



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA EN EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN EN RECURSOS NATURALES

**Análisis de estratigrafía de secuencias del Mioceno en los cubos
Najucal y Jimba en la Cuenca Terciaria de Veracruz**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
José Manuel Del Moral Domínguez

TUTOR PRINCIPAL
Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo
Facultad de ingeniería

MÉXICO, D. F. ABRIL DE 2013



JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Ricardo J. Padilla y Sánchez

Secretario: Dr. Guillermo Pérez Cruz

Vocal: Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo

1 er. Suplente: M. C. Emiliano Campos Madrigal

2 do. Suplente: Dr. Juan Araujo Mendieta

Ciudad Universitaria, México, D. F.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo

FIRMA



Agradecimientos

Mi agradecimiento a la Universidad y a la Facultad de Ingeniería que me brinda la oportunidad de estudiar en sus instalaciones.

Agradezco a mi empresa Pemex por su invaluable apoyo en la realización de la Maestría.

A los catedráticos de la división de estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería por sus valiosas enseñanzas.

Al M. C. Noel Holguín Quiñones por sus valiosos comentarios para la elaboración de esta tesis.

A mis amigos, el M.I. Roberto Peláez y al M.I. Víctor Manuel Martínez por su valioso apoyo, así como también agradecer a mi familia y sobre todo a mi esposa, que sin ellos no hubiera llegado hasta aquí.



CONTENIDO

Índice	Página
Contenido.....	i
Lista de figuras.....	iii
Lista de tablas.....	v
RESUMEN.....	1
Introducción.....	2
Objetivos.....	4
1. GENERALIDADES.....	5
1.1. Localización.....	5
1.2. Antecedentes exploratorios y de producción.....	7
1.2.1. Exploración geológica.....	7
1.2.2. Exploración geofísica.....	8
1.2.3. Perforación y producción.....	9
1.2.4. Resumen de pozos.....	12
1.3. Metodología.....	14
2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	19
2.1. Marco tectónico.....	19
2.1.1. Evolución tectónica de la Cuenca de Veracruz.....	21
2.1.2. Fase compresiva.....	23
2.2. Marco estratigráfico.....	23
2.2.1. Plataforma de Córdoba.....	24
2.2.2. Cuenca Terciaria de Veracruz.....	24



2.2.3. Desarrollo estratigráfico de la Cuenca de Veracruz del Paleógeno al Neógeno.....	26
2.3. Modelo geológico.....	29
3. BIOESTRATIGRAFÍA.....	31
3.1. Análisis bioestratigráfico	31
3.2. Datación y batimetrías.....	32
3.3. Clasificación de la información.....	34
3.4 Diversidad y abundancia de los fósiles.....	38
3.5 Definición de superficies de máxima inundación.....	39
3.6. Integración de la información bioestratigráfica.....	45
4. ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS.....	54
4.1. Revisión de conceptos.....	54
4.2. Ubicación de cimas estratigráficas.....	61
4.3. Correlaciones estratigráficas.....	65
4.4. Secciones estratigráficas sedimentarias.....	72
4.5. Mapas paleoambientales.....	79
4.6. Predicción de roca almacén.....	86
5. SISTEMA PETROLERO.....	87
5.1. Subsistemas Generadores.....	88
5.2. Evaluación de la calidad de los elementos del sistema petrolero.....	89
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
6.1. Conclusiones.....	98
6.2. Recomendaciones.....	100
7. ANEXOS.....	101



Anexo I.- Columnas biocronoestratigráficas.....	101
Anexo II.- Tablas litológicas.....	107
8. REFERENCIAS BILIOGRAFÍAS.....	121
9. BILIOGRAFÍA DE CONSULTA.....	124

Lista de figuras

Figura 1	Ubicación de la Cuenca de Veracruz.....	5
Figura 2	Localización del área de estudio.....	6
Figura 3	Ubicación de las correlaciones.....	15
Figura 4	Elementos tectónico–estructurales de la Cuenca de Veracruz.....	20
Figura 5	Evolución de la Cuenca de Veracruz.....	22
Figura 6	Columna estratigráfica desde la base del Paleógeno hasta el Reciente.....	25
Figura 7	Evolución estratigráfica al sureste del área de estudio.....	28
Figura 8	Modelo geológico	30
Figura 9	Tabla de secuencias biocronoestratigráficas.....	32
Figura 10	Tabla paleobatimétrica general de las áreas petroleras de México.....	33
Figura 11	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Acula-2.....	40
Figura 12	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Arroyo largo-1...	41
Figura 13	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Caldera-1.....	42
Figura 14	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Hatillo-1.....	43
Figura 15	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Ixhuapan-1A.....	44
Figura 16	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Loma bonita-2....	45
Figura 17	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Macuile-3.....	46



Figura 18	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Macuile-4.....	47
Figura 19	Columna de diversidad-abundancia- registro geofísico, pozo Morillo-1.....	48
Figura 20	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Tesechoacan-1...	49
Figura 21	Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico, pozo Tlacotalpan-1.....	50
Figura 22	Columna bioestratigráfica y litológica del pozo Acula-2.....	51
Figura 23	Patrones de apilamiento.....	56
Figura 24	Secuencias, systems tracts y superficies estratigráficas.....	58
Figura 25	Sistema siliciclástico.....	59
Figura 26	Elementos del complejo canal-lóbulo.....	60
Figura 27	Columna litocronoestratigráfica del pozo Macuile-4.....	61
Figura 28	Ubicación de pozos y transectos.....	62
Figura 29	Columna del pozo Acula-2	63
Figura 30	Columna del pozo Arroyo largo-1	64
Figura 31	Correlación estratigráfica SE-NW	66
Figura 32	Correlación estratigráfica SE-NW al norte.....	67
Figura 33	Correlación estratigráfica N-S	68
Figura 34	Correlación estratigráfica NE-SE	69
Figura 35	Columna interpretada del pozo Morillo-1.....	71
Figura 36	Sección geológica Loma bonita-Ixhuapán.....	75
Figura 37	Sección geológica Novillero-Caldera.....	76
Figura 38	Sección geológica Tlacotalpa-Najucal.....	77
Figura 39	Sección geológica Caldera-Hatillo.....	78
Figura 40	Mapa paleoambiental de la secuencia MSI_MI_16_00.....	81
Figura 41	Mapa paleoambiental de la secuencia MSI_MM_11_20.....	82



Figura 42	Mapa paleoambiental de la secuencia MSI_MS_06_00.....	83
Figura 43	Mapa paleoambiental de la secuencia MSI_PI_04_20.....	84
Figura 44	Mapa paleoambiental de la secuencia MSI_PM_02_70.....	85
Figura 45	Diagrama de historia de sepultamiento.....	87
Figura 46	Diagrama del sistema petrolero.....	89
Figura 47	Mapa de relación de transformación (RT%) del Tithoniano.....	90
Figura 48	Mapa de relación de transformación (RT%) del Cretácico.....	91
Figura 49	Mapas de relación de transformación (RT%) del Eoceno.....	92
Figura 50	Mapa de distribución del tipo de kerógeno para el Tithoniano.....	93
Figura 51	Mapa de distribución del tipo de kerógeno para el Eoceno.....	95

Lista de tablas

Tabla 1.-	Sísmica 3D. Proyectos en el área de estudio, PEMEX, AIV (2006).....	8
Tabla 2.-	Relación de pozos en el área de estudio.....	11
Tabla 3.-	Límites de secuencias depositacionales (LS) y máximas superficies de inundación (MSI)	27
Tabla 4.-	Columna biocronoestratigráfica del pozo Acula-2.....	34
Tabla 18.-	Tabla de colores de batimetrías.....	46
Tabla 19.-	Cuadro litológico.....	52
Tabla 20.-	Interpretación de patrones de facies en los registros geofísicos.....	70
Tabla 21.-	Clave de colores de ambientes sedimentarios.....	72
Tabla 22.-	Clave de colores de manifestaciones y pruebas de pozos.....	72



RESUMEN

La bioestratigrafía de secuencias es el uso de muestras micropaleontológicas para describir la edad y la naturaleza paleoambiental de superficies estratigráficas límites y conjuntos de sistemas de depósito y ciclos dentro de una secuencia estratigráfica. Debe usarse para delinear la extensión temporal y espacial de estas superficies, de los sistemas de tracto y ciclos junto con la información sedimentológica, petrográfica y geofísica.

Contribuyendo a la utilización de la información bioestratigráfica como herramienta en la exploración petrolera, el presente ensayo se enfoca al análisis de estratigrafía de secuencias del intervalo Mioceno – Plioceno en un área que abarca cerca de 1000 km², en la que se tienen dos proyectos sísmicos unidos Jimba – Najucal 3D al sureste de la Cuenca Terciaria de Veracruz y al poniente de la localidad de Catemaco.

Este trabajo inicia con la recopilación y síntesis de los antecedentes exploratorios geológicos y paleontológicos; a partir de lo cual se determina trabajar con 2 pozos para correlación estratigráfica ubicados al sureste, 11 pozos exploratorios para el área de estudio y 2 pozos de desarrollo dentro de ésta. Del control bioestratigráfico se contó con informes tanto operativos, como de re-estudios, aunque sin poder estudiar las muestras y núcleos físicamente debido a problemas ajenos a nuestro control.

Con el antecedente de geología estructural se interpretan los principales alineamientos dentro del área, así como las fallas principales (tomado de Martínez, 2012).

Con la revisión de conceptos de bioestratigrafía y de estratigrafía de secuencias se analizaron los reportes paleontológicos y litológicos para determinar las edades tanto absolutas como relativas, así como los paleoambientes de depósito a lo largo del pozo, integrando esta información con los registros geofísicos, principalmente los de potencial espontáneo y de rayos gama obteniéndose candidatos a límites de secuencia y superficies de inundación y con esto, obtener un marco estratigráfico que apoye el descubrimiento de nuevas zonas con acumulación de gas y también ayudar en un mejor conocimiento de los Plays de la zona.



INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de apoyar en la satisfacción de las necesidades energéticas del país, actualmente se están desarrollando diversas estrategias para afianzar el fortalecimiento de las reservas de hidrocarburos. Pero para lograr este objetivo es necesario establecer y/o mejorar las metodologías pertinentes.

Uno de los objetivos específicos de las actividades exploratorias dentro de esta cuenca, es optimizar los recursos para incorporar y desarrollar yacimientos atractivos de gas, principalmente en rocas del Neógeno; para lo cual se han utilizado distintas herramientas con la aplicación de diferentes metodologías.

Para llevar a cabo la búsqueda de tales hidrocarburos, se tienen avances tanto en las áreas geológicas y geofísicas como en la ingeniería de yacimientos. Los trabajos iniciales en el primer rubro consisten desde estudios regionales como los desarrollados por PEMEX, que consisten en estudios de geología superficial en la Sierra Madre Oriental y terrenos aledaños al sur de donde han surgido trabajos (PEMEX-BEG, 2001) para comprender desde el origen mismo del Golfo de México (Bird et al, 2004), hasta establecer los elementos principales que favorecieron a la formación de la Cuenca de Veracruz (Espinoza, 2005).

En el mismo contexto regional se tienen avances en estudios de carácter estratigráfico como los de la tesis de *M. Arreguín* (2003), en donde se postulan posibles niveles de estadios del nivel del mar tanto de nivel bajo (LST) como de nivel alto (HST). Con estos, es necesario seguir la definición completa de todo el nivel estratigráfico con más detalle, al menos para los niveles de edad Mioceno-Plioceno, y es precisamente eso en lo que se avanza hacia la parte norte de la cuenca (*PEMEX, 2005*), donde actualmente se tienen definidos en forma cronoestratigráfica los distintos niveles que marcan límites de secuencias, en los que ya se han establecido excelentes yacimientos, los cuales están ya en explotación.

Dentro del área de estudio se tienen estudios previos, como el análisis, interpretación e integración geológica, geofísica y de pozos a nivel regional en el proyecto Papaloapan "B" (PEMEX, 2004), el cual se basa en levantamientos sísmicos 2D así como de los mismos cubos Jimba, adquirido en el año 2000 y Najucal en 2002-2003. En el primero se realizó un estudio enfocado a la detección de oportunidades exploratorias a los niveles Mioceno y



Plioceno. En ese mismo cubo se realizó un estudio de AVO (2002) con lo cual se definieron los tipos de arenas; sin embargo, falta llevar a cabo la calibración considerando los últimos resultados. En el cubo Najucal sólo se han realizado revisiones de la sísmica, con la finalidad de que se logren detectar directamente oportunidades exploratorias. Por lo que se muestra, es evidente que falta un análisis detallado que permita, con más elementos, conocer el potencial generador de las rocas dentro de la cuenca.

Los diversos estudios estratigráficos están fundamentados en publicaciones de reconocimiento mundial como son: *Vail et al. (1977)*, y *Mitchum et al. (1993)*.

Es de vital importancia incorporar áreas nuevas para explorar, y justamente en la porción sureste de la cuenca se tienen prospectos que no se han estudiado completamente. En este trabajo se busca comprender los diversos cambios paleoambientales y sedimentológicos a lo largo de la historia geológica comprendida entre las edades del Plioceno Inferior y el Mioceno Medio, como herramientas para identificar posibles yacimientos de hidrocarburos en el área de estudio. Lo cual es una pieza fundamental en el análisis multidisciplinario para entender y establecer las características de los plays productores de edad Mioceno y Plioceno, en los cubos sísmicos Jimba y Najucal. Para lograr lo anterior, es de suma importancia correlacionar los niveles cronoestratigráficos ya definidos en la zona noroeste (Megacubo Veracruz), con los cubos Najucal y Jimba, en donde se desarrollará el presente estudio.

En el presente estudio se pretende dar un enfoque de estratigrafía de secuencias al análisis del área mencionada principalmente a los estratos de edad Mioceno y Plioceno, con éste y con la aportación de la sedimentología, bioestratigrafía, y cronoestratigrafía, se definan algunas de las características ya descritas en los plays del noroeste de la cuenca, y su correlación hacia el sureste de la misma, en los cubos Najucal y Jimba; bajo este mismo contexto apoyar en la visualización de la situación del sistema petrolero y finalmente definir el potencial económico de la zona.



OBJETIVOS

- Definir el marco cronoestratigráfico del área de estudio con base en los conjuntos de fósiles planctónicos, definiendo su edad relativa, así como las asociaciones bentónicas para definir los ambientes de depósito.
- Correlacionar los picos de abundancia y diversidad faunística con los horizontes arcillosos definidos con los registros geofísicos, así también con las curvas de Haq et al, de 1987 para definir las superficies de máxima inundación y obtener los límites de secuencias genéticas.
- Especificar los patrones en los registros geofísicos para definir el tipo de secuencia, ya sea granocreciente, grandodecreciente, de caja, aserrado o sin expresión.
- Generar secciones estratigráficas que correlacionen las secuencias identificadas y los patrones de registros e interpretar sus facies correspondientes en cada secuencia del Mioceno Inferior al Plioceno Medio.
- Construir mapas conceptuales de los ambientes sedimentarios de cada secuencia para visualizar posibles zonas con roca almacenadora de interés económico.

1. GENERALIDADES

1.1. Localización.

La Cuenca de Veracruz se encuentra a lo largo del margen suroeste del Golfo de México (Figura 1) y está limitada al norte por el cinturón volcánico Trans-mexicano, al oeste por el cinturón plegado y de cabalgadura de la sierra Zongolítica, y al sur por la Cuenca Salina del Istmo. Está separada del Golfo de México por altos estructurales asociados con los altos volcánicos de Los Tuxtlas y Anegada (Aranda, 2001) (Figura 2). Se distribuye en un área de 16,450 km² y se conforma de dos provincias geológicas bien definidas: la Plataforma de Córdoba y la Cuenca Terciaria; la primera constituida de rocas calcáreas mesozoicas con una extensión de 8,100 km² y la segunda, constituida por rocas siliciclásticas (lutitas, areniscas y conglomerados) de edad terciaria, con un área terrestre de 8,350 km² y con un espesor de cerca de 9000 m en su depocentro, aunque cuenta con una porción marina en donde se tienen algunos pozos y una buena cantidad de oportunidades.



Figura 1.- Ubicación de la Cuenca de Veracruz

El área de estudio se localiza en la parte sureste de la Cuenca de Veracruz, centrada en el área geográfica de los cubos sísmicos Jimba y Najucal, de los cuales el primero cuenta con una superficie de 416 km² y el segundo de 648 km². (Figura 2). Se utilizaron los pozos que se encuentran dentro de los cubos y de los alrededores.

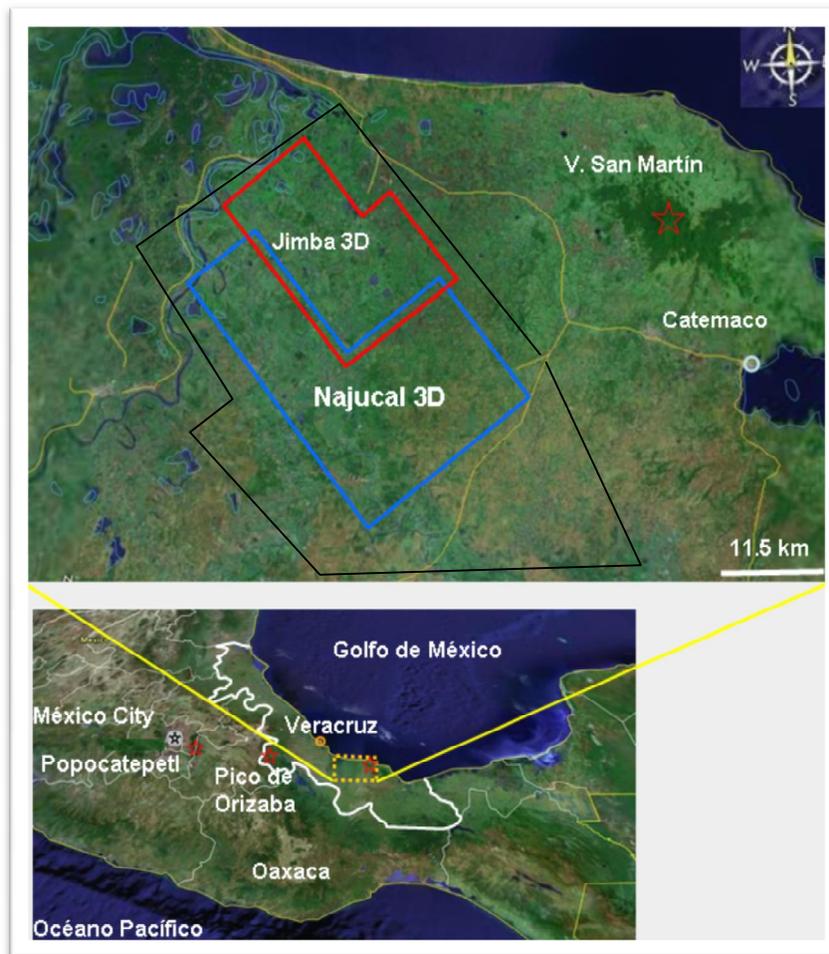


Figura 2.- Localización del área de estudio. Abarca los proyectos sísmicos Jimba 3D y Najucal 3D. Se ubica al occidente de la localidad de Catemaco y al sureste del puerto de Veracruz. Modificado de Google Earth 2005.

Cabe mencionar que esta área fue estudiada en principio por el Activo Salina del Istmo, y posteriormente retomada (2007) por especialistas del Activo Integral Veracruz, por lo que, al tiempo de hacer el presente estudio los datos se encuentran en transferencia de una coordinación a otra; lo cual fue motivo para no disponer de forma completa de los datos tanto



de pozos como de sísmica. Sin embargo los resultados de los primeros estudios son definitivos para encausar el presente trabajo, como se muestra más adelante.

1.2 Antecedentes exploratorios y de producción

Los primeros estudios geológicos realizados en el área se remontan a la última década del siglo XIX, cuando se realizaron los primeros reconocimientos que tuvieron como objetivo efectuar el trazo del ferrocarril que une a los puertos de Coatzacoalcos, Veracruz y Salina Cruz, Oaxaca. Dicho ferrocarril fue concluido en 1894 y durante estos años se descubrió y divulgó la existencia de algunas chapopoterías o exudaciones de aceite en la zona del Istmo de Tehuantepec. Lo anterior dio la pauta para que algunas compañías extranjeras iniciaran los primeros trabajos de exploración que concluyeron, con las primeras perforaciones en Julio de 1902, y que marcan el inicio del desenvolvimiento de la actividad exploratoria en el Istmo de Tehuantepec, como zona petrolera. A partir de estos acontecimientos, a lo largo de 102 años se han realizado campañas de exploración que incluyen trabajos de geología superficial, estudios de métodos potenciales, adquisición sísmica 2D y 3D, perforación de pozos, estudios de núcleos y estudios de gabinete.

1.2.1 Exploración geológica

Con las actividades mencionadas para 1902 se marca el inicio de la fase exploratoria en el Istmo de Tehuantepec.

De 1922 a 1935, se realizaron 14 estudios de campo de diferentes tipos de reconocimientos superficiales: estratigráfico, geológico y de paleosedimentación, principalmente. (Tomado del *Atlas Papaloapan "B"*, 2004)

En el año de 1949, se llevaron a cabo 4 estudios, uno estratigráfico, y otros de reconocimiento geológico y tectónico.

En el período de 1955 a 1959, se realizaron 5 estudios, dos de reconocimiento geológico, dos tectónico-estructurales y otro estructural.

Entre los años de 1957 a 1992, se realizaron 39 estudios, siendo los de tipo estructural-estratigráfico (8), estratigráfico (6) y de geoquímica (6).

En la actualidad se han desarrollado algunos estudios dentro del área, como el *análisis, interpretación e integración geológica, geofísica y de pozos a nivel regional en el proyecto Papaloapan "B" (Pemex, 2004)*; el cual se basa en levantamientos sísmicos 2D así como de los mismos cubos Jimba (adquirido en el año 2000) y Najucal (2002-2003); de los cuales, en el primero se realizó un estudio enfocado a la detección de oportunidades exploratorias a los niveles Mioceno y Plioceno. En el cubo Jimba se realizó un estudio de AVO (2002) con el cual se definieron los tipos de arenas; sin embargo, falta llevar a cabo la calibración considerando los últimos resultados. En el cubo Najucal se han realizado revisiones de la sísmica, con la finalidad de que se logre detectar directamente oportunidades exploratorias. Por lo que se muestra, es evidente que falta un análisis de más detalle que permita conocer el potencial generador de las rocas dentro de la cuenca.

1.2.2. Exploración geofísica

Se realizaron estudios sísmicos 2D tanto en el área de estudio como en los alrededores, desde el año de 1973 hasta el 2000, realizándose en el área de estudio en 1976 el de Mirador-Macuile, en 1982 el de Macuile Sur y en 1994 uno en Los Tuxtlas.

Durante los años 2000-2003 se adquirieron estudios sísmicos 3D, con un total de 2415 Km², siendo los cubos Jimba y Najucal los que integran este estudio. Como se muestra en la tabla I.

Año	Estudio Sísmico	Km2	Calidad de los datos
2000	Jimba	425	Buena
2003	Agua Fría	1294	Buena
2003	Najucal	696	Buena.
Total		2415	

Tabla 1.- Se aprovecha la unión de los estudios Jimba y Najucal, aunque tomados en diferentes años, su calidad es similar, lo cual da oportunidad de hacer un estudio conjunto. PEMEX, AIV (2006).

1.2.3. Perforación y producción

El inicio de la perforación en el área, comenzó en el año de 1932; a partir de entonces se identifican tres etapas de actividades de perforación; la primera inicia en 1932 con el pozo Cuitlaxoyo-1 y la posteriormente con la perforación en 1935 del pozo Rodríguez Clara-1; existe un cese de actividades hasta el año de 1951, donde comienza la segunda etapa con el pozo Sayula-5 y termina en 1989; es aquí donde se concentra la mayor cantidad de pozos perforados en la región (51 pozos). La tercera etapa comprende los años 2000-2003 con la perforación de 7 pozos.

De estos pozos, 49 se consideran exploratorios, 8 de desarrollo, 2 profundizaciones y un pozo en busca de nueva acumulación. Como resultado se tiene: 4 pozos productores de gas seco, un pozo productor de aceite, un pozo productor no comercial de aceite, 3 pozos productores no comerciales de gas, 31 pozos invadidos de agua salada, 11 pozos improductivos secos, un pozo taponado por bajo estructural, un pozo improductivo por otras razones y 7 pozos taponados por accidente mecánico. De 60 pozos, 21 tuvieron pruebas de producción y 6 pozos presentaron pruebas de formación.

En cuanto a las diferentes profundidades alcanzadas por los pozos se tiene lo siguiente: 4 pozos alcanzaron profundidades entre 6000 y 7000 m, 11 pozos entre 3000 y 4000 m, 19 pozos entre 2000 y 3000 m, 14 pozos entre 1000 y 2000 m y 1 pozo con profundidad del orden de los 1000 m.

En 1953 se inició la producción de aceite pesado en el KS Méndez en el Campo Angostura (al noroeste del área de estudio); posteriormente se descubren los yacimientos someros Tres Higueras, Tierra Blanca, Lagartos, Rincón Pacheco, Nopaltepec y Plan de Oro, productores de aceite en la parte alta del Cretácico Superior. En el capítulo 2 se muestran éstos y otros campos tanto de aceite como de gas.

En 1956 se encuentra producción en el Campo Mirador en sedimentos de la cuenca terciaria y más tarde en el Mesozoico, con el pozo San Pablo-4 (actualmente en producción).

De 1973 a 1976 se descubren los campos Cópite, Mata Pionche y Mecayucan, entre otros productores en el Cretácico Medio.



Del año 2000 al 2006, se descubren los yacimientos más importantes en la parte noroeste de la Cuenca de Veracruz, de los cuales se mencionan: Cocuite, Veinte y Novillero, Lizamba, Vistoso, Madera, Apertura, Arquimia, Papán; productores principalmente de gas.

Dentro del área de estudio de la presente tesis, se encuentran los pozos de la **tabla II**. Los pozos Novillero – 12 (que llegó al Mioceno Inferior) y Loma Bonita–2 (que alcanzó el Eoceno Inferior) fueron utilizados para correlacionar niveles del subsuelo ya conocidos desde el occidente hacia el área de interés, dentro de la cuenca de Veracruz. El pozo Macuile–4 perforado en 1974, es el único productor dentro del área propuesta, en intervalos arenosos de edad Plioceno Inferior. Los pozos Loma bonita-1, Loma bonita-4, Macuile-1, Macuile DL-1 y Macuile DL-2; por no contar con información o era muy escueta, el Ixhuapan-1 no se utilizó, ya que, la columna del pozo Ixhuapan-1^a tenía una columna mejor estudiada.

Se seleccionaron solamente 13 pozos del total en el área de estudio, debido a que contaban con suficiente información geológica y bioestratigráfica, aunque de los pozos hatillo-1 y Najucal-1 no se cuenta con los registros geofísicos, por lo que la interpretación fue solo con litología y bioestratigrafía.

