14 (2), 225-243.