Pozo	Fecha Termina	Resultado del pozo	Edad en PT	PT(mdbmr)
Loma Bonita-1	Oct - 1956	Taponado por accidente mecánico durante perforación	Eoceno Superior	1713
Loma Bonita-2	Abr - 1957	Improductivo seco	Eoceno Inferior	2967
Loma Bonita-4	Oct - 1958	Improductivo, invadido de agua salada.	Mioceno Superior	1800
Tlacotalpan-1	Dic - 1959	Improductivo, invadido de agua salada.	Mioceno Inferior	2441
Morillo-1	Jul - 1961	Improductivo seco	Mioceno Inferior*	3188
Macuile-1	Jun - 1962	Improductivo, invadido de agua salada.	Mioceno Superior	1800
Novillero -12	May - 1972	Improductivo seco	Mioceno Inferior	3605
Macuile-4	May - 1974	Productor de gas y condensado.	Mioceno Medio	2405
Macuile-3	May - 1975	Improductivo, invadido de agua salada.	Mioceno Inferior	3300
Arrollo Largo-1	Jul - 1975	Improductivo, invadido de agua salada.	Mioceno Inferior	2953
Macuile Sur - 1	Mar - 1977	Improductivo, invadido de agua salada.	Mioceno Medio**	3000
Tesechoacán-1	Abr - 1977	Improductivo, invadido de agua salada	Mioceno Inferior*	3500
Acula-2	May - 1979	Taponado por accidente mecánico durante perforación	Mioceno Inferior	3042
Ixhuapán-1	Dic - 1980	Taponado por accidente mecánico durante perforación	Mioceno Superior	2922
Ixhuapán-1A	Sept - 1982	Taponado por accidente mecánico durante perforación	Eoceno Superior	4946
Najucal - 1	Ene - 2001***	Improductivo, invadido de agua salada	Mioceno Inferior	2700***
Hatillo-1	May - 2001***	Productor de gas no comercial.	Mioceno Inferior	2200
Macuile-DL2	Oct - 2002	Invadido de agua salada (por registro)	Plioceno Inferior	1930 (1677 mv)
Macuile-DL1	Mar - 2003	Productor no comercial de gas	Plioceno Inferior	2120 (1856 mv)
Caldera-1	May - 2003	Improductivo. Accidente mecánico	Mioceno Medio	1800 (1740 mv)

Tabla 2.- Relación de pozos en el área de estudio; En la segunda columna se señala la fecha de terminación del pozo. En la penúltima columna se marca la edad a la cual llega la profundidad total; la edad es propuesta por paleontología. Los pozos sombreados son los que han manifestado mayores expectativas de producción.

* Posible Oligoceno Superior por correlación sísmica.

** Mioceno Inferior por correlación sísmica.

*** Sin confirmar.

1.2.4. Resumen de los pozos

Acula-2. Este pozo se perforó en 1978 con el objetivo de investigar las posibilidades de las formaciones Encanto Inferior (Plioceno Inferior), Deposito (Mioceno Medio – Mioceno Inferior) y La Laja (Oligoceno Superior - Mioceno Medio), resultando invadido por agua salada con una profundidad total de 3042 metros, las rocas atravesadas más antiguas son de edad Mioceno Temprano. La profundidad programada era de 3500 metros, no alcanzándose por problemas mecánicos debido a las frecuentes gasificaciones y flujos de agua salada. Sólo se tomaron registros geofísicos hasta la profundidad de 2548 metros. No se realizaron pruebas de producción. La única prueba programada en el intervalo 1742-1746 metros, no se ejecuto por problemas mecánicos.

Arroyo largo-1. Se perforó en 1975 con el objetivo de investigar las posibilidades de la Formación La Laja (Oligoceno Superior - Mioceno Medio) y la extensión lateral de las arenas de la Formación Encanto Inferior (Plioceno Inferior) que fueron productoras en el pozo Macuile-4, que penetró hasta los 2953 metros de profundidad presentándose manifestaciones de gas en las formaciones Depósito, Encanto Inferior y La Laja, donde se encontraron espesores de areniscas de 150 a 250 metros con intercalaciones de lutitas, suspendiéndose la perforación debido a que no se pudo controlar el flujo de agua salada de 28000 a 18000 ppm. Se probó en el intervalo 2002 a 2018, resultando invadido por agua salada de 30,000 ppm.

Caldera-1. Fue perforado en el año 2003 con una profundidad total de 1880 metros, resultando improductivo.

Hatillo-1. Sin información del pozo.

Ixhuapan-1^a. El objetivo de este pozo fue el de explorar la columna estratigráfica del Cenozoico-Mesozoico y sus posibilidades petroleras en el borde oriental de la cuenca. Fue perforado en 1980 llegando a una profundidad de 4946 metros, no alcanzando la profundidad programada inicialmente de 7000 metros, por problemas mecánicos, siendo las rocas más antiguas perforadas de edad Eoceno Superior. Durante la perforación se presentaron varias manifestaciones, principalmente en la formación La Laja (Oligoceno Superior - Mioceno

Medio) y en el Oligoceno Medio. No se realizaron pruebas de producción ni de formación debido a problemas mecánicos; terminado como improductivo por accidente mecánico.

Loma Bonita-2. Este pozo fue perforado de 1956 a 1957 debido a que el pozo Loma Bonita-1 tuvo problemas mecánicos y se quedó a una profundidad de 1713 metros; el pozo Loma Bonita-2 alcanzó una profundidad de 2967 metros en rocas de edad Eoceno Medio, teniendo manifestaciones esporádicas de 1698 a 2147 metros. A 1984 metros recuperó agua de 12,000 ppm resultando improductivo por agua salada. Estratigráficamente está bien controlado, ya que se cortaron 15 núcleos en diferentes niveles de la columna geológica.

Macuile-3. Se perforó en 1975 con el objetivo de investigar los desarrollos arenosos de las formaciones Deposito y La Laja, cuyo desarrollo se observa en la parte alta del flanco poniente de la estructura anticlinal de Macuile; y la formación Encanto Inferior productora de gas en el pozo Macuile-4. Se penetró 580 metros en la formación La Laja, encontrando cuerpos arenosos invadidos de agua salada; no encontrándose la arena productora del pozo Macuile-4, quedando como improductivo seco por registro.

Macuile-4. Se perforó de 1973 a 1974 con una profundidad total de 2405 metros. Originalmente los objetivos de este pozo fueron los de probar la potencialidad productora de los cuerpos arenosos de la formación Encanto del Plioceno y las posibilidades en la formación La Laja, no cumpliéndose el segundo objetivo por no haberse podido probar la formación La Laja por accidente mecánico. Siendo productor en la Formación Encanto Inferior del Plioceno Inferior (1539-1542m) de gas.

Macuile Sur-1. Se perforó de 1976 a 1977 a la profundidad de 2967 metros, con el objetivo de establecer las características sedimentarias y posibilidades de producción en la formación La Laja, además de conocer la distribución de los cuerpos arenosos de la Formación Encanto Inferior. Se realizaron 3 pruebas de producción a 2500-2508, 2155-2175 y a 2014-2028, siendo los 3 intervalos invadidos de agua salada con 22,000, 23,000 y 32,000 ppm respectivamente. Resultando el pozo invadido de agua salada.

Morillo-1. Este pozo fue perforado en 1961 con una profundidad total de 3188 metros en rocas de edad Mioceno Inferior, resultando invadido de agua salada. Su objetivo fue el de perforar los diversos horizontes de arenas y areniscas de la Formación La Laja del Oligoceno. Tuvo una prueba de producción de 2002 a 2018 metros, fluyendo agua sin presión de 8000

ppm; posteriormente fluyendo agua de 50,000 ppm y poco gas sin presión. Se tuvieron algunas gasificaciones desde 1630 hasta 2960 metros.

Najucal-1. Sin información del pozo. Solo información bioestratigráfica.

Novillero-12. Sin datos de perforación y producción.

1.3 Metodología

La metodología aplicada fue la de alta resolución bioestratigráfica, consistiendo en documentar todas las especies encontradas, aplicando conteos bioestadísticos y controles biosedimentológicos. La columna bioestratigráfica fue datada con base a los criterios de Bolli & Saunders, 1985; Blow, 1969 y Hardenbold et al, 1998. La tabla de distribución de microfósiles, evidencia probables cambios de depósito con respecto a la variación y frecuencia de los especímenes, así como las posibles discordancias y/o pasos de falla, en lo referente a la ausencia microfósilífera en determinado intervalo de la columna en estudio.

En este ensayo de estratigrafía de secuencias se basó en 4 secciones abarcando los pozos que se encuentran en el área de estudio y algunos que están en las zonas aledañas. Es necesario mencionar que en los trabajos previos como: Arreguín (2005) que trabajó una zona particular de la parte noroeste de la cuenca de Veracruz, Papaloapan B (2004), que se enfoca al análisis de *plays* desde el Cretácico Inferior hasta el Plioceno Inferior, e incluye a la zona del presente estudio, así como también de BEG (1994); se ha avanzado en la interpretación estratigráfica regional del área de estudio. En los dos últimos trabajos se usó principalmente el proyecto 2D Los Tuxtlas, el cual es de gran cobertura; sin embargo durante la elaboración del presente trabajo no se tuvo disponible esa información sísmica. Es necesario resaltar que de BEG (1994) y Papaloapan B (2004), se contó con las edades de las formaciones que se comentan más adelante, así también, ya se tenían definidas las zonas de interés petrolero; no obstante los pozos que se han perforado a raíz de estos estudios, por diversas razones, no han resultado satisfactorios, como se menciona brevemente en el punto anterior.

En el mapa a (**Figura 3**) se observan los pozos: Acula – 2, Arroyo Largo – 1, Caldera – 1 , Hatillo – 1, Ixhuapán – 1A, Loma Bonita – 2, Macuile – 1, Macuile – 3, Macuile – 4, Macuile Sur – 1, Morillo – 1, Najucal – 1, Novillero – 12, Tlacotalpan – 1, Tesechoacán – 1, así como sus correlaciones.

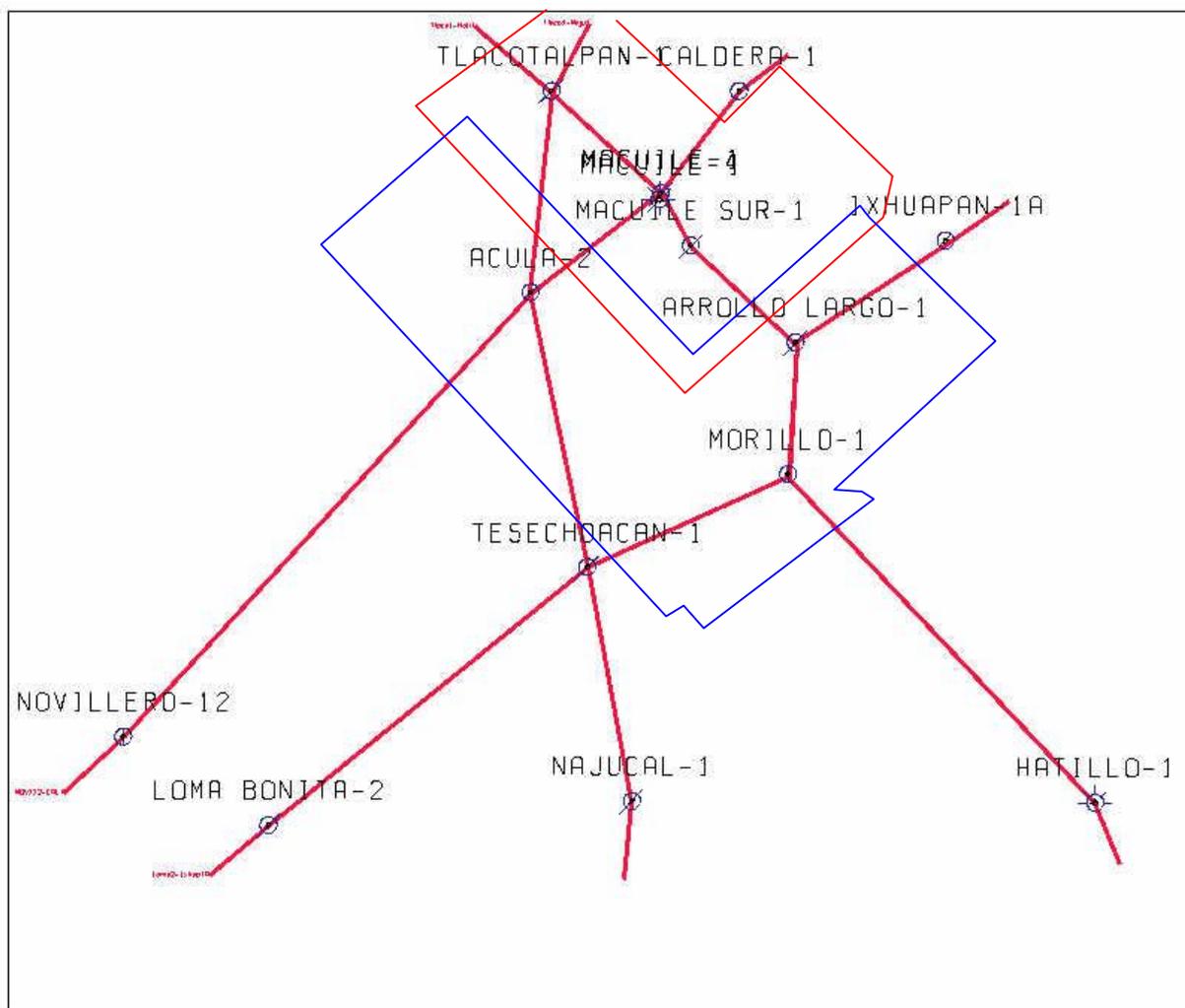


Figura 3.- Ubicación de las correlaciones, para comprender el comportamiento estratigráfico de la zona de estudio en relación con el entorno. Se agrega la ubicación de los pozos así como su estatus actual. Ambos elementos son considerados para estudiar el área de Jimba y Najucal. PEMEX, AIV (2006).

El presente ensayo de estratigrafía de secuencias se basó en conceptos, principios y técnicas de interpretación desarrolladas por Haq et al, (1987) que publicó una carta de ciclos de onlap relativos de las costas, que representan transgresiones y regresiones del nivel



relativo del mar Galloway (1989), en donde las secciones condensadas son usadas para delinear secuencias en lugar de límites erosionales. Ahora ha sido actualizado por Xue y Galloway (1993) para coincidir con el modelo de Vail et al. (1977) y Mitchum et al. (1993), utilizando registros geofísicos de pozos, datos bioestratigráficos y la carta cronoestratigráfica para el Golfo de México, donde esta información fue integrada para definir el esquema depositacional y evolución estratigráfica del área de estudio.

Actualmente gracias al desarrollo de nuevos métodos de análisis de facies, sísmica de reflexión y avanzadas técnicas de registros geofísicos, la utilización de muestras litológicas y paleontológicas ha perdido importancia como una fuente principal de datos; sin embargo para análisis de alta resolución del subsuelo, el análisis de muestras de pozos pueden ser usadas para construir detalladas sucesiones de facies verticales ligados a registros geofísicos (Wynn, 2006). Por lo que, este ensayo pretende mostrar que la utilización de estas herramientas también son valiosas para una buena interpretación, ya que su resolución es mucho más alta y permite interpretar las parasecuencias, por lo que, los parámetros provenientes de estos análisis deben ser fundamentales para una buena calibración de la sísmica.

El primer paso de la metodología, fue establecer la ubicación paleogeográfica dentro de la cuenca y los tipos de ambientes de depósito, por medio del análisis de la información extraída de estudios previos de foraminíferos planctónicos y bentónicos, encontrados en las muestras de pozos y núcleos de los pozos del área de estudio. Para la determinación de los alcances bioestratigráficos se utilizaron principalmente las claves de Bolli (1985) para los foraminíferos planctónicos y determinar el marco cronoestratigráfico del área de estudio y la guía de De Sansores (1972) para determinar los organismos bentónicos, así como también, se estableció la escala de secuencias.

El segundo paso, fue la interpretación de los ambientes de depósito y las variaciones en los registros de los pozos, principalmente utilizando los rayos gamma, de potencial espontáneo y registros de resistividad, apoyados con columnas litoestratigráficas provenientes de las muestras de los pozos; para determinar los procesos regresivos y transgresivos, y

lograr determinar las facies sedimentarias principales que pueden ser identificadas en los pozos.

Como tercer paso fue la identificación de los principales patrones de apilamiento con los ciclos regresivos y transgresivos, para caracterizar las superficies de máxima inundación como límites de secuencia y posteriormente, analizar la sección para identificar las jerarquías de las secuencias a partir de los eventos estratigráficos identificados, ya que para Einsele, G. (1988) estos son superficies o estrato marcadores isócronos o casi isócronos que se dividen , en eventos biológicos, sedimentológicos (físicos) y químicos, los cuales, mediante su interpretación, permiten correlacionar secuencias sedimentarias con cambios laterales de facies.

El paso cuatro, fue identificar la ubicación más adecuada de los candidatos a límites de secuencia, los cuales usualmente lo identifican en los puntos de máxima regresión y de máximo espesor de arena, o en la base de una entrada brusca de arena gruesa y masiva. Ejemplo: base de los valles de incisión o depósitos costeros de nivel bajo; o cuerpos de arena suprayaciendo un grueso intervalo de lutitas marinas. En base a lo anterior, un límite de secuencia estará en la base de una sección granocreciente en depósitos costeros de lowstand y en la cima de una sección granocreciente en depósitos de nivel alto. Posteriormente se correlacionaron los límites de secuencia con los pozos incluidos en el estudio, lo cual nos muestra los intervalos ricos en arena.

El paso 5, fue la identificación de los systems tract; es pertinente comentar que en la interpretación de estos siempre se cuenta con cierta incertidumbre, ya que por ejemplo en los intervalos regresivos granocrecientes de plataforma pueden representar tanto un sistema de nivel bajo con un sistema de nivel alto, por lo que por lo regular son difíciles de distinguir y separar, para evitar eso debe estar bien apoyado por la interpretación batimétrica basado en los conjuntos fosilíferos.

A continuación se calibra con la tabla eustática global para verificar las edades de los límites de secuencia en millones de años, utilizando la carta de ciclos globales de Haq et al (1987) y



correlacionándolo localmente con la Tabla de Secuencias Biocronoestratigráficas de la Cuenca de Veracruz, (Padilla y Escamilla, 2003) ya que varias caídas eustáticas pueden estar combinadas dentro de un límite de secuencia sencillo.

Teniendo toda esta información interpretada y analizada, se procede a la construcción de las secciones, que en el caso del presente estudio se trazaron 4 secciones, dos del SW al NE, otra prácticamente del norte y sur, y otra del NW al SE (figura 3) utilizando todos los pozos disponibles en el área de estudio. Estas secciones incluyen los límites de las secuencias genéticas, las batimetrías y patrones de registros interpretados de los pozos, así como las fallas principales interpretadas (Martínez, 2012).

Con las secciones construidas se procedió a la interpretación de las facies principales en cada secuencia, iluminándolas según los colores establecidos para identificarlos rápidamente en cada sección.

Con base en las secciones completas e interpretadas así como los mapas estructurales procedentes de la tesis de maestría de Peláez (2007), se procedió a la construcción de los mapas de paleoambientes sedimentarios de cada secuencia.

1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

1.1. Marco Tectónico.

Desde un punto de vista tectónico la cuenca está situada en la terminación oriental de un cinturón plegado de corrimientos que verge al noroeste, asociada a la deformación laramídica; el cual forma parte del margen sur deformado de manera compleja de la placa de Norte América. Se definieron seis alineaciones estructurales principales. Estas son, de oeste a este, (1) el homoclinal del margen occidental, (2) la alineación de Loma Bonita, (3) el sinclinal de Tlacotalpan, (4) el Alto de Anegada, (5) la alineación de Antón Lizardo, y (6) el extremo sur altamente deformado de la cuenca, denominado aquí “re-entrante de Coatzacoalcos” (Figura 4). Cada una de estas alineaciones es diferente en relación al estilo estructural y la cinemática, pero hay evidencia suficiente para afirmar que muchas de estas alineaciones comparten similitudes con respecto al tiempo general cuando sucedió la deformación. La deformación dentro de la cuenca afecta tanto a la formación de las trampas como a la calidad del sello. Muchas de las trampas que se han probado son cierres en tres o en cuatro direcciones, relacionados con plegamiento y producidos durante acortamiento e inversión de la cuenca. El tamaño y el estilo de estos pliegues varían de norte a sur, y la deformación de las rocas sello está fuertemente relacionada con la intensidad de la flexión bajo compresión. La formación de trampas a lo largo de todas las fallas inversas empezó en algún momento durante el Mioceno Medio, y la intensidad del levantamiento parece haber culminado hace unos 5 a 7 ma, lo cual corresponde con un adelgazamiento de las unidades sedimentarias sobre los anticlinales y, en algunos lugares, particularmente en el “re-entrante de Coatzacoalcos”, erosión y/o ausencia de sedimentación en la cima.

En la periferia del área de estudio, los principales elementos tectónico-estructurales que se reconocen son: hacia el norte, el alto de Anegada; al oriente, el Alto de San Andrés; hacia el sudeste, la Cuenca Salina del Istmo; hacia el sur, el Batolito de la Mixtequita (el cual queda fuera del mapa), y hacia el oeste, se encuentra el Frente Tectónico Sepultado (FTS) así como también el alineamiento Víbora–Loma Bonita; Estos elementos se muestran en la Figura 4.

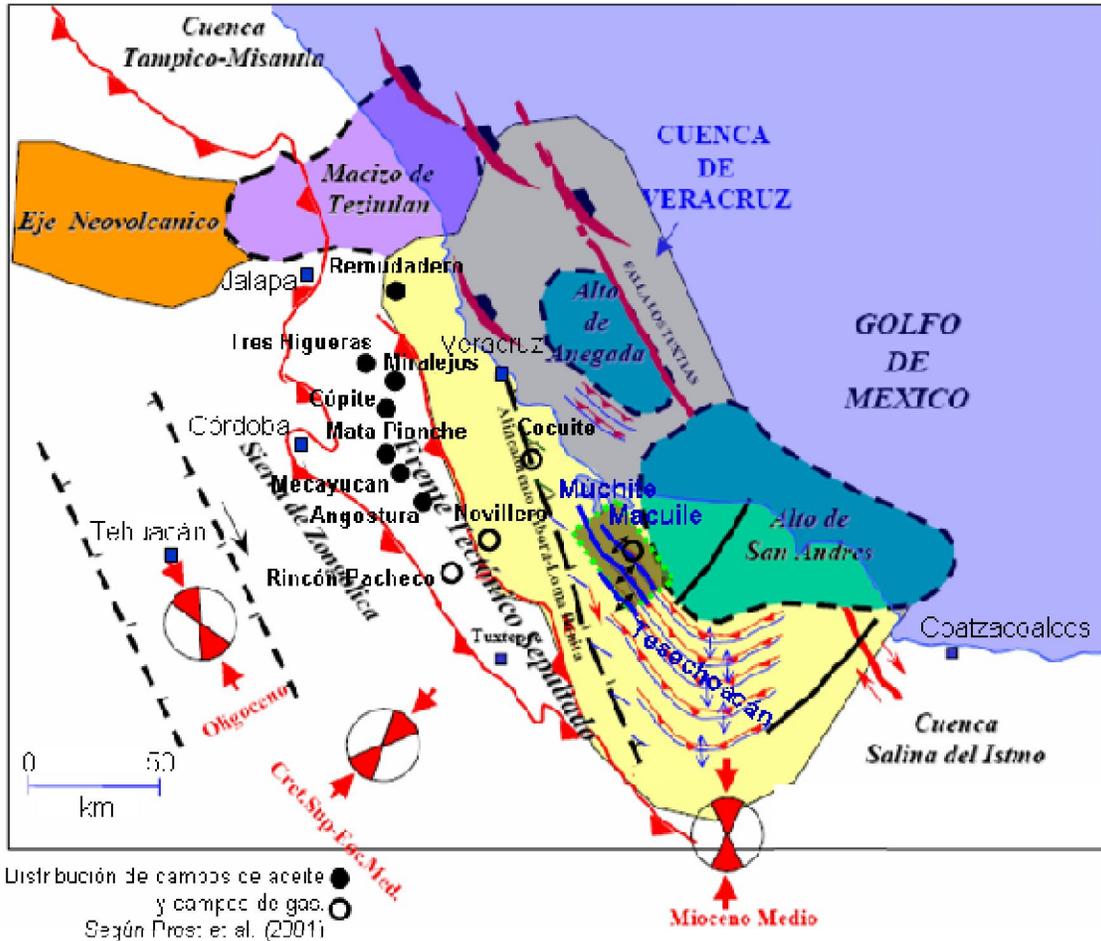


Figura 4.- Elementos Tectónico – Estructurales. Al occidente de la cuenca se señala el frente tectónico sepultado, y casi paralelo también el alineamiento Víbora – Loma Bonita, que al norte llega prácticamente a la Ciudad de Veracruz. Los triángulos sólidos encerrados en círculo definen la dirección de máximo esfuerzo a diferentes edades. Al sur de la Cuenca se observa el cambio fuerte de esta dirección, lo que provoca elementos estructurales encontrados. Al SE y NE se definen los altos de San Andrés y Anegada, respectivamente. El área de estudio se marca con línea punteada entre el alineamiento Víbora – Loma Bonita y el Alto de San Andrés; dentro de la zona de interés se tienen tres estructuras que de poniente a oriente son: Tesechoacán, Múchite y Macuile. Modificado de PEMEX-IMP-AMOCO (1999).

La historia tectónica de esta región indica 2 principales eventos de deformación:

El primer evento corresponde con la Orogenia Laramide, que tuvo lugar durante el Cretácico Tardío y el Paleógeno Temprano (Campaniano - Eoceno) en donde se reconoce una compresión principal hacia el noreste, originando estructuras anticlinales con fallamientos inversos en sus flancos delanteros, según Espinoza et al. (2005).

Dicho evento fue el responsable de la formación del Frente Tectónico Sepultado (FTS), en donde existen cabalgaduras y fallas inversas que dieron como resultado pliegues tipo dúplex; estas estructuras complejas fueron deformadas por un segundo evento, que corresponde con la deformación compresiva durante el Mioceno Medio, que tuvo pulsos hasta el Plioceno Inferior, de donde se tiene la formación de los pliegues por propagación de fallas (*fault*

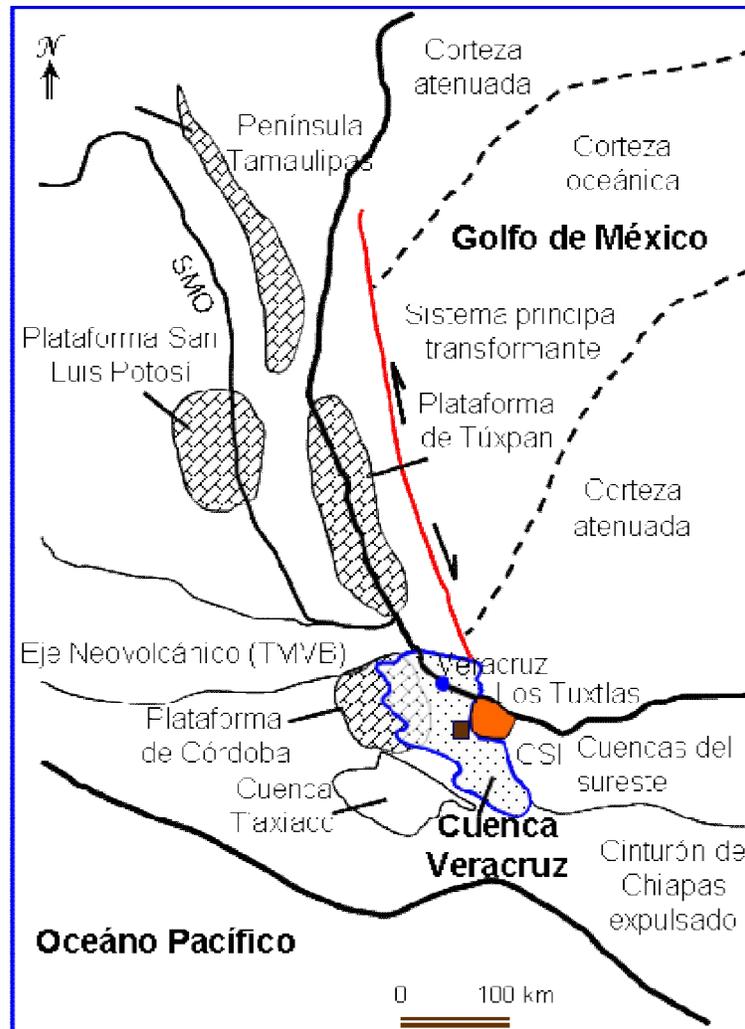
propagation folds) con ruptura en los limbos frontales, presentando orientaciones iniciales similares al evento de deformación anterior y que aparentemente se movió de oeste a este y fue rotando de una dirección noreste hasta alcanzar una orientación hacia el norte.

1.1.1. Evolución tectónica de la Cuenca de Veracruz.

La evolución de la Cuenca de Veracruz (Figura 5) está estrechamente relacionada con los procesos que dieron lugar a la apertura del Golfo de México, a partir del Jurásico Medio - Tardío, como resultado de un régimen tectónico de tipo extensional y al movimiento de placas tectónicas a lo largo de la margen del Pacífico.

Se postula que debido a un flujo térmico que adelgazó la litosfera en el antiguo Golfo de México, provocó la extensión de ésta y su evolución en la porción sur, que puede resumirse en 3 etapas principales:

- a) La fase de rift que ocurrió durante el Jurásico Medio, cuando la Plataforma de Yucatán se desplazó hacia el sur, a través de la zona de transcurrencia en el Área Tampico-Misantla, en cuya parte marina existió, muy probablemente, la generación de nueva corteza oceánica debido a la expansión.
- b) La fase de margen pasiva del Jurásico Tardío al Cretácico Tardío, sucedió como resultado del cese de la migración hacia el sur de la Plataforma de Yucatán; durante este período, es posible que se depositaran sedimentos carbonatados sobre las partes más someras de las plataformas y arcillo calcáreos en las más profundas.
- c) Una fase compresiva del Cretácico Tardío al reciente, que se caracterizó por la formación de estructuras anticlinales e imbricaciones; lo cual se explica a continuación.



■ Área de estudio

Prost - Aranda (2001)

Figura 5.- Relación de la apertura del Golfo de México con el origen de la Cuenca de Veracruz. La apertura del Golfo de México concluida para el Jurásico Tardío por movimiento al sureste del bloque de Yucatán a través de margen transformante. Los paleoelementos positivos se formaron durante el Cretácico.

Cuencas del sureste: Cuenca Salinas del Istmo (CSI), Reforma-Comalcalco y Macuspana. SMO: Sierra Madre Oriental. Tomado de Prost et al. (2001).

1.1.2. Fase Compresiva.

La fase compresiva puede resumirse también en 3 eventos principales: La compresión durante el Cretácico Tardío - Paleógeno, la cual fue el resultado de una débil colisión del Bloque de Chortis contra la margen del Océano Pacífico de Chiapas. Lo anterior provocó los primeros cabalgamientos en el Frente Tectónico Sepultado en la porción sur de la Plataforma de Córdoba.

En una segunda fase, esta región fue sometida a un efecto isostático que provocó la inclinación con una componente transcurrente de toda la carpeta sedimentaria. La deformación compresiva durante el Mioceno hacia el noreste, fue el resultado de una fuerte colisión del Bloque de Chortis contra Oaxaca y Chiapas.

La última fase, está caracterizada por la erosión y el rebote isostático durante el Mioceno Superior, debido a que el bloque de Chortis se alejó hacia el Este y la zona fue liberada de la carga isostática; como consecuencia se produjo un levantamiento y posterior erosión que fue más temprana hacia el área sur de la Cuenca de Veracruz, donde grandes volúmenes de sedimentos rellenaron la depresión sinclinal situada al norte del Frente Tectónico Sepultado (FTS) durante el Mioceno Medio-Tardío al Plioceno, mismo que ocasionó una continua subsidencia durante ese tiempo.

Esta historia geológica compleja dio como resultado la formación de las trampas estructurales y posteriormente las trampas combinadas y estratigráficas, en donde prevalecieron ambientes de margen de plataforma, talud y cuenca para el Cretácico y de talud y cuenca para el Cenozoico. Dichos ambientes de depósito controlaron las distribuciones y propiedades petrofísicas particulares para las rocas identificadas, generadoras, almacenadoras y sello.

2.2. Marco estratigráfico.

La cuenca de Veracruz se distribuye en un área de aproximadamente **24,000 km²** incluyendo a su parte marina somera (Guzmán, 1999), y se conforma de dos regiones geológicas bien definidas: la Plataforma de Córdoba y la Cuenca Terciaria.

2.2.1. Plataforma de Córdoba.

La Plataforma de Córdoba está constituida de rocas calcáreas mesozoicas con una extensión de **8,100 km²** aproximadamente.

De acuerdo con la información geológica, se ha concluido que el mayor espesor de sedimentos mesozoicos se depositó sobre la Plataforma de Córdoba, disminuyendo hacia las cuencas de Zongolica y de Veracruz que la limitan, formándose dos bordes sumamente complejos (Figura 5), en donde, para cada línea de tiempo, se desarrollaron cuerpos arrecifales y depósitos lagunares con sus respectivas facies de pre y post-arrecife.

En general se considera que la columna sedimentaria descansa sobre un basamento metamórfico granítico de edad paleozoica y se inicia con los depósitos de sedimentos del Triásico-Jurásico Medio, de carácter continental; le siguen secuencias del Jurásico Superior, depositadas de manera discordante, constituidas por evaporitas y carbonatos. En el Cretácico, de manera general, se tienen carbonatos y margas.

2.2.2. La Cuenca Terciaria de Veracruz.

En la Cuenca Terciaria de Veracruz, predominan las rocas siliciclásticas (lutitas, areniscas y conglomerados) de edad principalmente neógeno; en la actualidad la producción principal se encuentra en la parte terrestre de la cuenca, aunque cuenta con una porción marina en el presente en donde se ha establecido producción en su parte norte y se tienen avances exploratorios importantes. La CTV alcanza un espesor de cerca de 9000 m en su depocentro.

En la Figura 6 se muestra la tabla estratigráfica sólo del Cenozoico, dentro de la cual, está el intervalo de interés que es el Mioceno - Plioceno, así como las principales formaciones nombradas en la literatura. La columna completa abarca desde el Triásico, y en la base de éste se marca el basamento cristalino, (tomado de PEMEX, 2000).

Actualmente en la exploración petrolera y principalmente para el Cenozoico, se evita utilizar las formaciones, por lo que, en los siguientes capítulos se hace referencia sólo al nivel estratigráfico, utilizando la edad geológica.

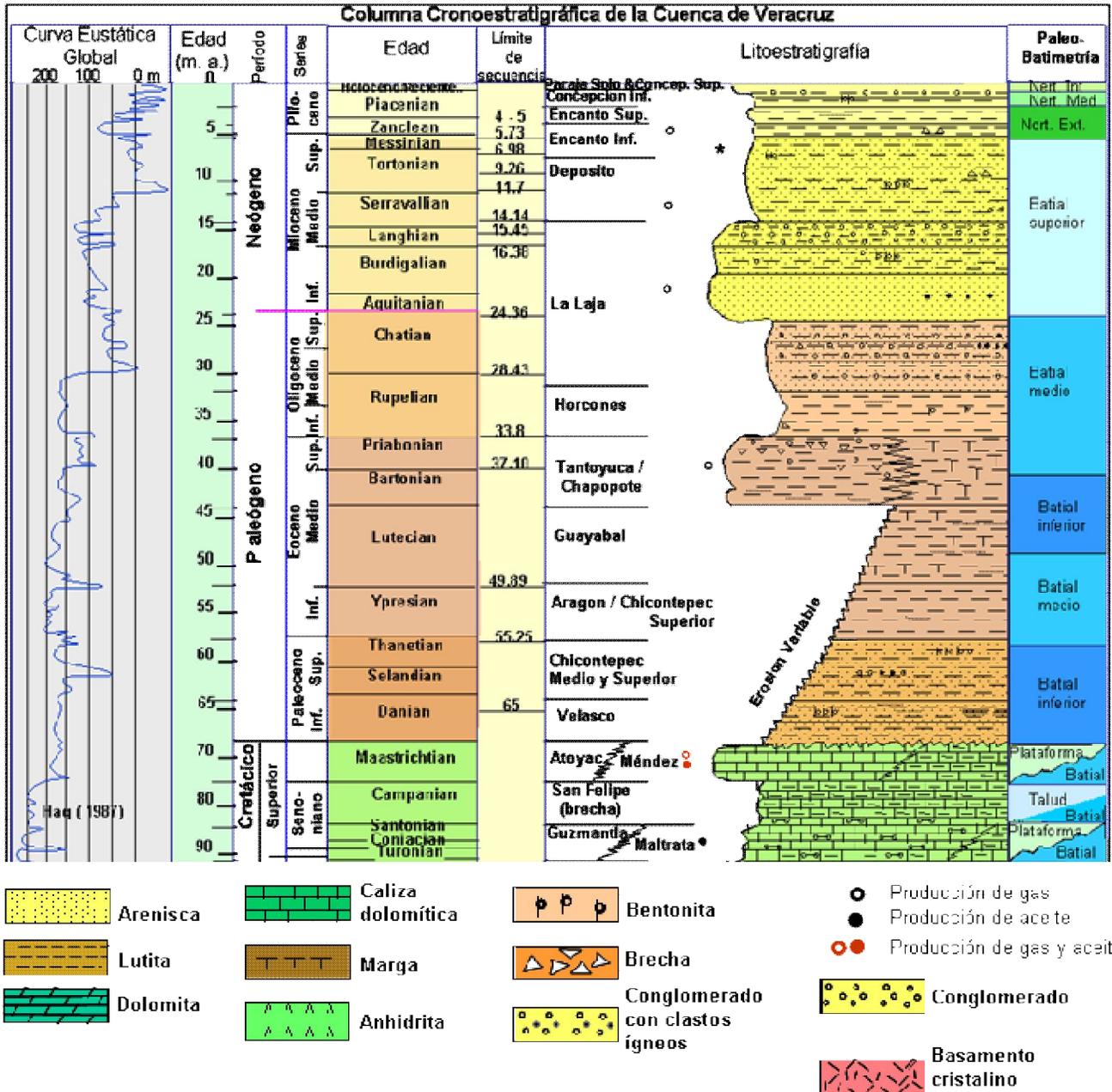


Figura 6.- Columna estratigráfica desde la base del Paleógeno hasta el Reciente, dentro de la cual el intervalo de interés en este trabajo es a nivel Mioceno – Plioceno. Simplificado de PEMEX et al. (2000).

Existen evidencias paleontológicas de que algunas de las formaciones de la Cuenca de Veracruz se depositaron en un ambiente de plataforma externa y de talud, con fuertes pendientes, motivo por el cual, los clastos tanto externos como los derivados de la primera, fueron transportados y depositados por un sistema de paleo-cañones submarinos para formar el mayor volumen de sedimentos en el piso de la cuenca en forma de complejos de abanicos y canales con sus respectivo desbordes. Este proceso sedimentario, predomina hasta el

Mioceno Medio, después del cual, la contribución se hace sólo por la aportación simple de la plataforma y del talud.

Respecto a las rocas volcánicas que cubren algunas partes del área, son evidentemente más jóvenes que el Mioceno, pues las cubren discordantemente, consisten de lavas de andesita o basalto, brechas, tobos y cenizas volcánicas derivadas de antiguos aparatos volcánicos, de los cuales sólo quedan como testigos el Pico de Orizaba, Cofre de Perote y Volcán de San Martín.

2.2.3. Desarrollo estratigráfico de la Cuenca de Veracruz del Paleógeno al Neógeno.

En diversos estudios como los de Arreguín (2003) y Martínez et al. (2005), se determina, para la parte norte de la cuenca que en el Paleoceno – Oligoceno, debido a la actividad tectónica, se producen taludes muy inestables que provocan flujos intermitentes de escombros sobre y al pie de éstos. En el Mioceno la sedimentación se caracterizó por eventos transgresivos con ciclos regresivos de corta duración; en la etapa temprana de éste se inicia la emersión de la cuenca y, la composición de los clastos denudados de las estructuras, varía de una composición carbonatada a metamórfica en el sureste, y de ígnea a calcárea en el noroeste. Estos clastos forman una sedimentación conglomerática que rellena varios sistemas canalizados y rectos, la mayoría en la margen occidental de la cuenca.

Para el Mioceno Medio se alcanza el máximo desarrollo de la deformación y esto provoca la inversión de la cuenca. Lo que era una antigua cuenca de foreland se secciona en depresiones separadas por *trends* estructurales, y se propone una variación vertical, de forma gradual, en donde la composición de las areniscas, pasan de calcáreas a ser siliciclásticas con predominio de fragmentos ígneos y metamórficos. Para este tiempo los yacimientos importantes se asocian a facies de complejos de canal y de abanicos submarinos.

En el Mioceno Tardío se define una intermitente actividad tectónica, a la vez que se inicia un sistema regresivo marino, en donde las facies de plataforma progradan hacia la cuenca.

En la Tabla 3 se muestra en forma condensada la información de los sistemas de depósito principales y sus límites de secuencia calibrados en edades absolutas y relativas en la porción norte de la CTV, aunque más adelante se explica lo correspondiente para la parte sur.

EDAD	LÍMITE DE SECUENCIA DEPOSITACIONAL		SISTEMA DE DEPOSITO	UNIDAD PRODUCTORA
RECIENTE				
PLIOCENO	MSI_PL_04_20	PROGRADACIONES		
	LS_MS_05_73		CANALES MEANDRICOS	COCUITE y LIZAMBA
MIOCENO SUPERIOR	MSI_MS_06_00	ABANICOS DE CUENCA	PISO DE CUENCA	
	LS_MS_06_98		CANALES MEANDRICOS Y ABANICOS DE PISO DE CUENCA	PLAYUELA, VISTOSO APERTURA, COCUITE
	MSI_MS_07_08		PISO DE CUENCA	
	LS_MS_09_26		ABANICOS PISO DE CUENCA CON APORTE MULTIPLE	COCUITE = BREÑA, ARENA G. LIZAMBA = ARQUIMIA, KEPLER.
	MSI_MM_11_20		PISO DE CUENCA	
MIOCENO MEDIO	LS_MM_11_70		ABANICOS DE PISO DE CUENCA REGIONALES. APORTE MULTIPLE	COCUITE, APERTURA, MADERA, ULOA, NOVILLERO
MIOCENO INFERIOR	LS_MI_16_38	DESARROLLO CAÑONES	ULTIMA ETAPA DE RELLENO DE CAÑONES	
	LS_MI_17_34		ABANICOS DE PIE DE TALUD ABASTECIDOS POR CAÑONES Y FLUJOS DE ESCOMBROS	APERTURA, LIZAMBA, NOVILLERO
OLIGOCENO	LS_OL_24_36			

Tabla 3.- Se muestran los límites de secuencias depositacionales (LS) así como las máximas superficies de inundación (MSI) con su edad asignada en millones de años. Además del sistema de depósito así como los campos ligados al sistema de depósito en el cual producen al norte y noroeste del área de estudio. Modificado de Martínez M. et al. (2005), Activo Integral Veracruz.

Por otro lado, al sur del área de estudio y en dirección SW – NE se han planteado (Equipo Papaloapan B, 2004), con el aporte de paleontología, petrofísica y sismo – estratigrafía, los límites de secuencias, desde la cima del Eoceno y base del Oligoceno, al que le corresponde una edad de 36 millones de años, hasta la terminación del Plioceno Superior, al que se le asigna una edad de 1.6 millones de años. Según esta referencia, se postula que la mayor parte de las secuencias son depositadas en ambientes de aguas profundas; es decir, que los sedimentos erosionados del noroeste de esta zona, son depositados en abanicos de piso de cuenca. Tales fenómenos de erosión, por un lado, y depósito por el otro, predominaron desde el Oligoceno Inferior con oscilaciones de regresión y transgresión marina hasta prácticamente

terminar el Mioceno Superior, después del cual, ya en el Plioceno Medio – Superior, se marca una importante progradación del margen de plataforma hacia la cuenca.

De las secuencias identificadas en el trabajo antes mencionado, se resalta que la deformación asociada al límite de secuencia que corresponde al datum de 13.8 millones de años (ver figura 7), durante el Mioceno Medio, juega un papel importante en la distribución de flujos turbidíticos durante el Neógeno. En la **Figura 7**, se muestra en forma resumida, el proceso antes mencionado, para una sección de 40 Km. prácticamente de sur a norte cerca del área de estudio; la constitución litológica de los lóbulos depositados en el piso de la cuenca, se observa para el Mioceno medio y superior y en el Plioceno inferior, como una alternancia de lutitas y areniscas, lo cual hace atractivo a este tipo de depósitos, ya que en éstos se da el sistema ideal para el entrapamiento de hidrocarburos. Ejemplos claros de este tipo de yacimientos gasíferos se tienen en el campo Vistoso, al noreste del área de estudio y al sureste del Puerto de Veracruz.

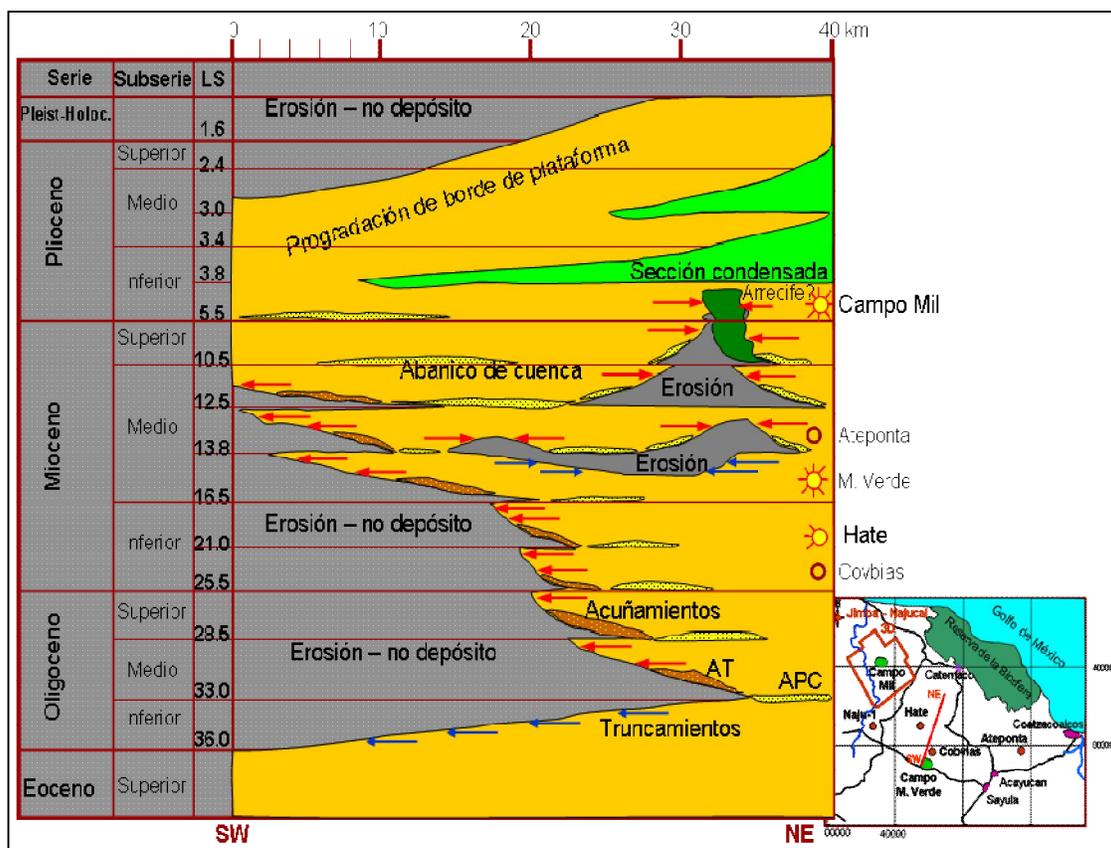


Figura 7.- Evolución estratigráfica determinada al sureste del área de trabajo. Los principales sistemas de depósito se marcan como: AT.- Abanicos de talud, APC.- Abanicos de piso de cuenca. Modificado de Papaloapan B (2004).

2.3. Modelo geológico

Con base a lo anteriormente expuesto, el Neógeno se puede representar en forma esquemática en el modelo geológico de la **Figura 8**, en donde se muestra desde la presencia de los cañones en la plataforma externa, pasando por los flujos de escombros o slumps en el talud, y la actividad de los canales desde el piso de éste hasta desembocar y formar los lóbulos en la cuenca.

La alternancia en la sedimentación en los lóbulos es marcada por la columna en la parte lateral de la figura. Donde se puede dar inclusive la secuencia Bouma para casos de complejos turbidíticos, la aplicación y correcto uso de este término está dado por Royhan (2004).

Debido al estado actual del área de estudio, este modelo geológico puede tener algunas variantes, las cuales son ejemplificadas en publicaciones de Reading and Richards (1994), quienes plantean en modelos esquemáticos, la extensión lateral desde la costa hasta la parte final dentro de la cuenca de este tipo de sistema de depósito desde menos de 10 Km. hasta sobrepasar los 500 km. Los elementos que involucran los depósitos de piso de cuenca se muestran en el capítulo de estratigrafía de secuencias.

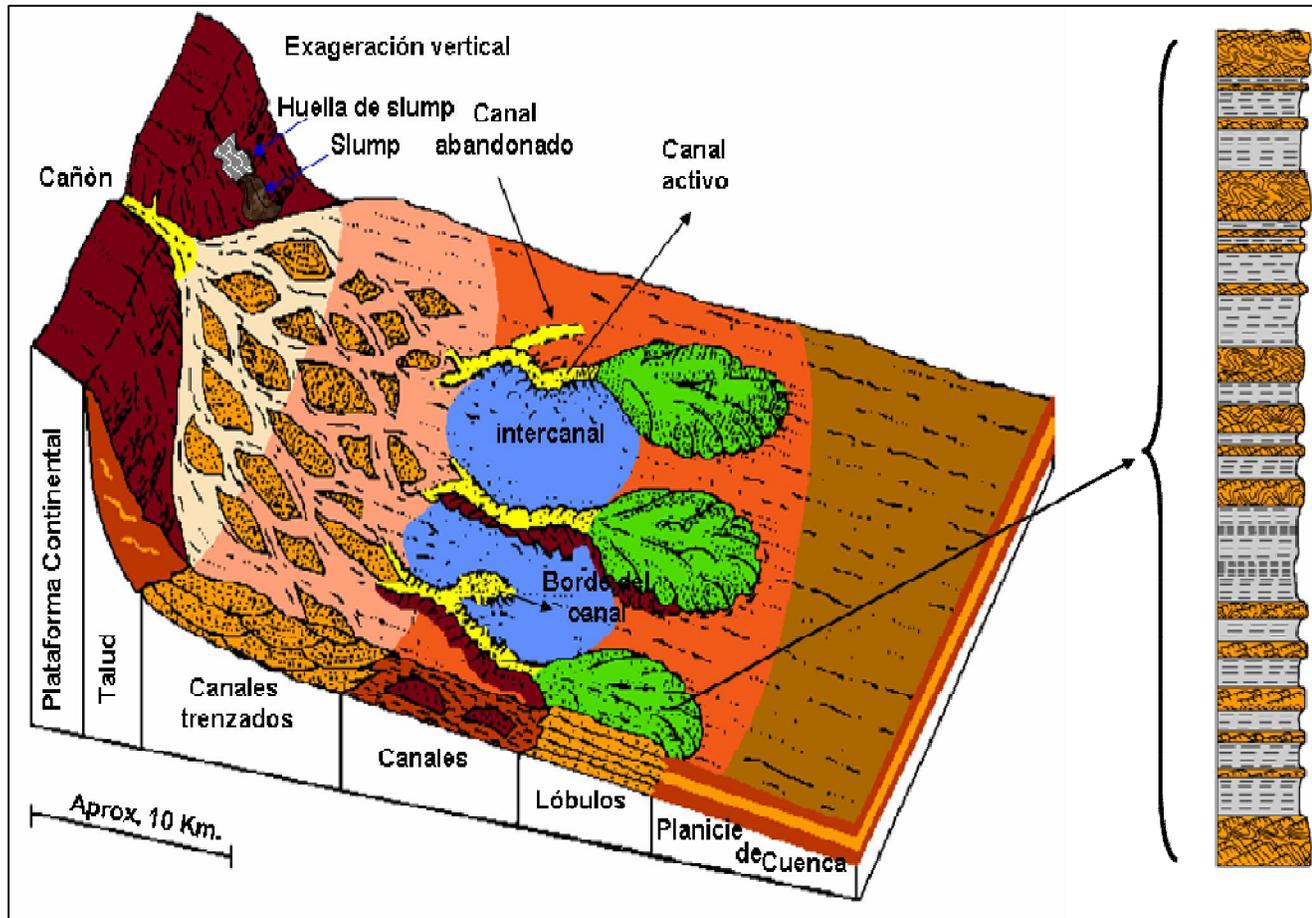


Figura 8.- Modelo geológico conceptual manejado actualmente para el área de estudio. Principalmente se definen abanicos de talud (en la desembocadura del cañón), así como complejos en forma de abanicos y canales de piso de cuenca. Tomado de Shanmugam (1988)

3. Bioestratigrafía

3.1. Análisis bioestratigráfico

Los estudios de alta resolución bioestratigráfica se iniciaron a finales de la década de los 80's en forma puntual y aislada, trabajando con las primeras ocurrencias de foraminíferos planctónicos y bentónicos en sentido de la perforación. Se calculaba la biodiversidad y abundancia total de especies, aplicándolas a la metodología de estratigrafía de secuencias, la cual combina registros geofísicos con datos paleontológicos y secciones sísmicas y como resultado caracterizar la mejor posición de la roca almacenadora y el sello.

La metodología aplicada fue la de alta resolución bioestratigráfica, consistiendo en documentar todas las especies encontradas, aplicando conteos bioestadísticos y controles biosedimentológicos –cuando estaban disponibles-. La columna bioestratigráfica fue datada con base a los criterios de Bolli & Saunders, 1985; Blow, 1969 y Hardenbold et al, 1998. La tabla de distribución de microfósiles, evidencia probables cambios de depósito con respecto a la variación y frecuencia de los especímenes, así como las posibles discordancias y/o pasos de falla en lo referente a la ausencia microfosilífera en determinado intervalo, así como los intervalos con picos de abundancia y diversidad para relacionarlos con probables momentos de máxima inundación en la columna de cada pozo.

En el presente trabajo se analizó la bioestratigrafía disponible de 20 pozos del área de estudio, de los cuales 14 se tomaran en cuenta para el presente estudio, debido a que eran los que presentaban mejor información paleontológica. La información fue obtenida en papel, ya no fue posible acceder a las muestras y núcleos de los pozos involucrados. De la información obtenida se realizó una depuración, ya que hay estudios operativos y otros con estudios posteriores y otros con varias determinaciones paleontológicas que se contraponían unas con otras y se tuvo que aplicar tanto el criterio estratigráfico, con mayor veracidad para establecer las cimas a utilizar. Las columnas de re-estudios recientes fueron realizadas en el marco del estudio Papaloapan B. Para la datación con los fósiles planctónicos, fue con base en la tabla de secuencias biocronoestratigráficas (Padilla y Escamilla, 2003), (Figura 9) que es la utilizada para la Cuenca de Veracruz, para relacionarlas con las secuencias estratigráficas y

sus límites. Se decidió utilizar esta tabla para mantener los mismos criterios que se utilizan en la Cuenca.

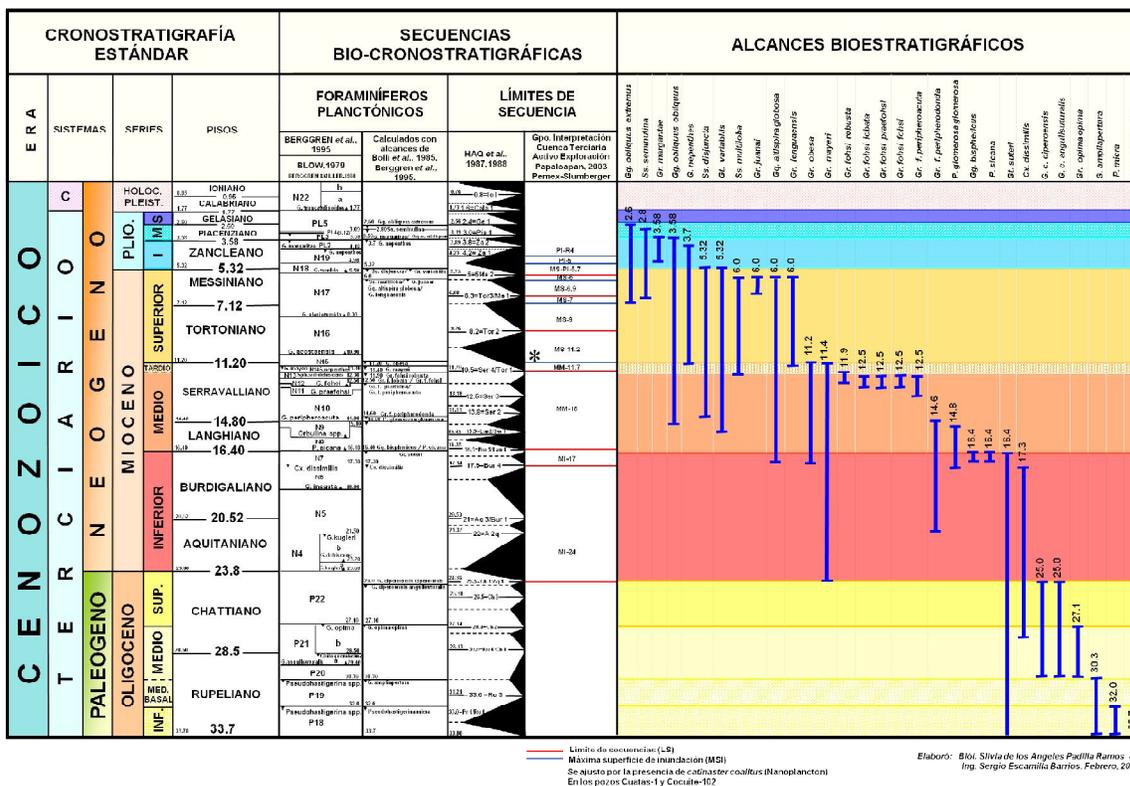


Figura 9. Tabla de secuencias biocronoestratigráficas para la Cuenca de Veracruz. Padilla, S. y Escamilla S., 2003

3.2. Datación y batimetrías.

Para determinar los ambientes de depósito se utilizó la tabla paleobatimétrica general de las áreas petroleras de México (Pemex-IMP, 2000), ya que cuenta con la mayoría de los conjuntos bentónicos de todas las cuencas y su relación paleo batimétrica (Figura 10).

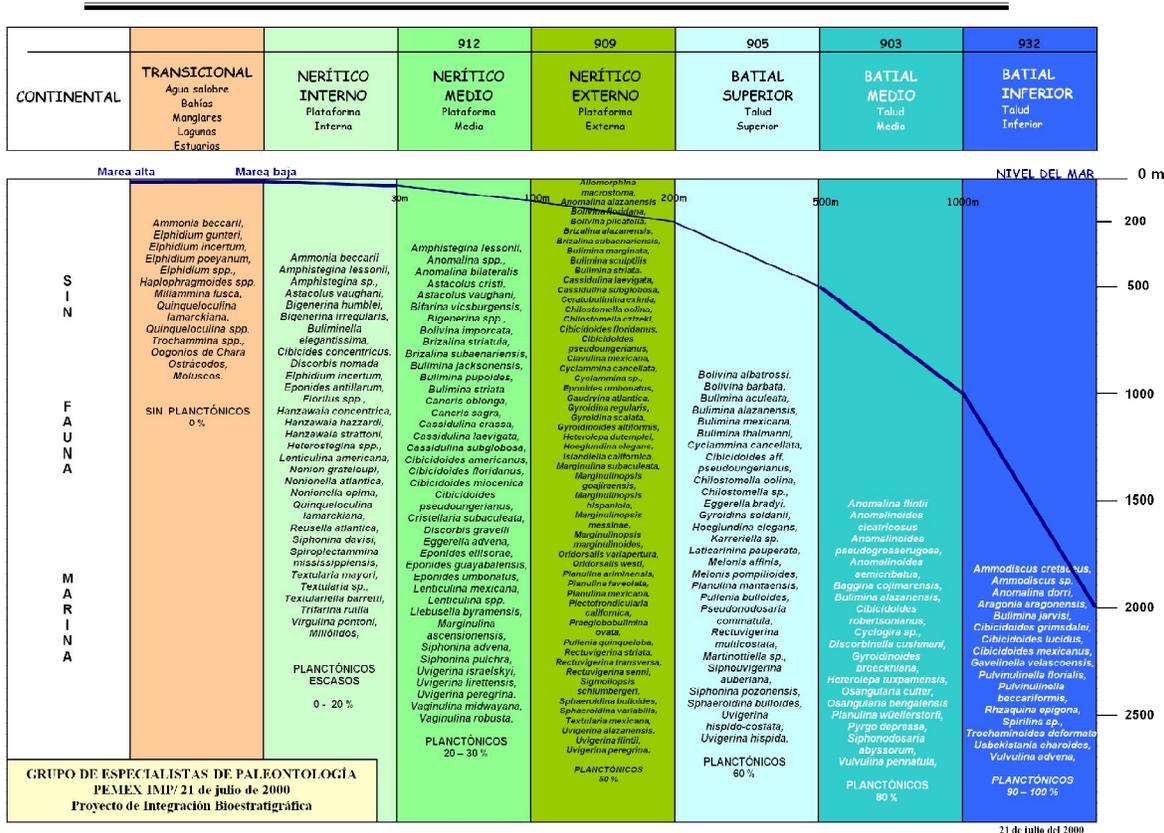


Figura 10. Tabla paleo batimétrica General de las áreas petroleras de México. Pemex-IMP, 2000.

Los datos bioestratigráficos usados en Petróleos Mexicanos se basan principalmente en la extinción de especies índice de foraminíferos planctónicos, lo que significa que se toma como marca la primera aparición de una especie en el sentido de la perforación, el cual por su amplia distribución paleogeográfica (ya que por su naturaleza planctónica son flotadores) y su corto tiempo de existencia se elige como índice para una edad determinada. Por otro lado, los foraminíferos bentónicos también tienen su contribución, ya que por sus características de vida de encontrarse en el fondo de cuerpos de agua, son más susceptibles al ambiente que los rodea. Esta característica nos ayuda a determinar el paleoambiente de depósito de la roca en estudio, lo cual es un dato también muy importante para la estratigrafía. Este cúmulo de información es de suma importancia para contar con un marco cronoestratigráfico y de ambientes de depósito que le dará sustento al posterior análisis de estratigrafía de secuencias, así como también para la sismoestratigrafía.

3.3. Clasificación de la información

A continuación se presentan las columnas de los pozos estudiados:

Para el pozo **Acula-2** se revisaron 2 estudios paleontológicos, un informe operativo de 1982 de la profundidad 1400 a 3040 metros, y un re-estudio realizado en 1995 de toda la columna; en base a los conjuntos fósiles reportados tanto bentónicos como planctónicos, se obtuvieron sus probables paleoambientes de depósito, así como sus edades absolutas, basados en las extinciones de los fósiles índices. En este pozo se observa una columna normal (*Tabla 4*).

Acula-2				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (5-560m)
560 m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico int. (560-590m)
590 m	Plioceno Medio	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	2.8 ma	Nerítico medio (590-760m)
760 m	Plioceno Temprano	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	3.58 ma	Nerítico externo (760-1080m) Batial sup. (1240-1440m)
1480 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Nerítico ext. (1440-1580m) Batial sup. (1580-1600m)
1645 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia juanai</i>	6.0 ma	Batial med. (1600-2980m)
1800 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi lobata</i>	12.5 ma	
2080 m	Mioceno Temprano	<i>Praeorbulina glomerosa curva</i>	16.4 ma	
2200 m	Mioceno Temprano	<i>Catapsidrax dissimilis</i>	17.3 ma	Fauna escasa o ausente (2980-3040m)

Tabla 4. Columna bioestratigráfica del pozo Acula-2

La información bioestratigráfica del pozo **Arroyo largo-1** fue extraída del informe final del pozo de 1975, ya que contaba con buena información de los conjuntos fósiles y no se tiene conocimiento de ningún re-estudio posterior. Los primeros 445 metros se reportan como ambientes transicionales, por lo que, la cima del Plioceno Medio podría estar más arriba en el sentido de la perforación (*Tabla 5, ver en anexos*).

El pozo **Caldera-1** se perforó en 2003 y su estudio bioestratigráfico se realizó en el mismo año de 80 a 1880 metros. Este pozo contó con información de abundancia y diversidad de especies, los cuales son datos valiosos para determinar posibles secciones condensadas o posibles zonas de erosión o no depósito; en los primeros 400 metros se identificó como una zona de ambientes transicionales y posiblemente en algunos intervalos continentales (*Tabla 6, ver en anexos*).

Para el pozo **Hatillo-1** se contó con un estudio bioestratigráfico bastante completo con conteo para diversidad y abundancia de especímenes que se realizó en el marco del estudio del grupo Papaloapan "B". Sin embargo para el Mioceno Temprano se observa una zona caótica con fauna, tanto de talud como de plataforma, lo que no permite determinar con seguridad la paleobatimetría. A semejanza de los demás pozos, el paleoambiente de los primeros metros perforados es de carácter transicional (*Tabla 7, ver en anexos*).

En el pozo **Ixhuapan-1A** se visualizan zonas con problemas para poder determinar la paleobatimetría ya que se presentan ambientes batiales con intercalaciones de zonas con poca o nula fauna o con fósiles de plataforma que podrían ser zonas turbidíticas con aportes de sedimentos de la plataforma. Para el Mioceno Inferior se interpreta un ambiente batial superior; aunque en general se presentan conjuntos fósiles muy variables, donde no se pueden determinar paleoambientes muy concisos y no se puede determinar alguna secuencia paleobatimétrica, asimismo en esta zona la sísmica se observa caótica, con amplitudes sin ninguna continuidad y terminaciones sin un sentido principal.

El Eoceno Superior está bien representado con el grupo de *Turborotalia cerroazulensis*, se dispone del estudio operativo del informe final, así como un re-estudio con conteo de especímenes para la obtención de la abundancia y diversidad. Es de los pocos pozos dentro del estudio, en el que se alcanzó el Paleógeno (*Tabla 8, ver en anexos*).

En el pozo **Loma Bonita-2** las rocas más antiguas que se cortaron fueron de un probable Eoceno Medio, con la presencia de *Truncorotaloides rohri* y *Morozovella lehneri*. Cabe destacar que en este pozo se contó con varios núcleos, por lo que, la datación tiene más certeza que en los pozos que solo cuentan con muestras de canal. Para la realización de la

columna bioestratigráfica de este pozo se analizaron las fuentes disponibles, y se utilizó una columna estudiada entre los años 1998 y 1999 de los 80 a los 1060 metros y para datos de más profundidad fueron utilizados los estudios hechos en los 70's (*Tabla 9, ver en anexos*). Interesante el hecho que reportan turbiditas en el núcleo 1 (813.6-816.6m) de edad Mioceno Superior.

La columna del pozo **Macuile-3** fue interpretada en base al informe micropaleontológico original, y dado que anteriormente se les daba poca importancia a los foraminíferos planctónicos para datar el Neógeno y se daban las edades con los conjuntos bentónicos principalmente, fue difícil interpretar la columna y por eso solo se integraron 2 pisos: Plioceno Temprano y Mioceno Medio. El datum del Plioceno Temprano se modificó a partir de la correlación con el pozo Macuile-4, porque la cima se dio con *Globigerina nepenthes* la cual se extingue a principios del Plioceno Temprano. Al parecer el Mioceno Tardío fue erosionado o no se depositó, pues no se reportó conjunto fósil de esa edad. Se adicionó la cima del Mioceno Medio por correlación con el pozo Macuile-4. El datum del Mioceno Temprano fue obtenido por correlación de registros con el pozo Acula-2 (*Tabla 10, ver en anexos*).

El pozo **Macuile-4** ha sido el único productor en el área de estudio en rocas de edad Plioceno Inferior, su última edad reportada fue Mioceno Inferior con *Catapsydrax stainforthi*; fue uno de los pozos con mayores problemas para establecer su columna biocronoestratigráfica, ya que, las cimas del informe operativo y un re-estudio posterior, no coincidían y se optó por darle más peso al segundo, porque normalmente se trabaja más a detalle y además las cimas operativas no concordaban bien, al correlacionarlas con los otros pozos de la zona. Probablemente el Mioceno Superior esté muy erosionado, ya que la cima que se da con *Globorotalia Juanai* está 5 metros arriba de la cima del Mioceno Medio. Se presentan cambios paleobatimétricos muy acusados para el Mioceno Medio, ya que en el núcleo 2 reportan un probable ambiente nerítico y para el núcleo 3, como Batial inferior, con una diferencia en profundidad entre los núcleos de 226 metros. (*Tabla 11, ver en anexos*).

Para el pozo **Macuile sur-1** se analizaron 3 columnas con diferencias significativas, una operativa, otra de bug-in y otra suministrada de un estudio posterior. Se trató de integrar las 3

columnas con apoyo de su correlación con pozos vecinos y de los registros geofísicos. Con esta correlación se reubicó la cima del Plioceno Inferior, ya que era muy diferente a la de los pozos adyacentes, considerándose la aparición de *Globigerinoides obliquus obliquus* como redepósito. Dado que este pozo no contaba con marcador bioestratigráfico del Mioceno Temprano, se obtuvo de la correlación con el pozo Macuile-4 (*Tabla 12, ver en anexos*).

La tabla del pozo **Morillo-1** se basó en un re-estudio realizado en 1999, con una buena descripción de foraminíferos planctónicos y bentónicos (*Tabla 13, ver en anexos*). Para el Mioceno Superior y Medio se presenta una situación parecida a la del pozo Macuile-4, hay fauna de ambiente batial con fauna nerítica; lo que nos podría indicar la presencia de flujos de sedimentos provenientes de la plataforma hacia el talud.

Para el pozo **Najucal-1** solo hay algunos datos paleontológicos sin ninguna referencia, pero ante la falta de más información optamos por utilizarla con reservas (*Tabla 14, ver en anexos*).

En el caso de los pozos del campo Novillero, la falta de información complicó el armado de una columna geológica completa, ya que se contó con los registros geofísicos del pozo **Novillero-12**, pero sin descripciones litológicas, ni bioestratigráficas, ni ningún otro dato del pozo. Se contó con los datos paleontológicos del pozo **Novillero-1**, por lo que se tomaron estos datos y se ajustaron con los registros del **Novillero-12** para poder definir las cimas. Posteriormente por correlación con el pozo Loma Bonita-2, que era el más cercano y con buena información bioestratigráfica, se calibraron dichas cimas (*Tabla 15, ver en anexos*).

En el informe final del pozo **Tesechoacan-1**, como era lo habitual en la época en que se perforó (1977), se le daba mayor importancia a los conjuntos de fósiles bentónicos con alguna mención esporádica a foraminíferos planctónicos, es hasta los 1500 metros que se comienzan a mencionar los conjuntos planctónicos. Por lo que, las cimas se tuvieron que definir con los pocos fósiles planctónicos mencionados en los estratos más jóvenes y en la parte más antigua, si se tenían mejor descritos los conjuntos de fósiles de manera puntual. Aunque con la primera aparición en el sentido de la perforación de la especie *Globorotalia fohsi peripheroacuta* y al correlacionar este datum con los pozos vecinos, se observó que quedaba

muy arriba con respecto a las otras cimas; por lo que se interpretó como un re-depósito y se utilizó el fósil *Globorotalia fohsi fohsi*. También se reubicó levemente la cima del Plioceno Inferior calibrándola con la del pozo Morillo-1, ya que la cima se dio originalmente con *Globigerina nepentes*; especie cuya extinción se da en la base de dicha edad. En esta columna las rocas depositadas durante el Mioceno Superior fueron completamente erosionadas o no hubo depósito, ya que, no se encontró ninguna evidencia bioestratigráfica de este nivel crono estratigráfico (*Tabla 16, ver en anexos*).

La columna biocronoestratigráfica del pozo **Tlacotalpan-1** fue tomada de una columna de un re-estudio elaborada por personal del activo Salina del Istmo (*Tabla 17, ver en anexos*).

3.4 Diversidad y abundancia de los fósiles

Se pueden interpretar las tendencias de oxigenación usando por ejemplo 5 biofacies de foraminíferos;

- (1) Transgresivo-anóxico: reducción de la diversidad, incremento en la frecuencia de aglutinados, incremento de la dominancia;
- (2) Transgresivo (MFS)- baja de oxígeno: reducción de la diversidad, dominancia alta, frecuencia baja/ausencia de taxa calcáreos;
- (3) Transgresivo-mejoría del ambiente: incremento de la diversidad, decremento de la dominancia, incremento de la frecuencia en taxa calcáreos;
- (4) Regresivo-hipóxico con tendencia a la oxigenación normal: incremento en la diversidad, incremento en la frecuencia/diversidad de taxa calcáreos y,
- (5) Regresivo-normal condiciones marinas: diversidad alta, frecuencia alta de taxa calcáreos, baja dominancia

En 1989, Galloway propuso el modelo de secuencias genéticas limitadas por superficies de máxima inundación, lo cual implicaba ciertas discrepancias con las secuencias depositacionales limitadas por discordancias de Vail y otros (1977), que se basan esencialmente en estratigrafía sísmica. El criterio de Galloway (1989) en la interpretación sedimentológica de sistemas depositacionales, las indicaciones entre facies y geometría, fue significativo, cuando no se disponía de información sísmica; como es el caso del presente

estudio, en donde se trabajó con información bioestratigráfica, litológica y registros geofísicos. La metodología aplicada fue la de alta resolución bioestratigráfica, que consiste en documentar todas las especies encontradas, aplicando conteos bioestadísticas y controles biosedimentológicos. La columna bioestratigráfica fue datada con base a los criterios de Bolli & Saunders, 1985; Blow, 1969 y Hardenbold et al, 1998. La tabla de distribución de microfósiles, evidencia probables cambios de depósito con respecto a la variación y frecuencia de los especímenes, así como las posibles discordancias y/o pasos de falla, en lo referente a la ausencia microfósilífera, en determinado intervalo de la columna en estudio.

Para la obtención de las curvas de abundancia y diversidad de especies presentes en cada muestra, se trabajó con la información ya publicada; pocos pozos contaban con la información completa, aunque en muchos casos, dicha información era francamente escasa y con un grado muy alto de incertidumbre, y solo se realizó el ejercicio por completar la metodología a pesar de que sus resultados eran poco confiables. Cuando se presentaba solo la determinación como *género sp.*, se contabilizaba como una especie y cuando era *género spp.* Se le daba un valor de 3, para darle cierta variación estadística. Se describe la situación de la información en cada pozo y los pasos realizados para cumplir la metodología.

3.5. Definición de superficies de máxima inundación

En el pozo Acula-1 se utilizó un estudio realizado en 1995, hasta la profundidad de 2200 metros, que fue hasta donde llegó dicho trabajo, pero solo con los datos de diversidad, ya que no realizaron conteos para obtener datos de abundancia. Por debajo de los 2220 metros, se utilizó la información del reporte operativo original. Al observar la columna completa se puede apreciar un cambio en la diversidad de foraminíferos a partir de 2220 metros, pero esta disminución de la diversidad se debe a la naturaleza en la obtención de los datos a partir de esta profundidad, ya que los reportes operativos solo tomaban en cuenta las especies índice y no todo el conjunto, como se debe obtener cuando el objetivo va más allá de la mera determinación de la edad y el ambiente de la roca estudiada. Se analizó la información y se obtuvieron los conteos de especies, los cuales fueron capturados en Excel, para posteriormente realizar gráficas de líneas y poder observar los cambios en los patrones de las curvas en este caso de diversidad. Las curvas de diversidad fueron comparadas con el

registro de rayos gamma, para calibrar los eventos observados, obteniéndose la Figura 11, en donde se identificaron 4 candidatos a superficies de inundación; una de ellas posiblemente de máxima inundación. A partir de la profundidad de 2250, disminuye drásticamente la diversidad, pero es un dato que no hay que tomarlo en cuenta, pues es debido al cambio en el origen de los datos.

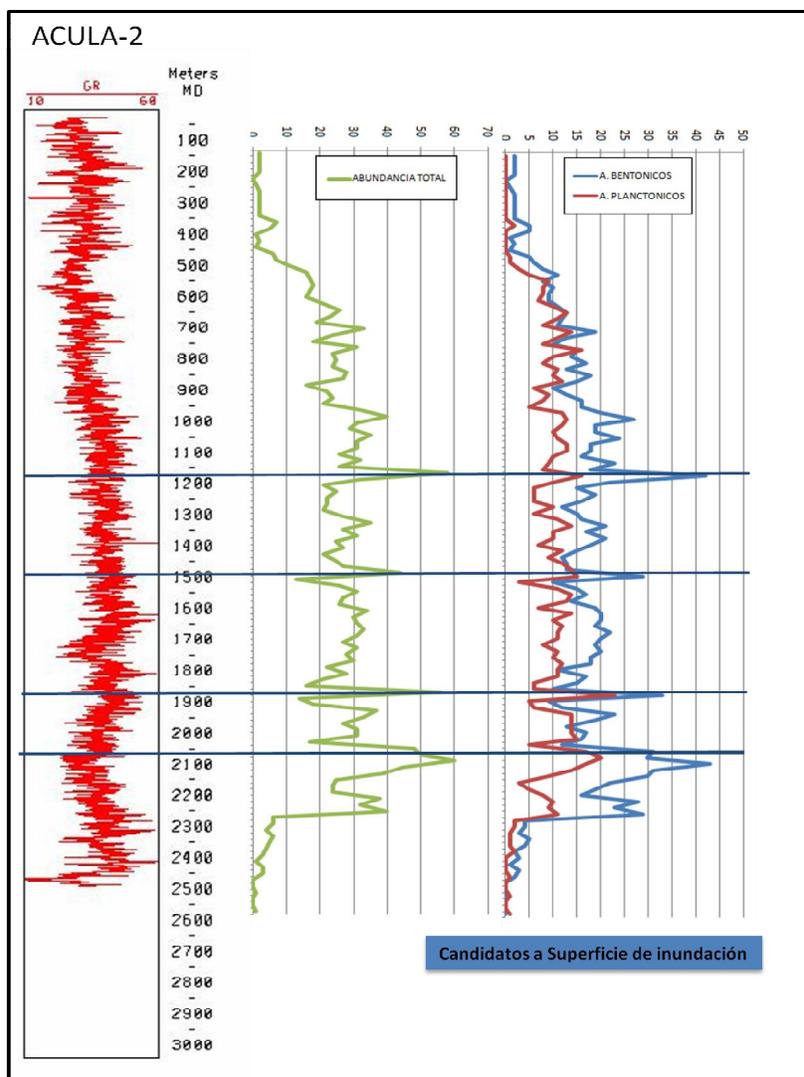


Figura. 11. Columna de abundancia-registro geofísico del pozo Acula-2

En el pozo **Arroyo Largo-1**, se aplicó la misma metodología pero con muy poca información, por lo que los resultados del conteo de diversidad es irrelevante, aunado a el hecho de que se tuvieron que introducir varios intervalos con valor cero, para darle continuidad a la columna y

se pudieran correlacionar con el registro SP del pozo. Aún así se obtuvieron 2 candidatos a superficies de inundación, con más apoyo en el registro SP que en las curvas de diversidad. (Figura 12).

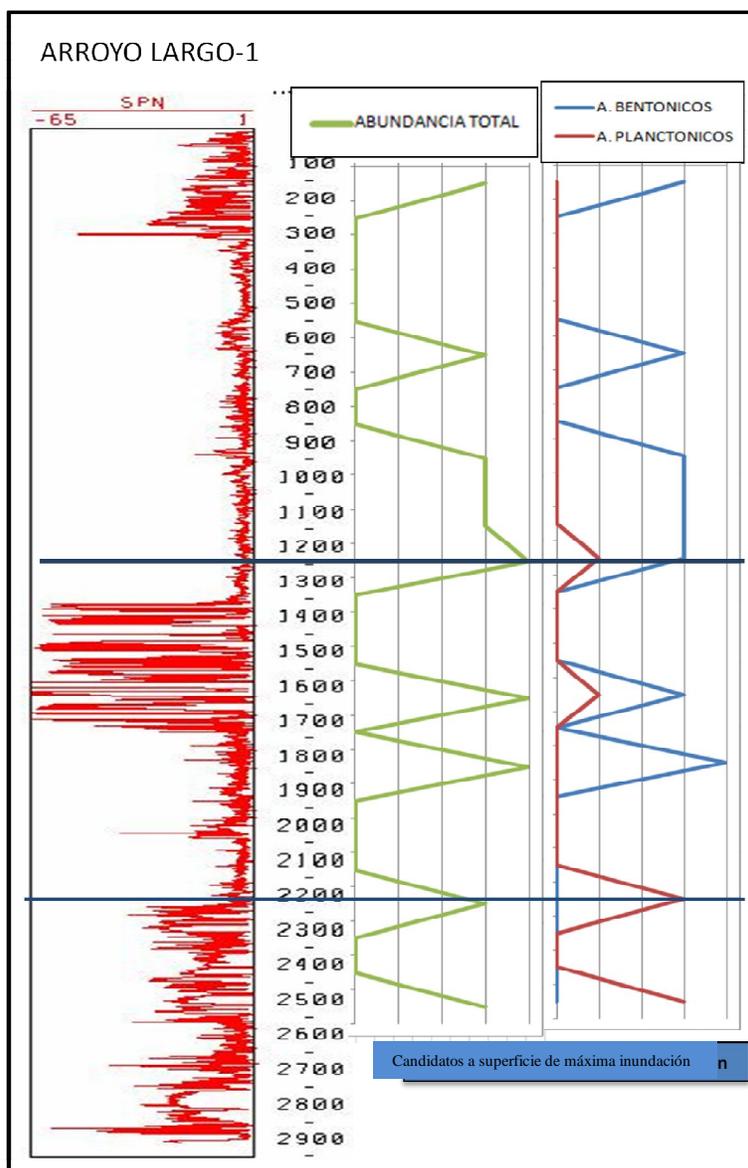


Figura 12. Columna de abundancia-registro geofísico del pozo Arroyo Largo-1

Del pozo **Caldera-1** si se contó con datos de abundancia y de diversidad, por lo que, se pudieron obtener las curvas y realizar una mejor definición; aunque dada la poca profundidad

que alcanzó el pozo, solo se identificó un candidato a superficie de inundación. Cabe aclarar que los datos de abundancia son de naturaleza relativa es decir se reportaban como muy raros, raros, pocos, frecuentes, comunes, abundantes y prolíficos, por lo que basándonos en la tabla de frecuencia específica de foraminíferos de Boltovskoy, 1965, le dimos un valor numérico para poder ser graficado. (Figura 13)

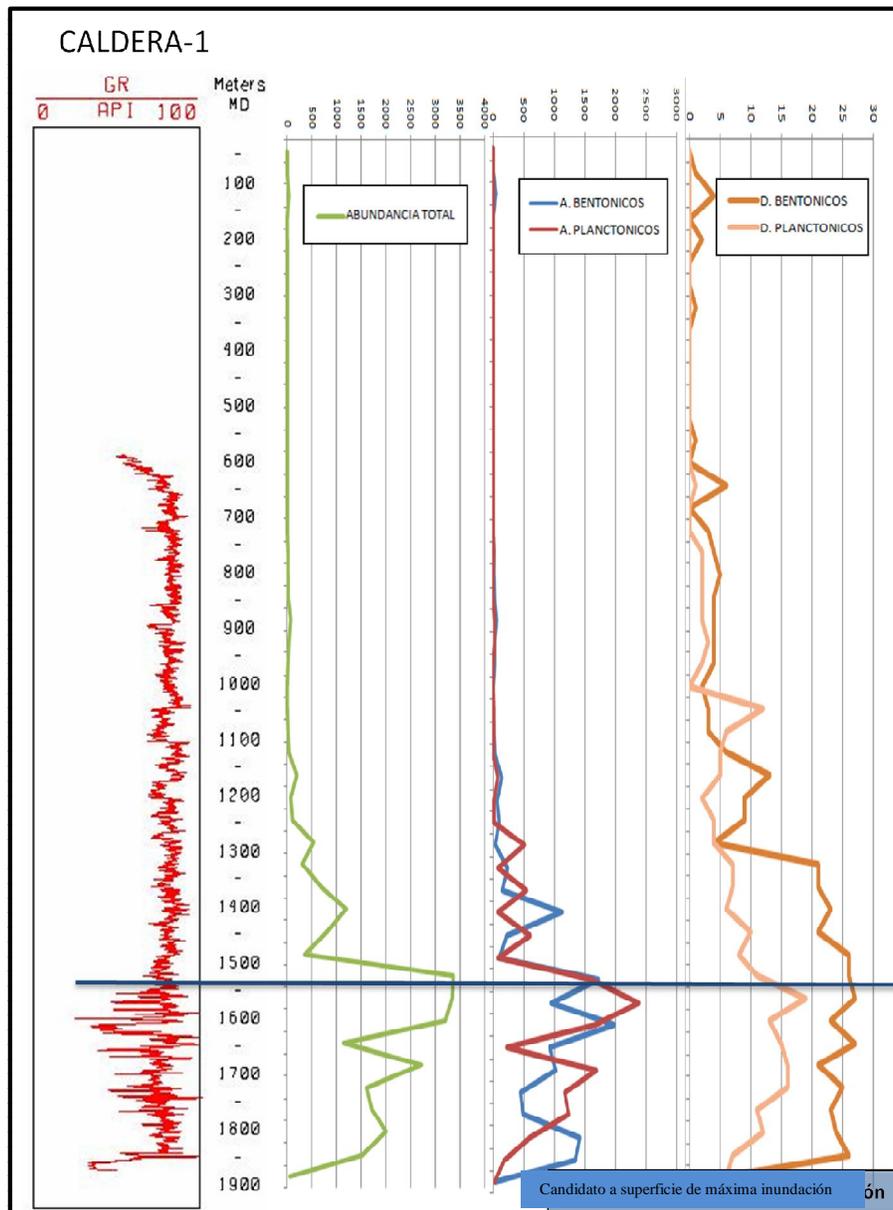


Figura 13. Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico del pozo Caldera-1

Del pozo **Hatillo-1**, se contó con datos de abundancia y diversidad de fósiles confiables, y al igual que en el pozo Caldera-1, los datos de abundancia son de naturaleza relativa, es decir, se reportaban como muy raros, raros, pocos, frecuentes, comunes, abundantes y prolíficos; por lo que, con base en la tabla de frecuencia específica de foraminíferos de Boltovskoy, 1965, se les dio un valor numérico para poder ser graficado. (Figura 14).

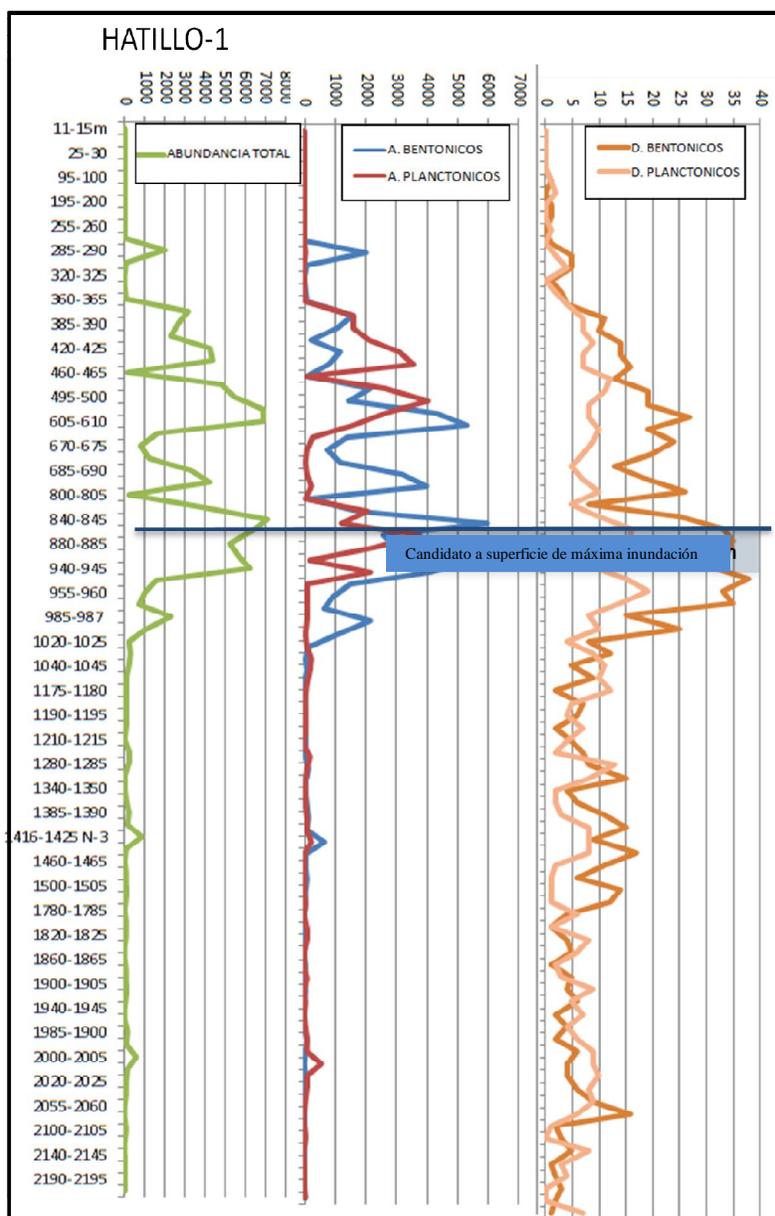


Figura 14. Columna de diversidad-abundancia-registro geofísico del pozo Hatillo-1

El pozo **Ixhuapan-1A** es uno de los pozos más profundos del área de estudio. Para este pozo se contó con la diversidad paleontológica, más no con la abundancia, pero con estas curvas se realizó el ejercicio, correlacionando los picos máximos de diversidad con las áreas más arcillosas del registro, obviando las escalas de los registros con las curvas de diversidad, identificándose 2 candidatos a superficies de inundación. (Figura 15)

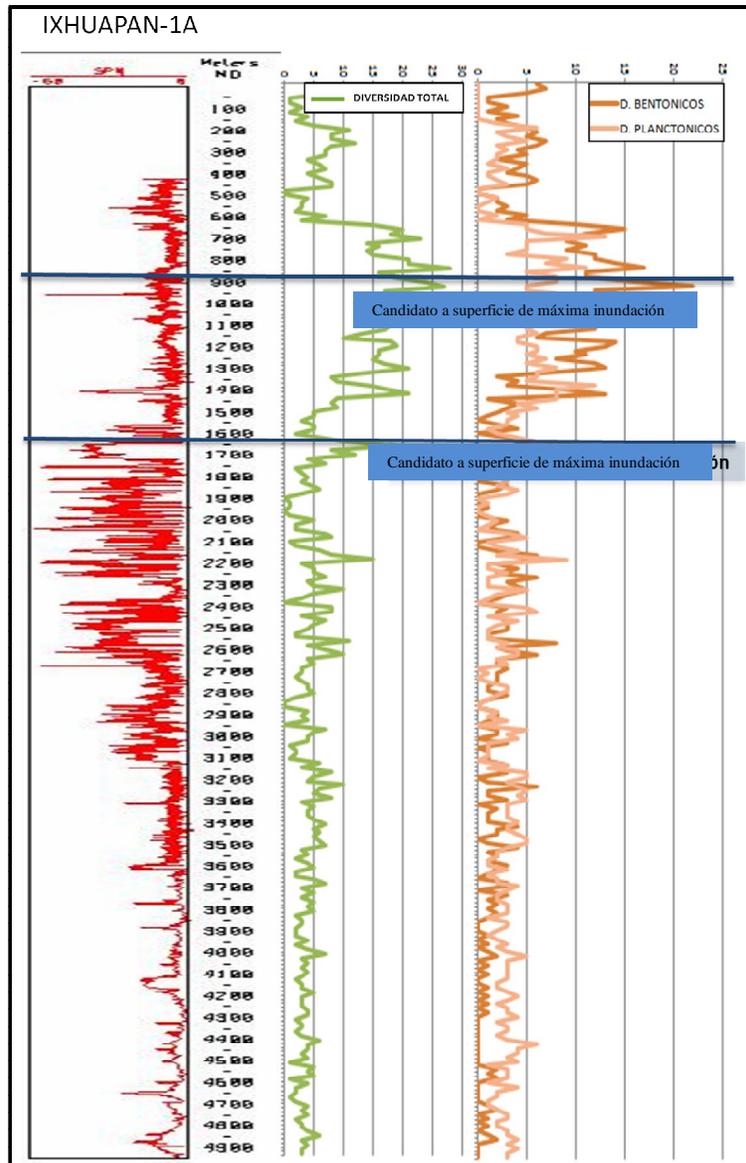


Figura 15. Columna de diversidad-registro geofísico del pozo Ixhuapan-1A

En el pozo **Loma Bonita-2** se contó con datos de diversidad de fósiles, en el reporte operativo original, por lo que, los utilizamos con reservas y de manera cualitativa; ya que, las determinaciones se basaban principalmente en el conjunto índice tanto de planctónicos y bentónicos y no del todo conjunto; así que, el mejor criterio fue el registro SP para la interpretación de los candidatos de superficies de inundación. (Figura 16)

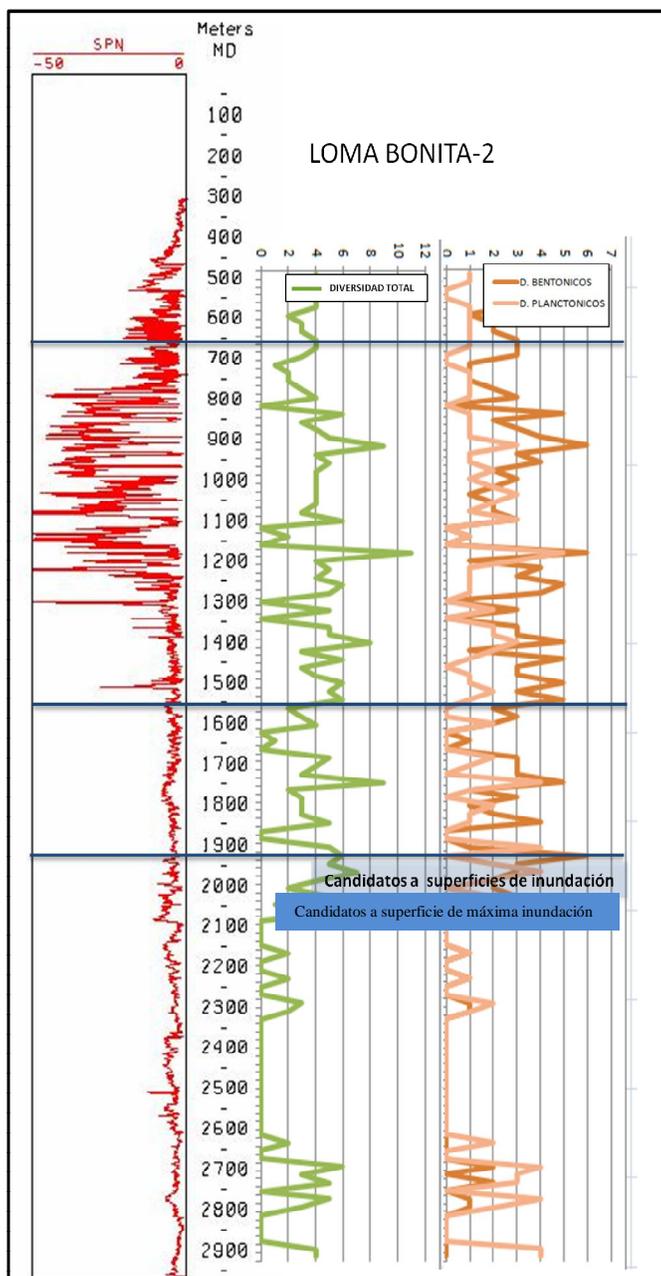


Figura 16. Columna de diversidad-registro geofísico del pozo Loma Bonita-2

Para el pozo **Macuile-3**, sólo se contó con datos bioestratigráficos de la mitad del pozo, aproximadamente desde la profundidad de 1700 metros hasta el fondo. Existen datos de diversidad de especies en este pozo, extraídos del reporte operativo; por lo que solo tienen un mero valor estadístico de tendencias o de una manera cuantitativa; sin embargo con el apoyo del registro SP, se obtuvieron 3 candidatos a superficies de inundación. (Figura 17)

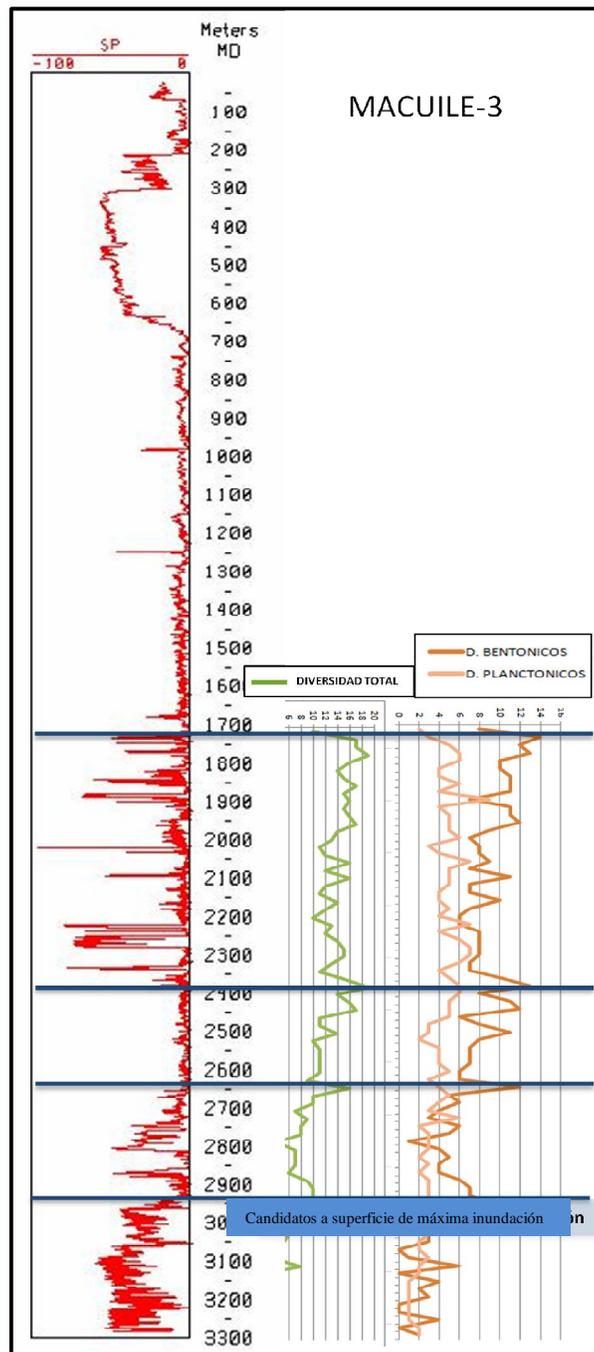


Figura 17. Columna de diversidad-registro geofísico del pozo Macuile-3

En el pozo **Macuile-4** se utilizaron los datos de 1974, de las muestras estudiadas durante la perforación del pozo; por lo que se contó con datos de diversidad muy relativa, dado que probablemente se tomaron en cuenta solo las especies índice o más representativas y, se dejó de lado el resto del conjunto faunístico, aunque desde el punto de vista cualitativo, dan una tendencia de donde hay mayor diversidad. Se utilizó el registro SP normalizado, el cual se corrió de 550 a 2200 metros y que permitió correlacionarlo con las gráficas de diversidad, dándole más peso al dato del registro geofísico. Se obtuvieron 2 candidatos de superficies de inundación que se correlacionaron de manera parcial, entre la curva del registro y las curvas de diversidad. (Figura 18)

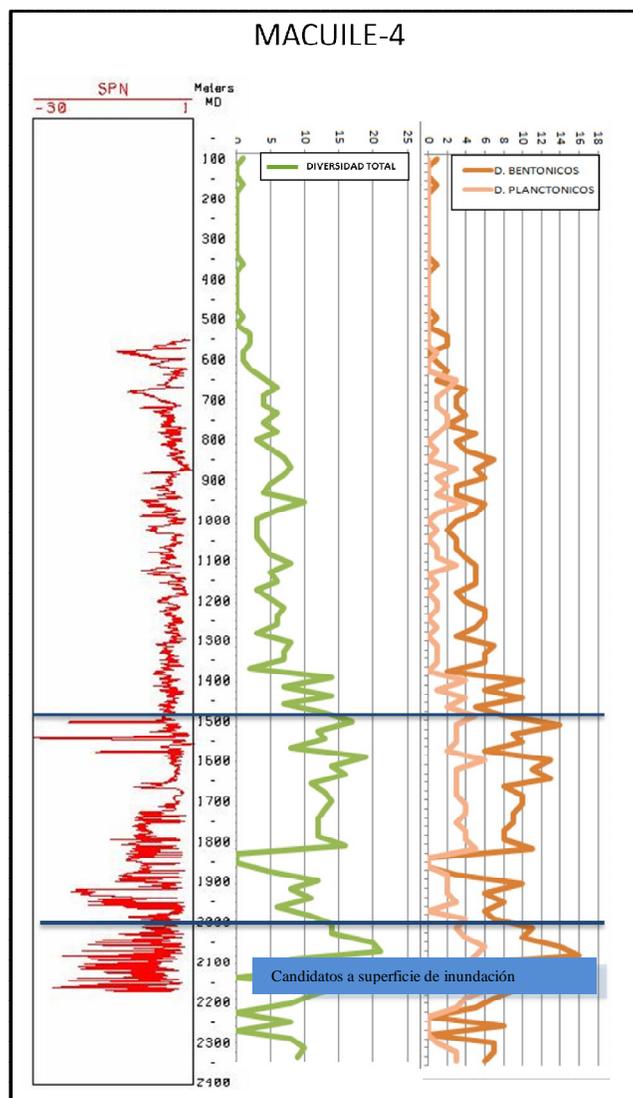


Figura 18. Columna de diversidad-registro geofísico del pozo Macuile-4

Del pozo **Morillo-1** se contó con un re-estudio con los datos de diversidad de especies por muestra revisada, desde la profundidad de 130 hasta 3055 metros con una secuencia promedio de muestreo de cada 30 metros; aunque hubo tramos sin muestreo, por lo que se tomaron datos con valor cero y se graficaron y se escalaron con el registro. Pero en general, es buena la información de diversidad faunística. También se contó con un buen registro SP normalizado de la profundidad de 300 metros hasta el fondo del pozo, obteniéndose 3 candidatos a superficies de inundación. (Figura-19).

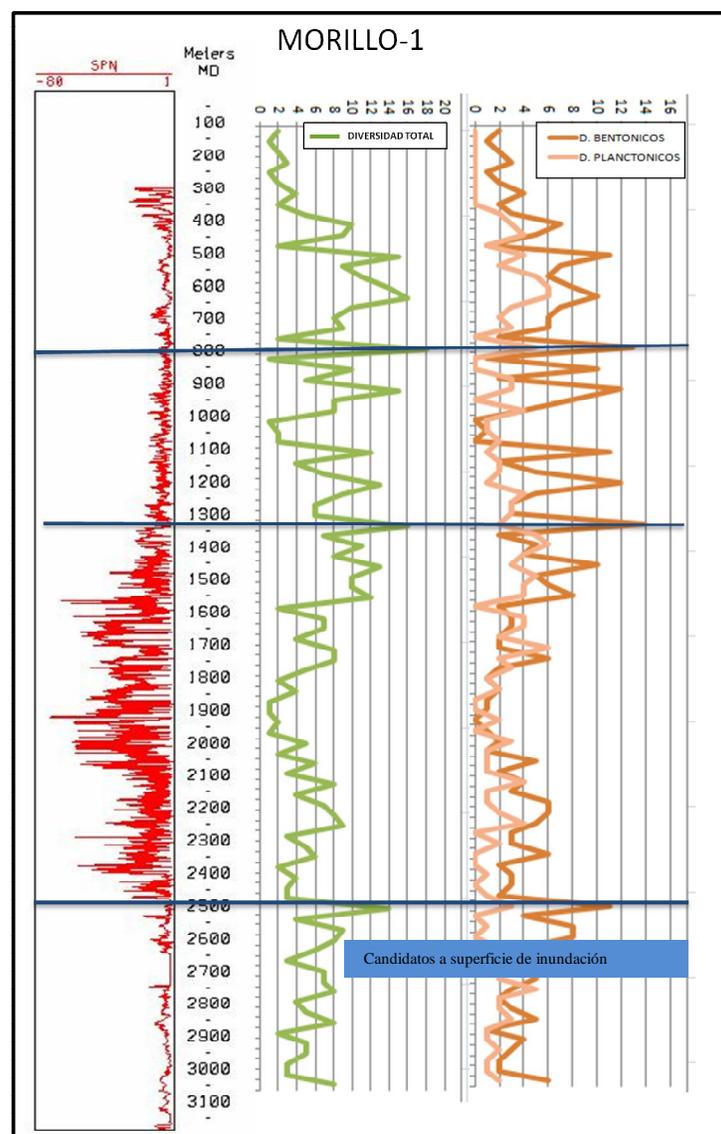


Figura 19. Columna de diversidad-registro geofísico del pozo Morillo-1

El pozo **Tesechoacan-1** cuenta con el registro SP completo, pero la información bioestratigráfica, solo se tiene de la profundidad de 300 metros a los 1550 metros; habiéndose identificado 2 candidatos de superficies de inundación con la información de fósiles disponible; que en este caso, fue solo de diversidad de especies, aunque hay que acotar que en el resto del pozo se observan posibles horizontes arcillosos que podrían corresponder a superficies de inundación, que más adelante en el proceso se tomaron en cuenta. (Figura 20).

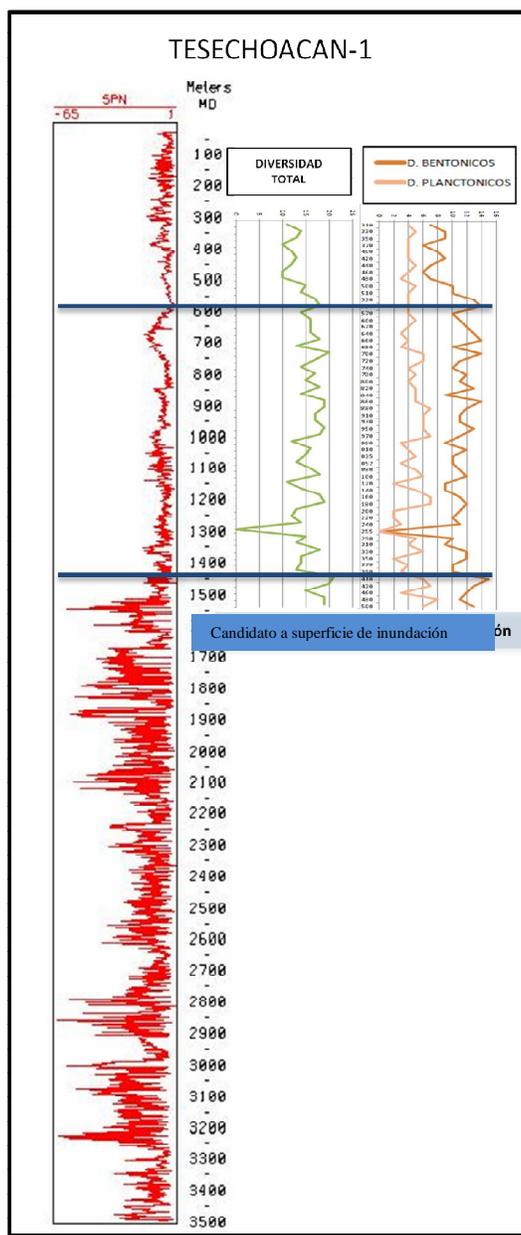


Figura 20. Columna de diversidad-registro geofísico del pozo Tesechoacan-1

El pozo **Tlacotalpan-1** es el más escaso de información bioestratigráfica, ya que solo hay información de 1900 a 2200 y el registro SP del intervalo 500-2200; por lo que, no se pudieron correlacionar los picos de abundancia con los probables cuellos arcillosos que marca el registro geofísico para la obtención de candidatos a superficies de inundación. (Figura 21)

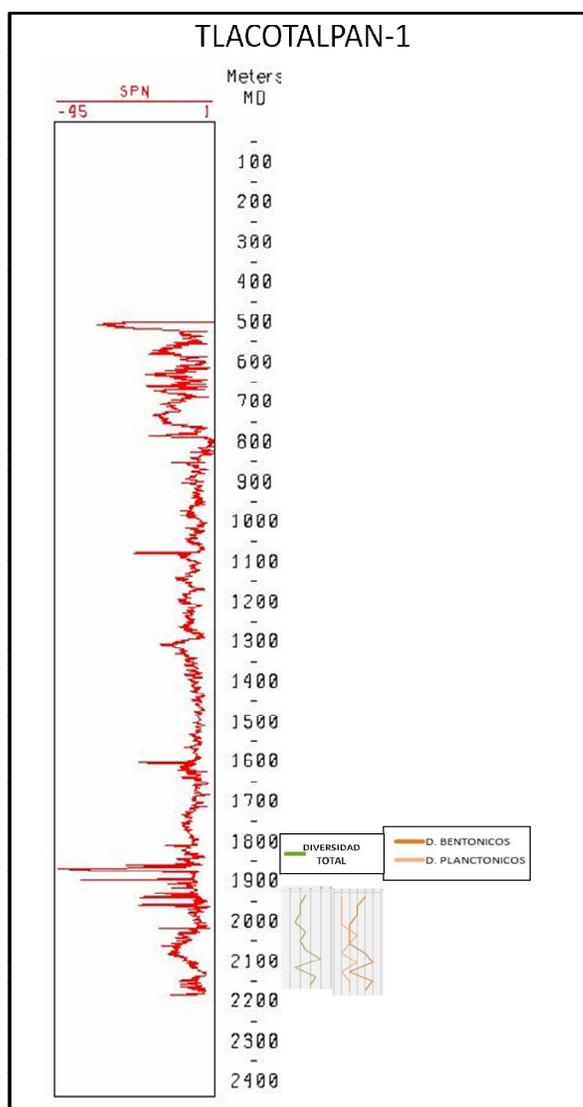


Figura 21. Columna de diversidad-registro geofísico del pozo Tlacotalpan-1

3.6 Integración de la información bioestratigráfica.

Con la información, tanto de fósiles índice para la determinación de la edad de la roca y los de identificación de paleobatimetrías, así como la caracterización de los candidatos superficies de inundación basándonos en los picos de abundancia y diversidad, se capturó esta información de cada pozo en el software openworks de la compañía Landmark. Generándose columnas donde se observan, la batimetría, la litología y los fósiles índice. (Figura 22)

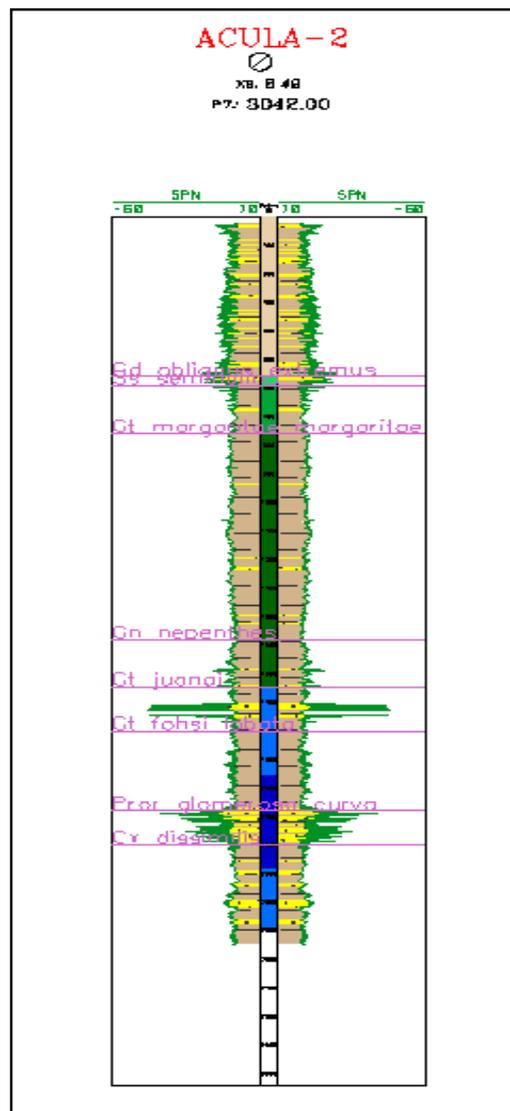


Figura 22. Columna integrando la información bioestratigráfica, batimétrica y litológica. Se presentan los fósiles índices en color índice, en los cuales nos basamos para determinar los límites de secuencia. La columna interna nos muestra las batimetrías encontradas en la columna del pozo, el significado de los colores se observan en la tabla 18. Las curvas de los registros se rellenan con las figuras que representan cada una de las litologías encontradas en el pozo basándonos en la tabla 19.

Como se observa en la tabla 18 de abajo en la columna interna, se colocaron las batimetrías correspondiendo el color crema a ambientes transicionales, los colores verdes a los neríticos y los azules a los ambientes batiales.

AMBIENTE SEDIMENTARIO	BATIMETRÍA	PROFUNDIDAD
TRANSICIONAL	Lagunas marginales Estuarios-Áreas vecinas al mar	
PLATAFORMA INTERNA	Nerítico interno	0 a 30 m
PLATAFORMA MEDIA	Nerítico medio	30 a 100 m
PLATAFORMA EXTERNA	Nerítico externo	100 a 200 m
TALUD SUPERIOR	Batial superior	200 a 500 m
TALUD MEDIO	Batial medio	500 a 1000 m
TALUD INFERIOR	Batial inferior	1000 a 2000 m

Tabla 18. Tomado de P. Salmerón (2000)

También se integro la información litológica de cada uno de los pozos, adecuándose con la respuesta de los registros SP e integrarlos en la columna del pozo, como se observa en la figura 22. Para eso se utilizó el patrón de colores que se observa en la tabla 19.

	Lutita
	Arenisca fina
	Arenisca gruesa
	Conglomerado

Tabla 19. Representación grafica de la litología encontrada en los pozos.



Estas columnas se realizaron en cada uno de los pozos, aunados a los candidatos a superficies de inundación, los cuales corresponden a secciones condensadas representadas en las graficas como picos de abundancia y diversidad, siendo establecida su edad absoluta a partir de la tabla de secuencias biocronoestratigráfica para la Cuenca de Veracruz. El siguiente paso es relacionar esta información con los horizontes arcillosos de los registros del SP y GR que corresponden a nuestras superficies de máxima inundación ya establecidas y correlacionar los pozos; lo cual se describirá en el capítulo de estratigrafía.

4. ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS

Desde sus principios en la década de los 70's, la estratigrafía de secuencias ha demostrado ser una de las herramientas más útiles en todas las fases de la exploración y explotación petrolera. Durante los estudios regionales en una cuenca, es inestimable para la generación del marco estratigráfico y contribuye al establecimiento de modelos depositacionales probables; estos modelos pueden ser usados para comprender y predecir, la geometría y distribución de los yacimientos, roca generadora y sello; disminuyendo con ello el riesgo técnico. (Pemex, Amoco, 1995)

La importancia de la integración de información a esta materia no puede ser disminuida. La bioestratigrafía detallada, el análisis de los registros geofísicos y las interpretaciones sísmo estratigráficas, juegan un papel crucial en la interpretación exitosa de la estratigrafía de secuencias. Las interpretaciones paleontológicas a partir de la correlación gráfica agregan valor para tales aplicaciones.

Las interpretaciones paleoambientales basadas en el estudio de las asociaciones de fósiles, son también críticas en el desarrollo y entendimiento de los procesos sedimentológicos que actuaron durante el depósito de capas.

4.1. Revisión de conceptos

Como primer paso se hizo una breve revisión de los conceptos de la estratigrafía de secuencias, y a continuación se mostraran algunos de ellos:

- 1.- Estudio de las relaciones de las rocas con base en un marco estratigráfico-temporal repetitivo, generalmente relacionado a límites de capas por superficies de erosión o no depósito, o sus conformidades correlativas, según Posamentier et al. (1988) y Van Wagoner (1995).
- 2.- Análisis de unidades depositacionales genéticamente relacionadas, limitadas en parte por superficies de erosión o no depósito, según Galloway (1989).

3.- Análisis de patrones de ciclos de sedimentación que se presentan en sucesiones estratigráficas, así como su desarrollo en respuesta a variaciones en el aporte sedimentario y generación de espacio para la acumulación de sedimentos. (Posamentier et al., 1999)

Con base en estos conceptos, se aplicaron los siguientes elementos clave (que en el presente trabajo se decidió dejar los términos en su idioma original) de la estratigrafía de secuencias como son:

a) El **sistema depositacional**; que representa el producto sedimentario de ambientes depositacionales asociados. Son lateralmente limitados, formando asociaciones locales de elementos paleogeomórficos.

b) Importante en la estratigrafía de secuencias es el concepto de **system tract**, que según Brown en Catuneanu (2002), es una relación de sistemas depositacionales contemporáneos; donde un sistema depositacional es un ensamble tridimensional de litofacies, ligadas genéticamente por procesos activos (modernos) o inferidos (antiguos) y ambientes; de esta forma cada *systems tract* forma una subdivisión de una secuencia. Por lo que el *systems tract* es interpretado con base en patrones de apilamiento de estratos, posición en la secuencia, y tipos de superficies limitantes.

c).- **Nivel base**.- Ya sea de depósito o erosión, generalmente se refiere a una superficie de referencia global, en la cual, la denudación continental y la agradación marina tienden a avanzar. De acuerdo a Catuneanu et al. (1998), para la parte marina, la magnitud y periodo de movimientos del nivel base puede cambiar en respuesta a la interacción entre la eustasia y la subsidencia diferencial. De esta forma, las fluctuaciones del nivel base son independientes de la sedimentación, y refleja cambios en respuesta a un número de controles externos (eustáticos, tectónicos, climáticos), diagenéticos (compactación del sedimento), y ambientales (oleaje y energía de corrientes).

d).- **Transgresión**; Es definida como una migración al continente de la línea de costa, y resulta en un patrón de apilamiento retrogradacional; esto es, que las facies marinas se mueven hacia y sobre facies no marinas. (Figura 23)

e).- **Regresión**: es una migración hacia el mar de la línea de costa. Esta resulta en un patrón de apilamiento progradacional; esto es, facies no marinas que se mueven hacia y sobre facies marinas (Figura 23).

f).- **Regresión forzada**: Ocurre durante episodios de caída del nivel base, cuando la línea de costa es forzada a regresar por este evento respecto del aporte de sedimento.

g).- **Regresión normal**: ocurre en los episodios tempranos y tardíos del levantamiento del nivel base, cuando los rangos de sedimentación sobrepasan el bajo rango del levantamiento del nivel base en la línea de costa.

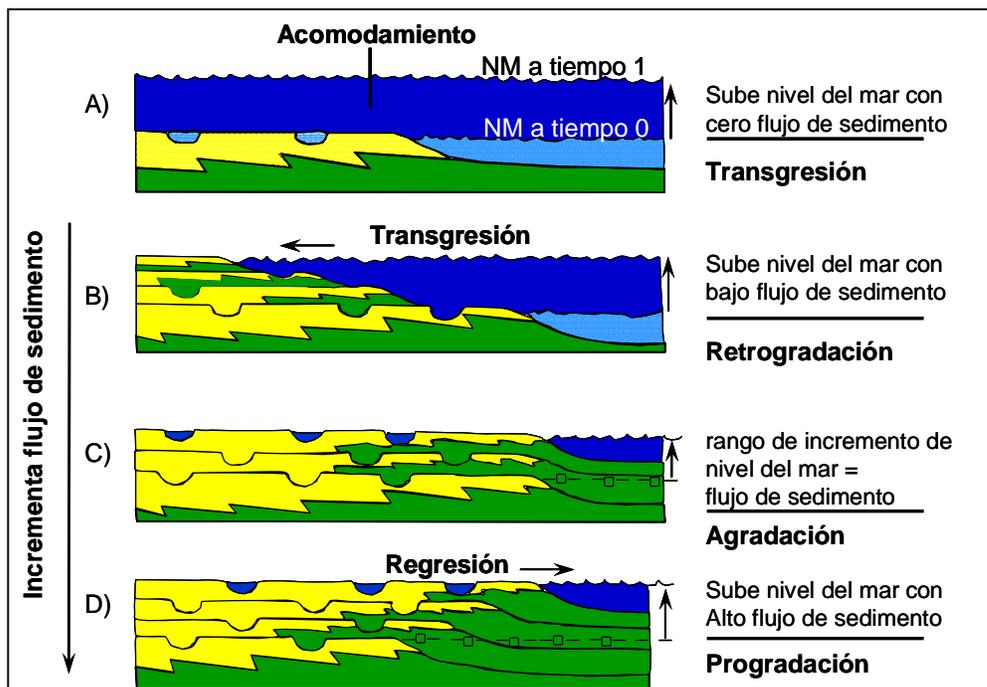


Figura 23. Patrones de apilamientos: transgresivo, retrogradacional, agradacional y progradacional. NM; Nivel del mar. La distinción entre agradación y progradación se marca por la variación de la distancia lateral (marcada por los cuadritos unidos por línea punteada) con respecto a un punto fijo, de cada evento de depósito. Tomado de Posamentier - Allen (1999).

Las superficies de secuencias estratigráficas están definidas en relación a dos curvas; una que describe los cambios del nivel base en la línea de costa, y la otra que describe los movimientos asociados de esta misma línea. Para aclarar este juego de palabras se muestran en la Figura 24, estas dos curvas; la punteada señala el cambio de nivel base, en cuanto a caída e incremento en un eje, y la continua que marca las regresiones y transgresiones; ambas con un eje vertical en el que se maneja el tiempo para estos eventos.

De las diversas superficies de secuencias estratigráficas se tienen las siguientes: La **discordancia subaérea**; que es una superficie de erosión o no depósito, creada durante la caída del nivel base por procesos subaéreos. Tiene su correlativa concordancia marina con tiempo correspondiente al final de la caída del nivel base en la línea de costa. Otra superficie importante es la **basal de regresión forzada**, analizada por Hunt et al, (en Catuneanu, 2002) que define precisamente la base de todos los depósitos que se acumulan en el ambiente marino durante la regresión forzada de la línea de costa. La siguiente es la **superficie regresiva de erosión** marina, que es provocada por el oleaje en la parte inferior de costa adentro (shoreface) durante la regresión forzada de la línea de costa. Un sinónimo de ésta es la **superficie regresiva de ravinement** (Galloway, 2001). En este contexto está la superficie regresiva máxima (Helland et al. 1996) y se define en relación a la curva transgresión – regresión, marcando los puntos entre ésta última y la subsecuente transgresión. En contraparte está la **superficie de inundación máxima** (Posamentier et al., 1988; Galloway, 1989, entre otros) que también está definida en la mencionada curva, marcando el final de la transgresión de la línea de costa (*relacionar con la Figura 23*). Esta superficie separa estratos retrogradantes inferiores de estratos progradantes superiores. En una sucesión marina, la máxima superficie de inundación se pone en la cima de una tendencia transgresiva, grano creciente de depósitos. En dirección hacia el mar, los depósitos transgresivos pueden reducirse a una sección condensada.

Los cambios marcados de nivel base en esta *Figura 24*, son idealizados ya que se marcan con una curva senoide simétrica lo cual no necesariamente es un caso real; Catuneanu (2002) menciona que existen ejemplos del Plioceno en el Golfo de México, que sugieren largos estadios de caída de nivel base en comparación a lo que tarda el levantamiento de éste en relación a las fluctuaciones climáticas glacio – eustáticas. Este comportamiento se da al

requerirse mayor tiempo para crear las capas de hielo (caída del nivel base) que el necesario para que se derritan éstas (Blum, 2001).

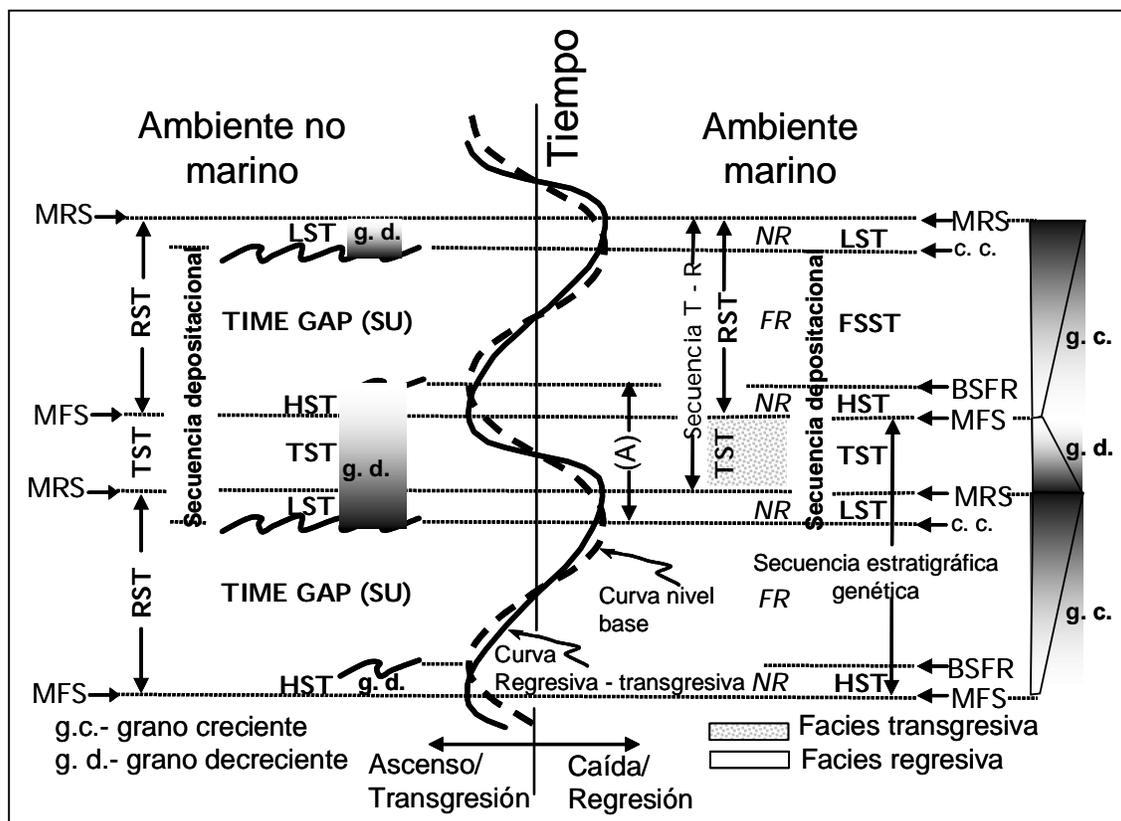


Figura 24. Secuencias, systems tracts, y superficies estratigráficas definidas en relación a las curvas de nivel base y de transgresión-regresión (T - R). Explicación de abreviaciones en la siguiente página. Abreviaciones: SU - discordancia subaérea; c.c. concordancia correlativa; BSFR - superficie basal de regresión forzada; MRS - máxima superficie regresiva; MFS - máxima superficie de inundación; R - superficie de ravinement; IV - valle de incisión; (A) - acomodo positivo (incremento del nivel base); NR - regresión normal; FR - regresión forzada; LST - lowstand systems tract; TST - transgressive systems tract; HST - highstand systems tract; FSST - falling stage systems tract; RST - regressive systems tract; DS - secuencia depositacional; GS - secuencia estratigráfica genética; TR - secuencia regresiva - transgresiva. Tomado de Catuneanu (2002).

En la estratigrafía de secuencias no se maneja un modelo universal; solo son criterios y metodologías para predecir el comportamiento del subsuelo, considerando las características particulares en cada región. De esta forma, sí es viable revisar algunos ejemplos de cómo se enfoca el análisis de la cuenca en la predicción de acumulación favorable de hidrocarburos.

Para el caso de este estudio, son de interés los depósitos que se desarrollan desde el pie de talud hasta el piso de cuenca, concretamente los complejos de abanicos y canales. Según Mitchum et al. (1993), los abanicos de piso de cuenca "son una porción del lowstand systems tract (LST) (figura 25), caracterizado por depósitos de este estilo, ya sea en la parte inferior

del talud o precisamente en el piso de la cuenca”. Van Wagoner et al. (1987) mencionan que la base de estos abanicos está conformada por un límite de **secuencia tipo 1** y la cima es una superficie en *downlap*. Este límite se forma cuando el nivel medio relativo del mar baja más allá del borde (o quiebre) de plataforma, mientras que, el **tipo 2** se forma con descensos pequeños del mismo que no pasan este borde. Por otra parte, Vail (1990) y Posamentier et al. (1988) concluyen de sus interpretaciones, que los abanicos de piso de cuenca se forman durante la fase temprana de la caída el nivel relativo del mar.

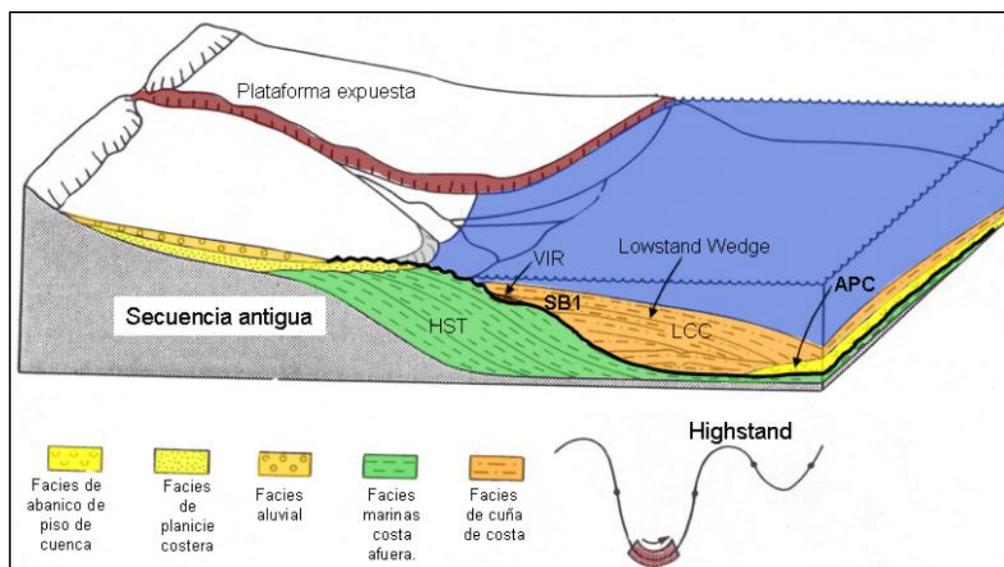


Figura 25. Sistema siliciclástico; muestra la fase tardía de lowstand y la formación del sistema de valle de incisión, complejo de canales de levee (con el abanico de talud) y la cuña progradante o lowstand wedge systems tract. VIR= Relleno de Valle de incisión, LCC= Complejo de canales y levees, APC= Abanicos de piso de cuenca, o BFF por sus siglas en inglés. Se indica con línea resaltada el límite de secuencia tipo 1 (SB1) que costa adentro se observa como una discordancia erosiva Tomado de Haq (1991), modificado posterior a Posamentier et al (1988).

En la *Figura 26*, se muestra la conformación general de esta unidad estratigráfica rica en arenas (así como su respuesta en registros geofísicos); producto posiblemente del flujo temprano de este material construido en los valles de incisión y de la clasificación que ocurre durante el flujo de turbidez pendiente abajo del talud (Mitchum et al. 1993).

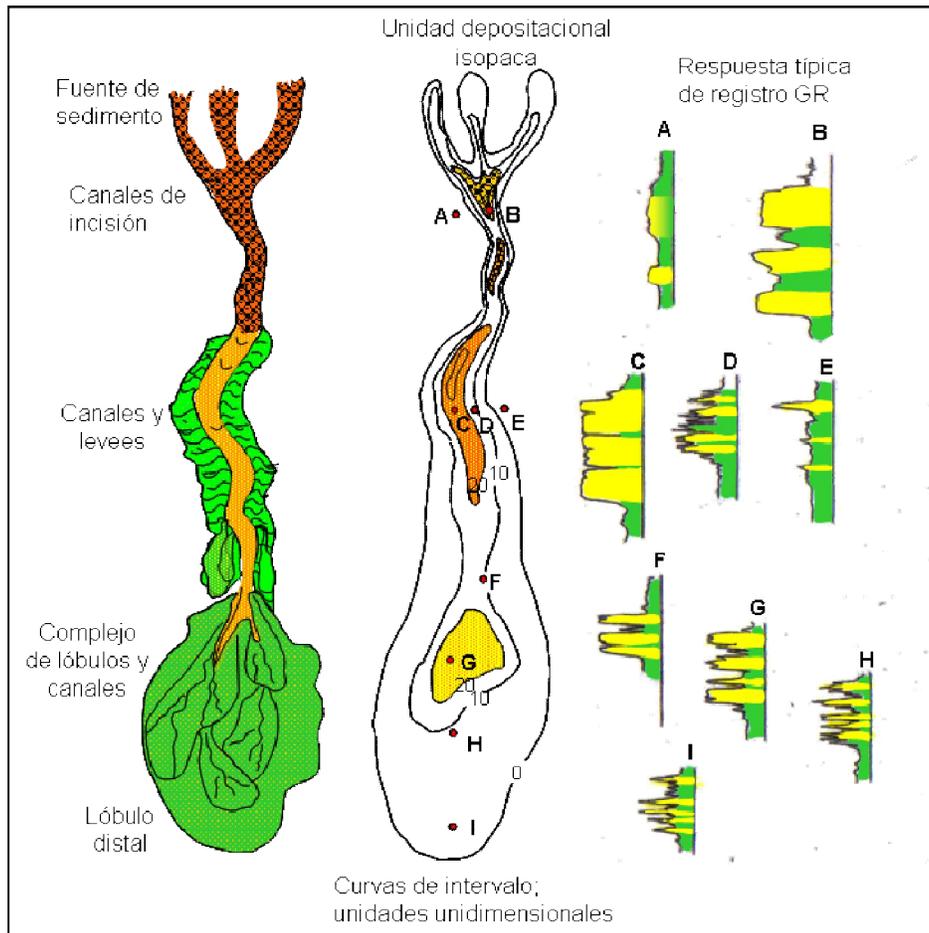


Figura 26. Elementos geomórficos, isopaca y patrón de registros del Complejo canal – lóbulo. La respuesta típica del registro de rayos gamma corresponde a las letras asignadas a los puntos sobrepuestos en la unidad depositacional de la isopaca. Modificado de Galloway et al. (2001).

4.2. Ubicación de cimas estratigráficas

Habiendo hecho esta revisión de conceptos, nos referiremos al trabajo aquí presentado, después de la integración de toda la información bioestratigráfica y litoestratigráfica de los pozos del área de estudio que contaban con esta información que se realizó en el capítulo de bioestratigrafía, se utilizaran las columnas estratigráficas (*Figura 27*) de cada pozo, ya elaboradas, para poder establecer con mayor exactitud las diferentes secuencias en el área de estudio, basándose en los candidatos a superficies de inundación previamente identificadas.

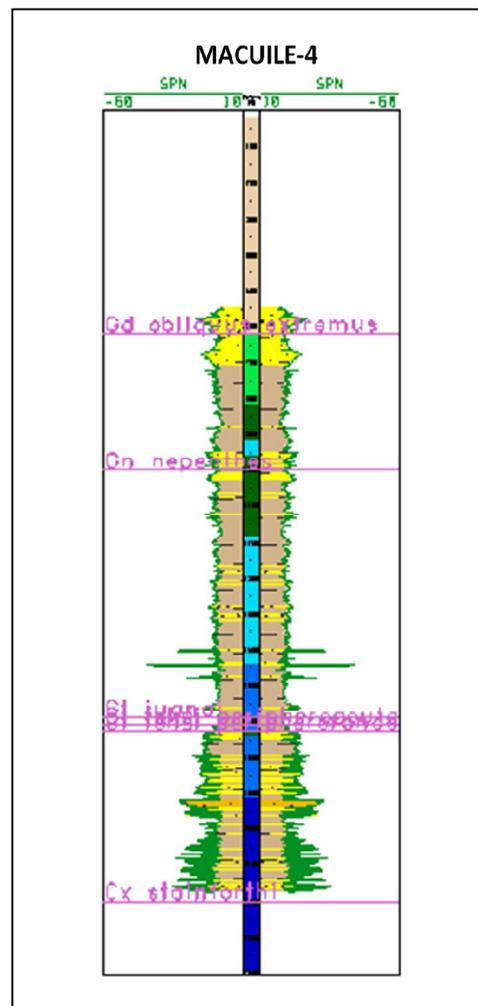


Figura 27. Columna estratigráfica del pozo Macuile-4 incluyendo información litológica, batimétrica y paleontológica

A continuación en base al mapa de ubicación de los pozos a utilizar en el estudio se marcaron 4 transectos para realizar las correlaciones estratigráficas y relacionar los diferentes eventos en la zona de estudio. (Figura 28).

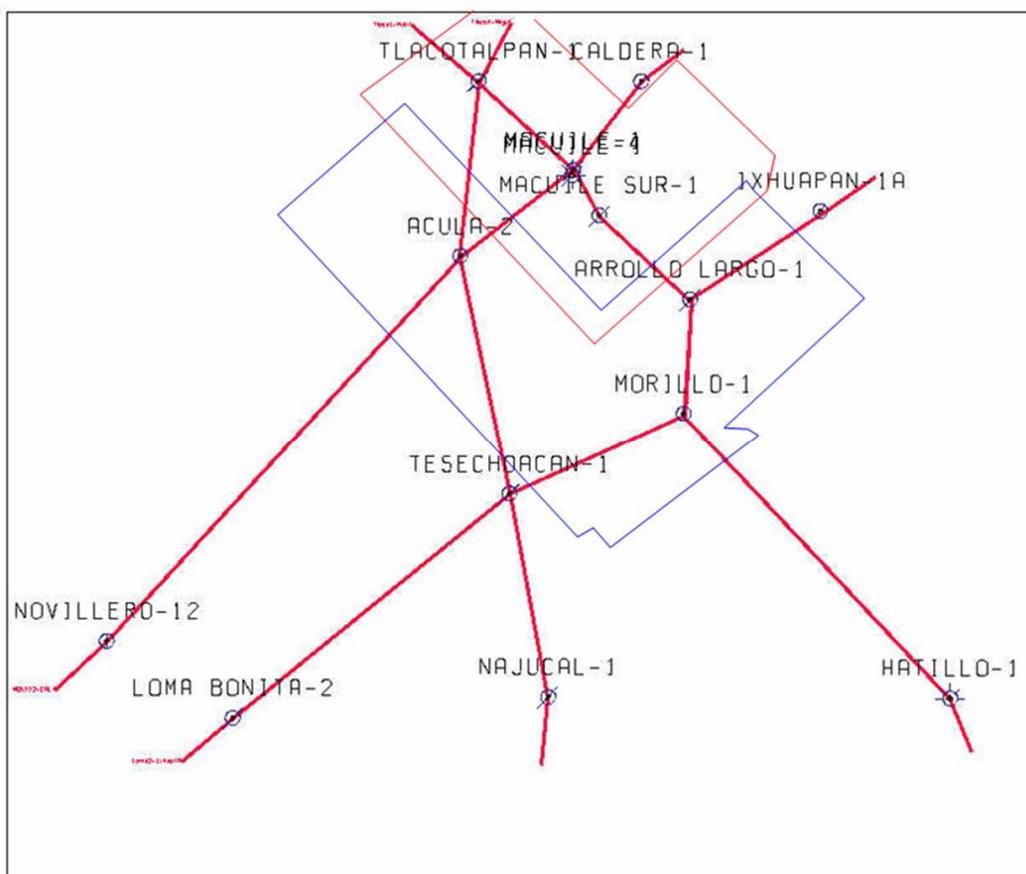


Figura 28. Ubicación de los pozos y transectos en el área de estudio.

Utilizando la información bioestratigráfica y los candidatos a superficies de inundación, se procedió a la revisión de cada uno de los pozos, y a extrapolar esos candidatos en la columna cronoestratigráfica, tratando de correlacionarlos con una determinada edad con los fósiles y luego aplicando la tabla de Haq 1987, determinar a qué secuencia correspondía y tratar de darle una edad absoluta a dicha superficie de inundación. Por ejemplo, para el pozo Acula-2 se identificaron 5 posibles superficies de inundación, de los cuales 2 se pudieron datar en el pozo y los otros tres por correlación con otros pozos y establecer su ubicación en la carta de ciclos de Haq, obteniéndose 5 superficies de máxima inundación; una en el Plioceno Medio

MSI_PM_02_70 que significa: máxima superficie de inundación del Plioceno Medio 2.70 m.a., y las otras son en el Plioceno Inferior **MSI_PI_4_20**, Mioceno Superior **MSI_MS_06_00**, Mioceno Medio **MSI_MM_11_20** y el Mioceno Inferior **MSI_MI_16_00**. (Figura 29)

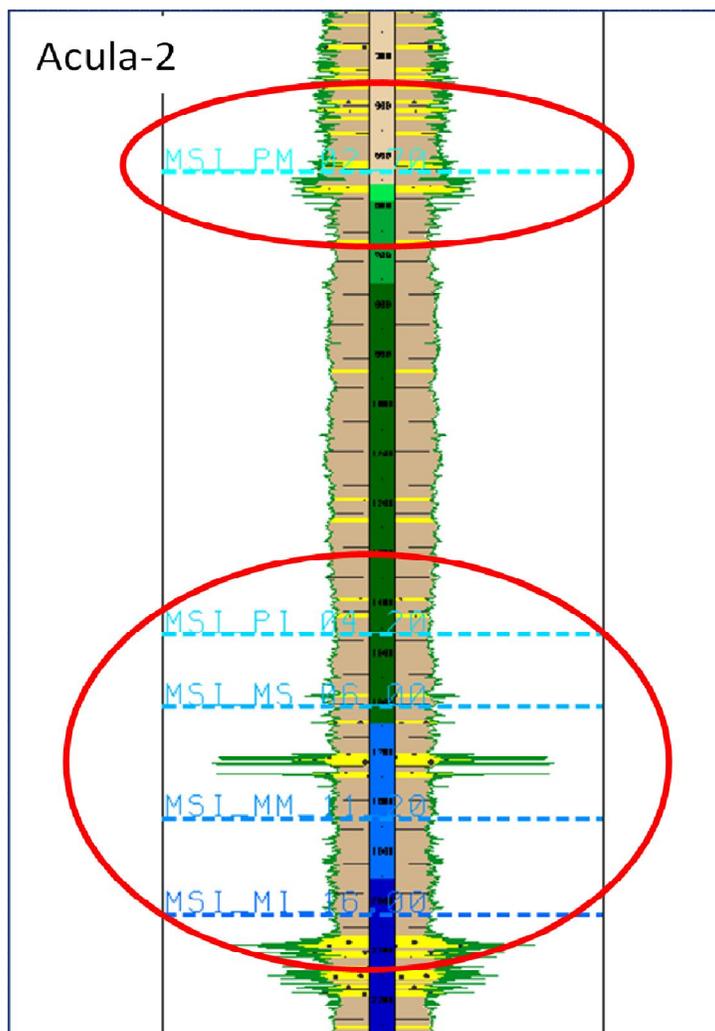


Figura. 29. Columna del pozo Acula-2, mostrando los 5 candidatos a superficies de inundación determinados con los registros y las curvas de abundancia.

Para el pozo Arroyo largo-1, aunque se contó con poca información bioestratigráfica, como se pudo observar en el capítulo de bioestratigrafía, los candidatos a superficies de inundación se correlacionaron de manera adecuada, identificándose las superficies MSI_MM_16_00 y MSI_PI_04_20. (Figura 30)

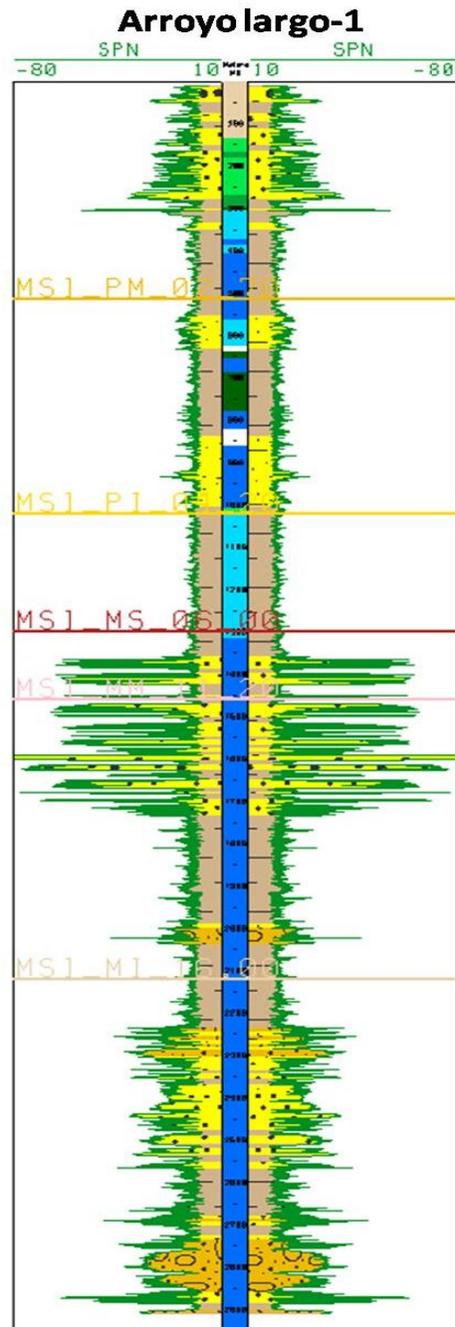


Figura 30. Columna estratigráfica del pozo Arroyo largo-1 incluyendo información litológica, batimétrica y los límites de secuencia identificados.

4.3 Correlaciones estratigráficas

Para el pozo Hatillo-1 se marcó la superficie de inundación, según los picos de abundancia y diversidad debido a que no se contó con los registros geofísicos de este pozo.

El mismo procedimiento se utilizó para todos los pozos del proyecto, utilizando la información disponible de cada uno de ellos. Posteriormente se construyeron correlaciones estratigráficas en los sentidos que se observan en la Figura 28, tratando de abarcar el área de estudio; siendo en promedio, cada sección de unos 50 kilómetros de largo. Las correlaciones se fueron construyendo a partir de los candidatos a superficies de inundación identificadas en cada pozo, debido a que no en todos los pozos se lograron identificar las mismas superficies; uno de los objetivos de las secciones construidas, es completar todas las secuencias identificadas en los diferentes pozos, por medio de la correlación de sus registros geofísicos, afinando con eso, las cimas identificadas con los fósiles índice, logrando con esto identificar 5 secuencias genéticas basadas en superficies de inundación, teniendo identificadas estas secuencias en todos los pozos de las secciones, se fueron calibrando y afinando las mismas, hasta obtener secciones estratigráficas como la de la Figura 31.

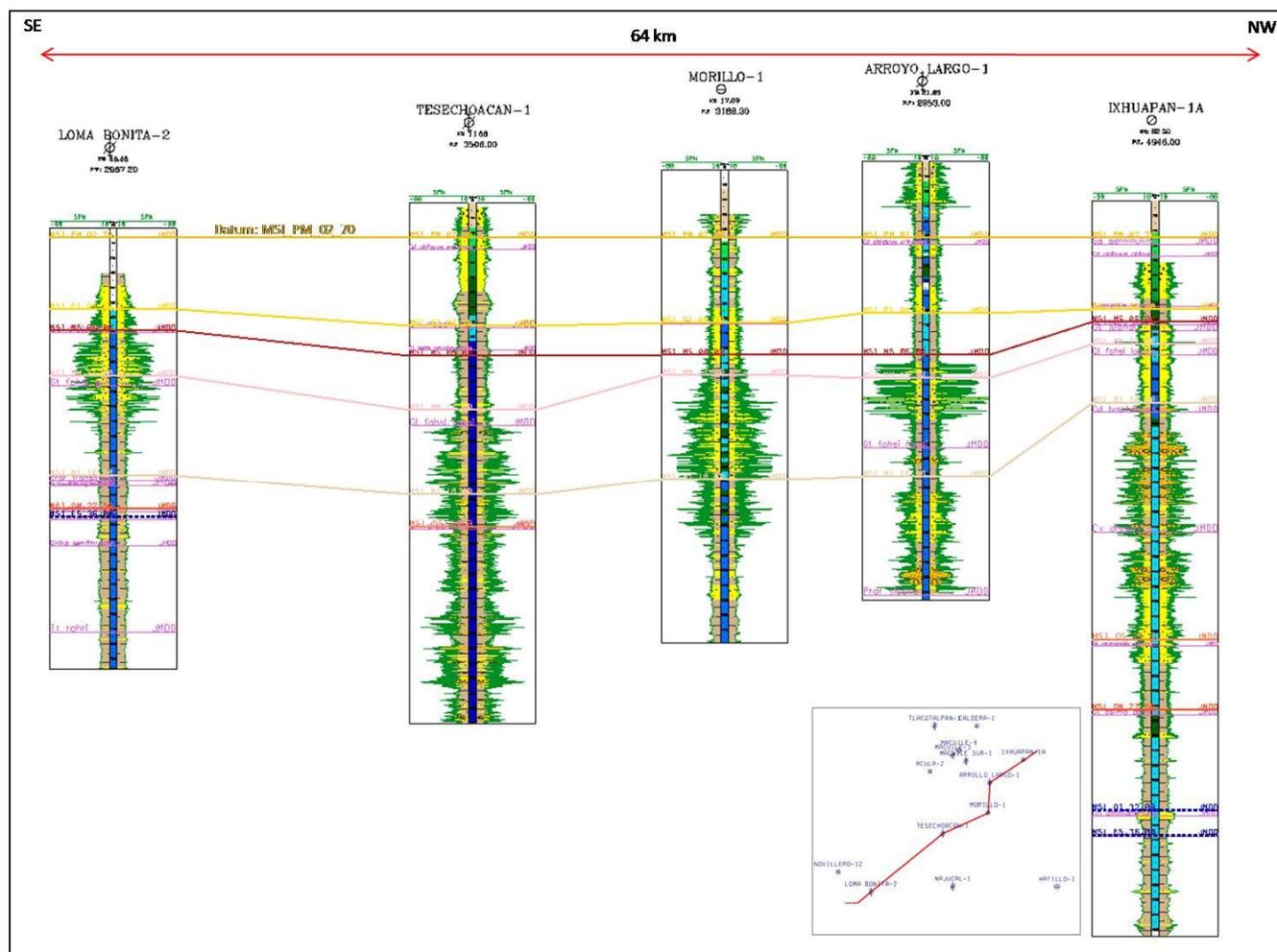


Fig. 31. Correlación estratigráfica SE-NW mostrando en rosa los fósiles índice y en líneas de colores los candidatos a superficies de máxima inundación identificados y calibrados con fósiles índice, registros geofísicos.

Tomando como ejemplo la sección de la Figura 31, se identifican que los crecimientos arenosos principales que al menos en esta sección se encuentran se encuentran en las secuencias MSI_MS_06_00 y MSI_MM_11_20 que corresponden al Mioceno Superior y al Mioceno Medio; mientras que para la secuencia MSI_MI_16_00 se observan en términos generales facies arcillosas con intercalaciones de areniscas, aunque más frecuentes gruesas capas de conglomerados de ambientes batiales, sobre todo en los pozos Arroyo Largo-1 e Ixhuapan-1A, que se encuentran más al noroeste del área de estudio, aunque el pozo Tesechoacan-1, también presenta flujos más delgados de estos conglomerados, posiblemente transportados de fuentes cercanas y de alta energía. Para las secuencias más jóvenes MSI_PM_02_70 y MSI_PI_04_20 se identifican principalmente facies arcillosas, con pequeños cuerpos de

arena, de ambientes que varían de batial superior a nerítico externo y en algunos casos a nerítico medio.

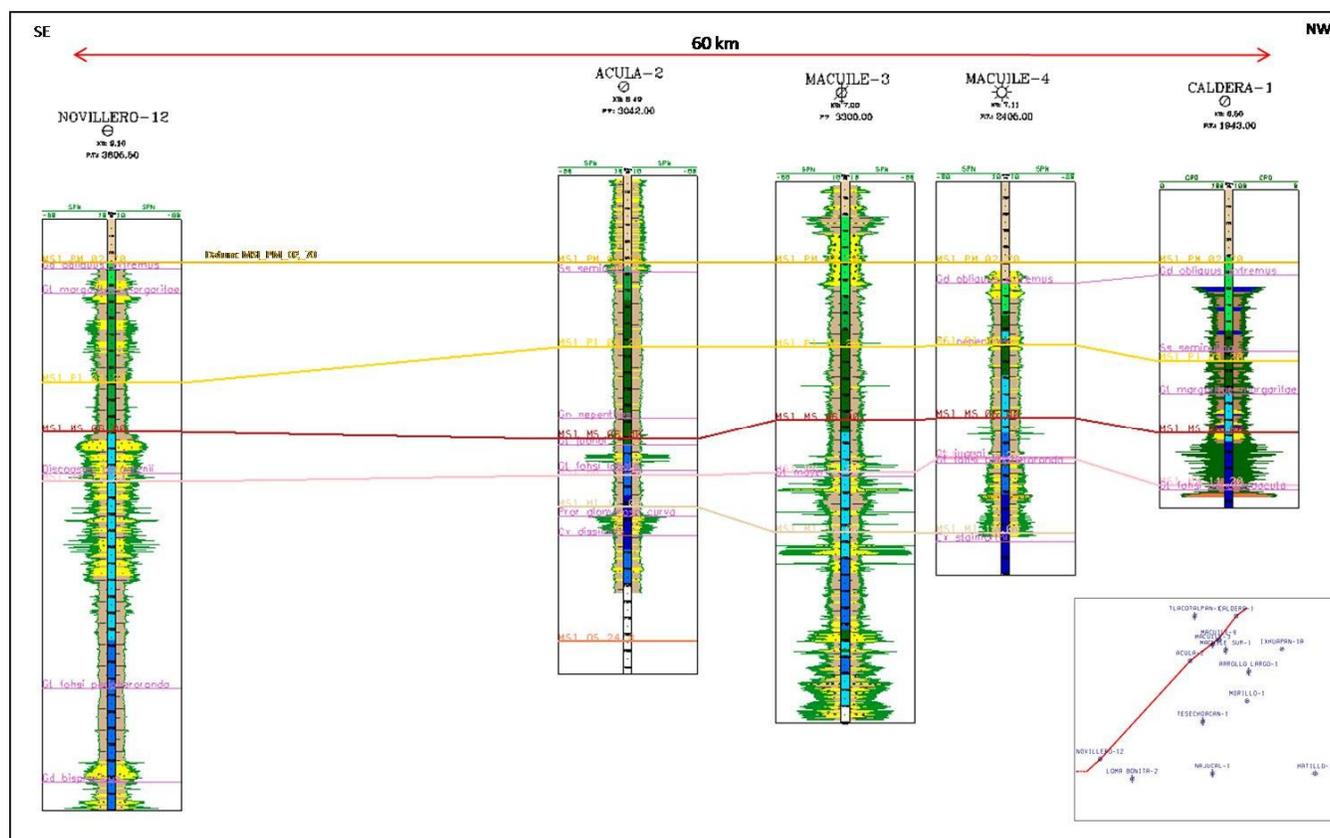


Fig. 32. Correlación estratigráfica SE-NW al norte de la anterior, mostrando en rosa los fósiles índice y en líneas de colores los candidatos a superficies de máxima inundación identificados y calibrados con fósiles índice, registros geofísicos.

Para la sección de Caldera-1 al pozo Novillero-12 de la Figura 32, al igual que en la sección 19, se identifican crecimientos arenosos principales bien delimitados por cuerpos arcillosos, de buen espesor, en ambientes batiales, encontrados en las secuencias MSI_MS_06_00, MSI_MM_11_20 y MSI_MI_16_00, y que corresponden al Mioceno Superior, Mioceno Medio y Mioceno Inferior. En los pozos Macuile-3 y 4 se presentan algunos flujos de conglomerados dentro de la secuencia del Mioceno Medio. Cabe mencionar que el intervalo productor se localiza dentro de la secuencia del Mioceno Superior en una batimetría del batial superior, en el pozo Macuile-4, y se analizará más adelante. Las secuencias más jóvenes MSI_PM_02_70 y MSI_PI_04_20 son principalmente facies arcillosas, con muy pequeños y delgados cuerpos de arena, de ambientes que, varía de nerítico externo a medio.

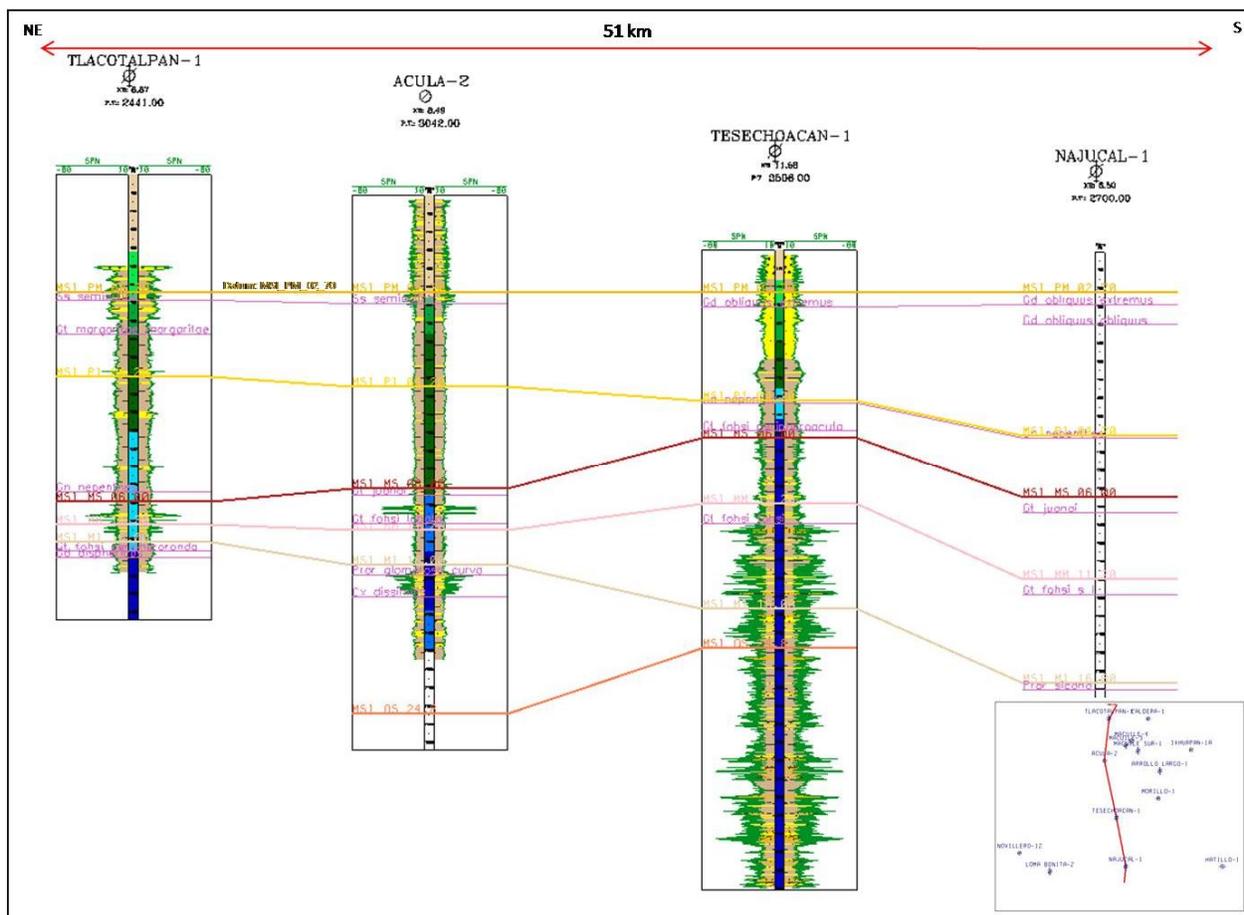


Fig. 33. Correlación estratigráfica N-S mostrando en rosa los fósiles índice y en líneas de colores los candidatos a superficies de máxima inundación identificados y calibrados con fósiles índice, registros geofísicos.

En la sección norte-sur que va del pozo Tlacotalpan-1 al pozo Najucal-1 de la Figura 33, las secuencias más jóvenes MSI_PM_02_70 y MSI_PI_04_20, prácticamente son facies arcillosas con escasos y delgados cuerpos de arena de ambientes que varían de batial superior a nerítico medio, a excepción de la parte superior del pozo Tesechoacan-1. En el MSI_MS_06_00 solo hay desarrollo de arenas en los pozos Acula-2 y Tlacotalpan-1; mientras que en el Tesechoacan-1 y Najucal-1, predomina la lutita, variando su batimetría de batial superior en Tlacotalpan-1, a batial inferior en Tesechoacan-1. En el MSI_MM_11_20 y MSI_MI_16_00 de los pozos Tlacotalpan-1 y Acula-2, son arcillosos, con algunos pequeños cuerpos de arena en la segunda secuencia, mientras que en el pozo Tesechoacan-1 principalmente es arcilloso, aunque si se llegan a presentar cuerpos arenosos y conglomeráticos de pequeño espesor, de ambientes de talud inferior.

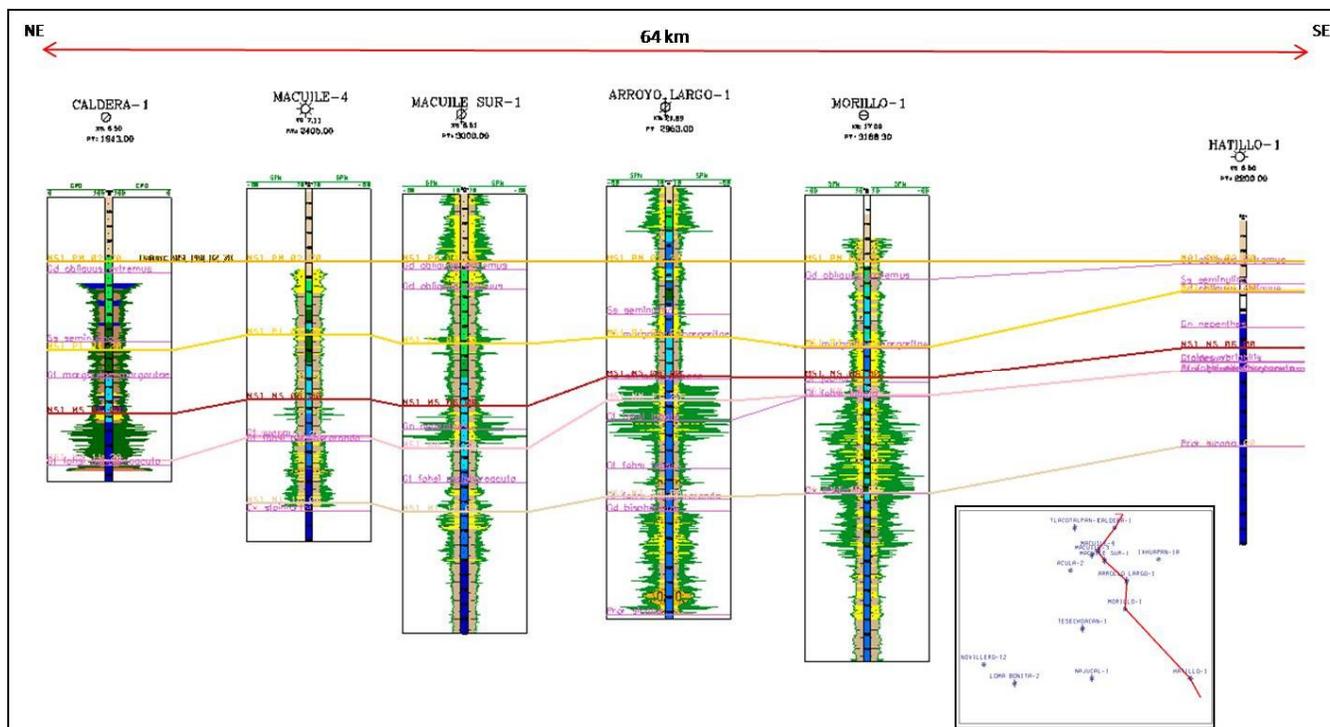


Fig. 34. Correlación estratigráfica NE-SE mostrando en rosado los fósiles índice y en líneas de colores los candidatos a superficies de máxima inundación identificados y calibrados con fósiles índice, registros geofísicos.

En la sección norte-sureste, del pozo Caldera-1 al pozo Hatillo-1, de la Figura 34, en las secuencias superiores al MSI_PM_02_70, se distinguen cuerpos arenosos muy gruesos, con intercalaciones de arcillas y con algunos cuerpos arenosos; para el MSI_PI_04_20, se encuentran prácticamente facies arcillosas con escasos y delgados cuerpos de arena, de ambientes principalmente batial superior, a excepción del pozo Morillo-1. En el MSI_MS_06_00 hay buenos desarrollos de arenas en los pozos Macuile sur-1, Arroyo largo-1 y Caldera-1, de ambientes batiales; mientras que en el pozo Macuile-4, son arenas muy delgadas productoras. En el MSI_MM_11_20 hay desarrollos muy potentes de arenas en el pozo Morillo-1, en el Arroyo largo-1, Macuile-4 y Macuile sur-1 las facies son más arcillosas con cuerpos arenosos más pequeños y algunas capas de conglomerados. Para la secuencia MSI_MI_16_00 en el pozo Arroyo Largo-1 las capas más gruesas son de conglomerados, llegando a espesores de más de 100 metros; en el resto de los pozos son de arcillas con cuerpos arenosos.

El siguiente paso en la interpretación de las columnas de los pozos, fue la de visualizar los patrones de los registros SP o GR de cada pozo, dándole un color determinado a cada uno de los patrones, en base a la tabla 20, para poder visualizar el tipo de secuencias que nos encontramos a lo largo de la columna; siendo de color amarillo las secuencias grano decreciente en forma de campana en los registros; de color azul los grano creciente en forma de árbol invertido; de color naranja los en forma de caja; en verde las secuencias aserradas y, en café, la líneas rectas o poco apreciables que nos muestran regiones arcillosas. Cada uno de estos patrones está relacionado con algún tipo de facies observable en la tabla 20.

SECUENCIA	SP/GR	FACIES SILICICLÁSTICAS
GRANO DECRECIENTE (FINING UP)		ENERGÍAS DECRECIENTES CANALES FLUVIALES CANALES DE MAREA ABANICOS SUBMARINOS CANALES SUBMARINOS
GRANO CRECIENTE (COARSENING UP)		INCREMENTO GRADUAL DE LA ENERGÍA ARENAS DE PLAYAS BARRAS COSTERAS BARRAS DE DESEMBOCADURA FRENTE DELTAICO
CILÍNDRICA (CAJA)		ENERGÍA CONSTANTE PARTE CENTRAL DE CANALES FLUVIALES BARRA DE PLATAFORMA DELTA, CRESTAS DE PLAYAS ABANICOS SUBMARINOS PROXIMALES/TALUD
ASERRADO		ENERGÍA VARIABLE PLANICIES COSTERAS LAGUNAS
PEGADO A LA LÍNEA DE LAS LUTITAS		AUSENCIA DE ENERGÍA FACIES ARCILLOSAS PLATAFORMAS LAGOS ABANICOS DISTALES U MARGINALES

Tabla 20. Interpretación de patrones de facies en los registros geofísicos.

Para el análisis de estas electrofacies, se debe contar con el análisis batimétrico de cada pozo, para poder visualizar adecuadamente su ubicación dentro del perfil batimétrico, ya que no es lo mismo, un perfil grano decreciente en las zonas costeras, que el mismo en zonas batiales, que indican depósitos diferentes, y de ahí la importancia de tener una buena información batimétrica; aunado a esto, se tienen que tener integradas las cimas de las secuencias en cada uno de los pozos, para poder ir analizando los patrones en cada secuencia. En la Figura 35, se aprecian las secuencias iluminadas en el pozo Morillo-1.

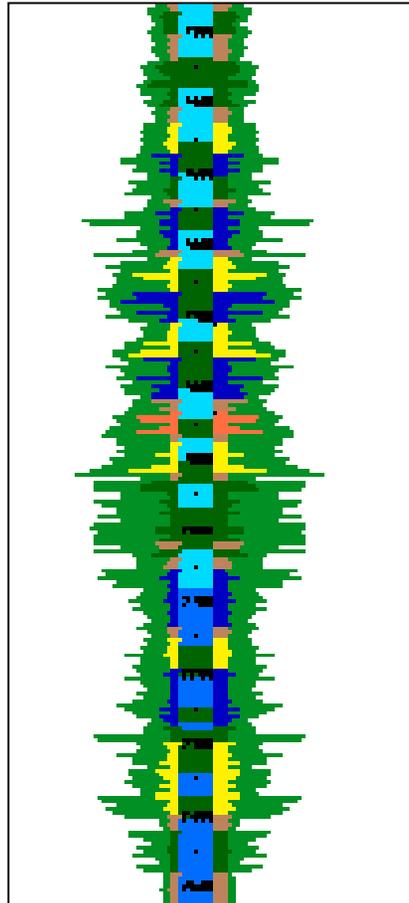


Fig. 35. Parte de la columna del pozo Morillo-1, mostrando las secuencias iluminadas en el registro SP y en la columna de en medio las batimetrías interpretadas.

4.4 Secciones estratigráficas sedimentarias

Posterior a la interpretación de los pozos, tanto de su información bioestratigráfica, litológica y de los patrones de registros, se procedió a la generación de secciones sedimentarias, incorporando en éstas las fallas principales interpretadas por el Ing. Víctor Martínez (2012), y así poder interpretar mejor los cambios de facies y de espesores en las secuencias. La metodología para interpretar las facies fue la siguiente: Con base en las batimetrías interpretadas en cada pozo (Figura 35) se procedió, por secuencia, a visualizar los ambientes de depósito principales de plataforma, talud y cuenca; posteriormente con ayuda de los patrones de registros los tipos de depósito, siendo para un patrón plano, arcillas y si eran un patrón en caja en un ambiente de talud, por ejemplo, se interpretaba como un probable complejo de abanicos submarinos de talud. Para la interpretación de las secciones se utilizaron los colores de la tabla 21.

	Plataforma
	Talud
	Cuenca
	Complejo de canales y diques
	Abanicos de piso de cuenca
	Canales meandricos

Tabla 21

En las secciones también se indican las manifestaciones y los resultados de las pruebas realizadas en los pozos. Tabla 21

	Manifestación
	Agua salada
	Intervalo productor

Tabla 21

En la figura 36, la sección Loma Bonita-Ixhuapan, se observa que los depósitos más grandes probablemente estén hacia el noreste, entre los pozos Morillo-1 e Ixhuapan-1^a, siendo la secuencia MSI_MI_16.00 con los mayores espesores, seguido por la secuencia MSI_MM_11.20 en el pozo Morillo-1, donde se observan grandes complejos de canales y diques, con algunos abanicos de talud. En la secuencia del Mioceno Inferior en el pozo Ixhuapan-1^a y, en menor grado, en el pozo Arroyo Largo-1, se presentan grandes espesores de conglomerados y areniscas de medias a gruesas, lo que podría indicar que su fuente de aporte está cercano, posiblemente del sistema de Los Tuxtlas. En el pozo Tesechoacan-1 se observan las facies más profundas de esta sección, con depósitos profundos y algunos abanicos de piso de cuenca. En el pozo Loma bonita-2 los mayores depósitos turbidíticos se presentan en las secuencias MSI_MS_06.00 y MSI_MM_11.20.

La sección Novillero-Caldera de la Figura 37, tiene la dirección suroeste al noreste; para la secuencia MSI_MI_16.00 son facies arcillosas de talud y de cuenca, hacia el noreste, en los pozos Macuile-4 y Caldera-1 con algunos pequeños depósitos turbidíticos. La secuencia del Mioceno Medio tiene depósitos de mayor espesor de arenas de grano medio con algunos conglomerados en el pozo Macuile-4, volviéndose arcilloso hacia el pozo Acula-2. Presencia de depósitos turbidíticos en el pozo Novillero-12. Para la secuencia del Mioceno Superior hay depósitos de consideración en los pozos Novillero-12 y Caldera-1 y, en los pozos centrales, pequeños depósitos de arenas aisladas y entrampadas dentro de estratos de arcillas.

En las secuencias MSI_PM_02.70 Y MSI_PI_04.20 se interpreta una gran plataforma constituida principalmente por arcillas y con algunos pequeños sistemas meandricos con depósitos menores de arena.

Para la sección Tlacotalpan-Najucal (Figura 38) de norte-sur, se acentúa la cantidad de arcillas en todas las secuencias, a excepción del pozo Tesechoacan-1, con depósitos en un complejo de canales y diques pero más profundo que en las otras secuencias, con algunos posibles abanicos de piso de cuenca en la secuencia MSI_MM_11.20.

La sección Caldera-hatillo (Figura 39) presenta una mayor depositación aparente con algunos complejos de canales y diques en todas las secuencias del Mioceno. La secuencia MSI_MI_16.00, presenta depósitos turbidíticos en Morillo-1, Arroyo largo-1 y Macuile sur-1, con depósitos de probables abanicos de talud, formados por conglomerados y areniscas



gruesas. Para el Mioceno Medio y Superior se continúan los complejos de canales y diques y ya para las secuencias del Plioceno, principalmente son depósitos arcillosos, a excepción de algunos canales meandricos en el pozo Macuile Sur-1.

En todas las secciones, las secuencias del Plioceno Medio al Mioceno Superior, son predominantemente de plataforma a talud, con algunos depósitos pobres de arenas formando algunos canales meandricos, y otras arenas aisladas. El Mioceno Inferior al Mioceno Medio están representados predominantemente por arcillas de ambientes profundos con algunos depósitos en el talud, formando complejos de canales y diques y en algunos lugares, depósitos más profundos de cuenca. Estos depósitos están formados, en términos generales, por areniscas y arenas de grano grueso a fino, con algunas capas de conglomerados, con espesores de varios metros a casi 1000 metros, en algunos casos; sobre todo en los pozos al noreste del área de estudio como el Ixhuapan-1^a. En estos depósitos de grano grueso, solo se reportan en términos generales gasificaciones y las pruebas realizadas en estas secuencias, principalmente, se han obtenido agua salada y algo de gas no comercial; por lo que no han podido ser explotadas. En los intervalos superiores con arenas más finas del Mioceno Superior al Plioceno Medio, hay pocos registros de gasificaciones, a excepción de los pozos del campo Macuile; dentro de los cuales el Macuile-4, es el único pozo productor del área del estudio, en una arena muy delgada y aislada a la profundidad de 1539 metros, en la secuencia MSI_MS_06.00.

Sección geológica Loma Bonita-2 – Ixhuapan-1A

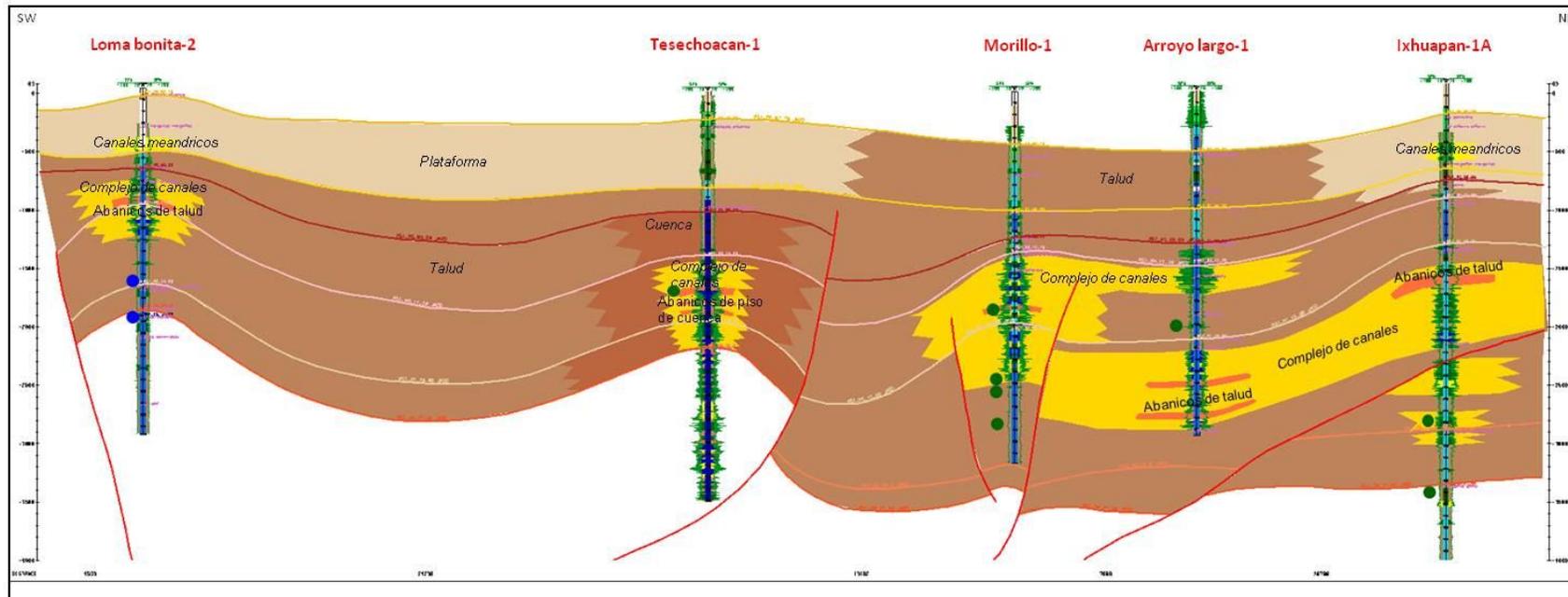


Figura 36. Sección de facies sedimentarias del pozo Loma Bonita-2 al suroeste, al pozo Ixhuapan-1A al noreste.

Sección geológica Novillero-12 – Caldera-1

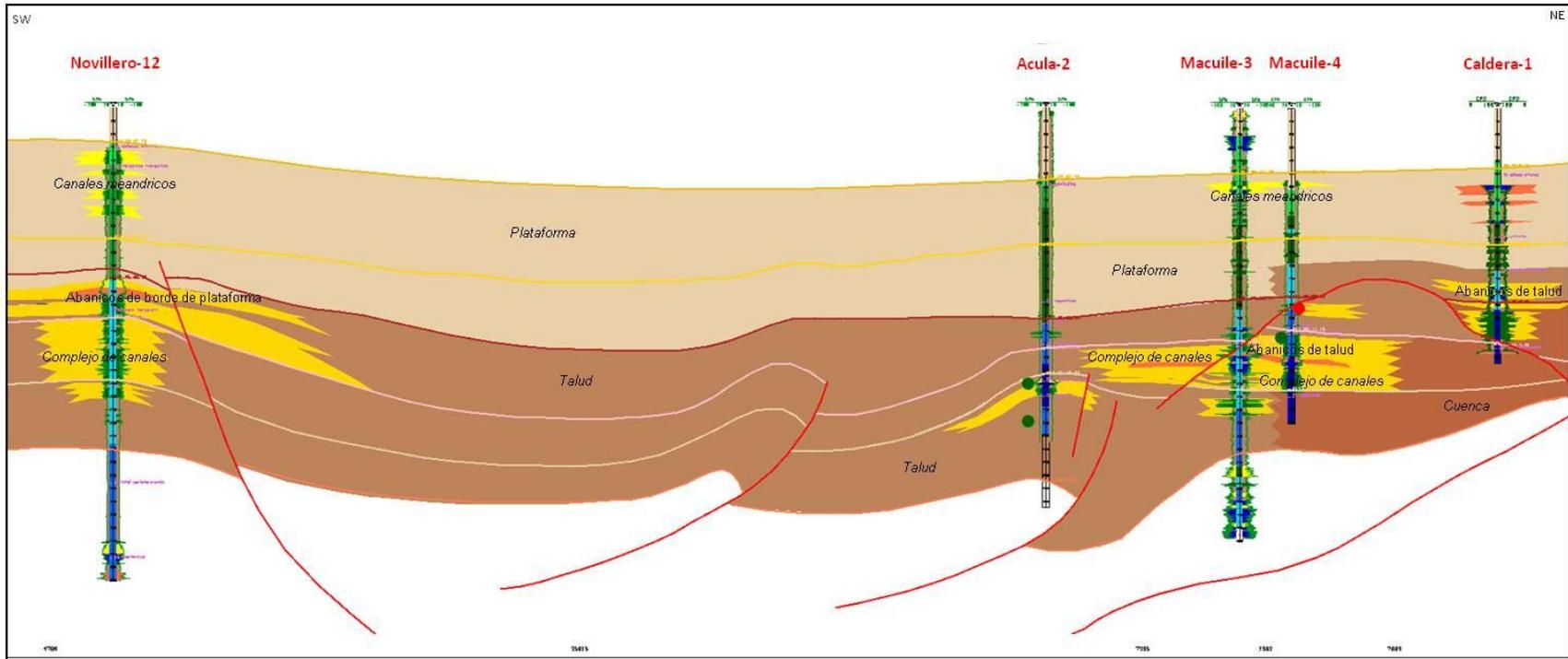


Fig. 37. Sección de facies sedimentarias del pozo Novillero-12 al suroeste, al pozo Caldera-1 al noreste.

Sección geológica Tlacotalpan-1 – Najucal-1

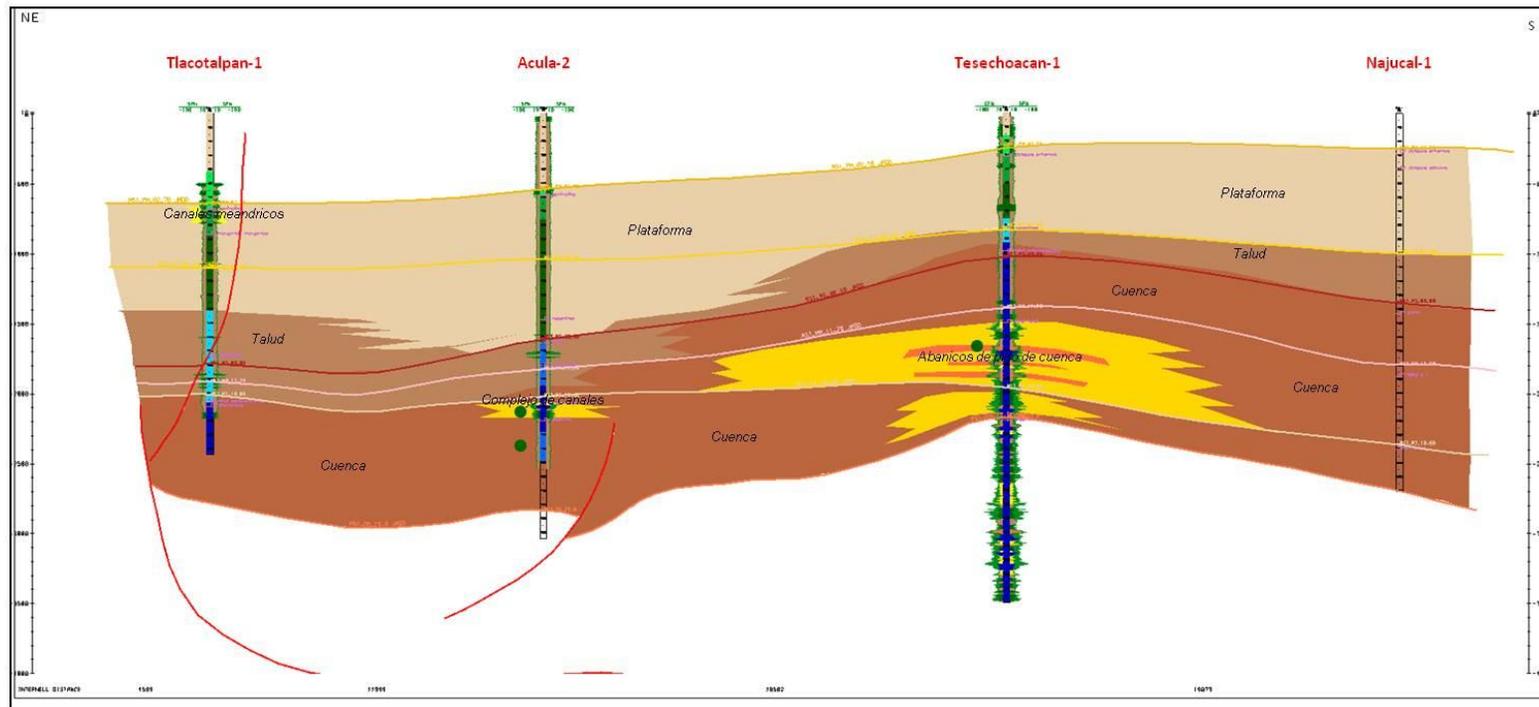


Fig. 38 Sección de facies sedimentarias del pozo Tlacotalpan-1 al norte, al pozo Najucal-1 al sur.

Sección geológica Caldera-1 – Hatillo-1

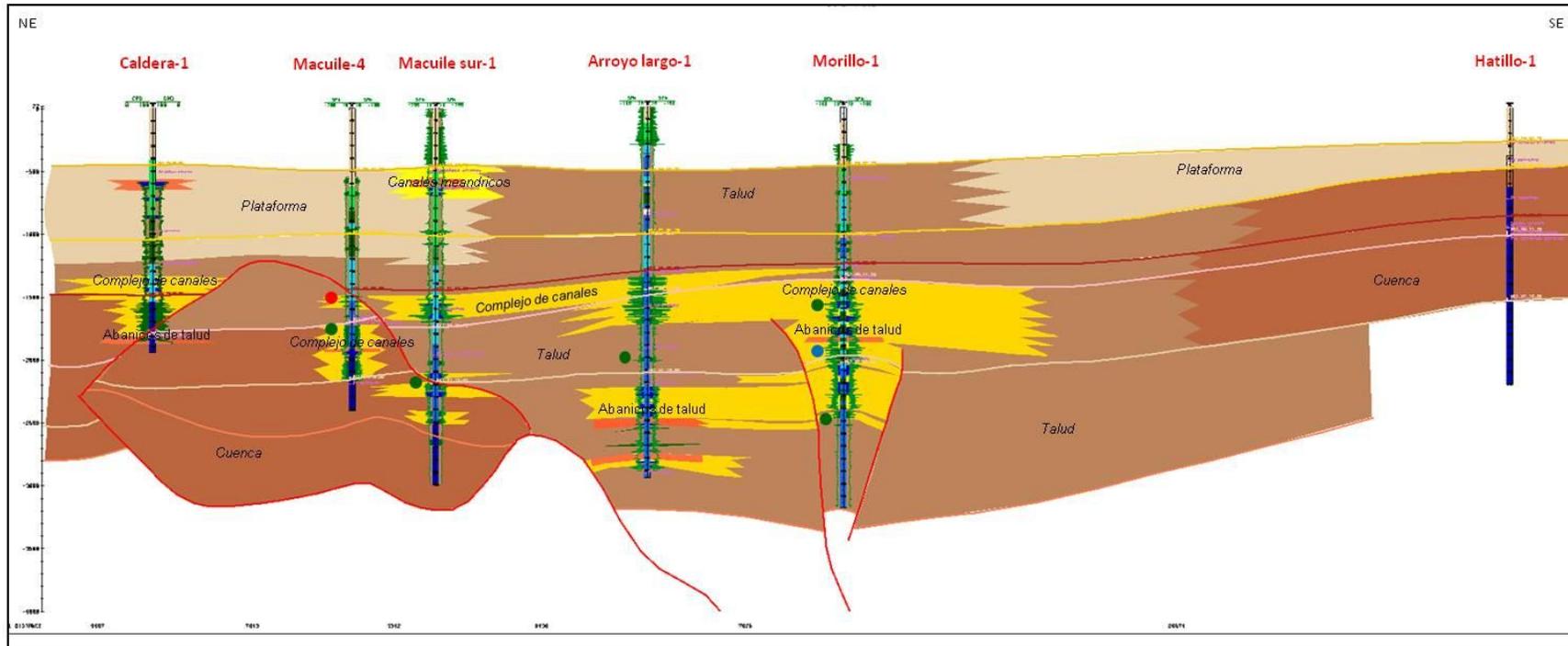


Fig. 39. Sección de facies sedimentarias del pozo Caldera-1 al noreste, al pozo Hatillo-1 al sureste.

4.5. Mapas paleoambientales

Con base en las 4 secciones estratigráficas construidas, se procedió a la elaboración de mapas de facies para cada secuencia, dentro del área de los pozos estudiados; tomando en cuenta también, las configuraciones y mapas de atributos de amplitud sísmica, (Peláez, 2007); para tener un mejor control de la parte estructural y la posible dirección de los flujos que se observan en cada secuencia. Como se puede observar en el mapa paleoambiental de la secuencia MSI_MI_16.00 (Figura 40), la parte central del área de estudio es probablemente un ambiente de cuenca, con un talud al oeste y al noreste; lo que probablemente corresponda con la dirección de las procedencias de los sedimentos; siendo en esta secuencia donde se depositaron los mayores espesores de clastos gruesos, como arenas gruesas y conglomerados; como se atestigua en el pozo Ixhuapan-1A; por lo que probablemente estos sedimentos provengan del sistema volcánico de los Tuxtlas. Con la información obtenida, se visualizaron dos grandes sistemas de depósito de canales y diques en el talud y, depósitos lobulares en la cuenca central, cuya dirección es del noreste al sureste y un pequeño aporte viniendo del oeste.

En la secuencia MSI_MM_11.20 (Figura 41) se observa la misma tendencia de sedimentación de la secuencia anterior, del noreste y con dos lóbulos principales; se observa una mayor superficie de talud, probablemente el nivel relativo del mar comienza a disminuir para esta secuencia permitiendo que, el aporte del oeste aumente y probablemente se forme otro lóbulo cercano al pozo Najucal.

En el mapa paleoambiental de la secuencia MSI_MS_06.00 (Figura 42) se observa un cambio importante en el depósito, donde los grandes lóbulos prácticamente han desaparecido dentro del área de estudio y, el nivel del mar aparentemente descendió emergiendo una plataforma en la zona del pozo Ixhuapan-1A, aumentando el área del talud, así como una disminución del aporte de sedimentos en la zona. En el sur, en cambio, vemos que el aporte sedimentario aumentó y también una plataforma hacia el oeste del pozo Novillero-12.

En la secuencia MSI_PI_04_20 (fig. 43) se observa, que el área de plataforma tiende a ampliarse; lo que nos indica que hubo una regresión del nivel de mar, principalmente hacia el noroeste, profundizándose hacia el sureste, hasta llegar a ambientes de cuenca, como se evidencia en el pozo Hatillo-1. Para esta secuencia, en todos los pozos se presentan de



manera general, facies lodosas con muy poco depósito de arenas, a excepción del pozo Caldera-1; por lo que se interpreta un complejo de canales y diques que desembocan en un probable piso de cuenca hacia el sureste.

Para la secuencia MSI_PM_02_70 (Figura 44), se observa un cambio drástico en la batimetría y en las facies en el área de estudio; predominando un paleoambiente de plataforma y un talud más reducido al este, donde probablemente se depositaron algunos lóbulos de talud. Por las evidencias de los pozos, se puede concluir que estamos en un sistema de nivel.

MAPA PALEOAMBIENTAL DE LA SECUENCIA MSI_MI_16.00

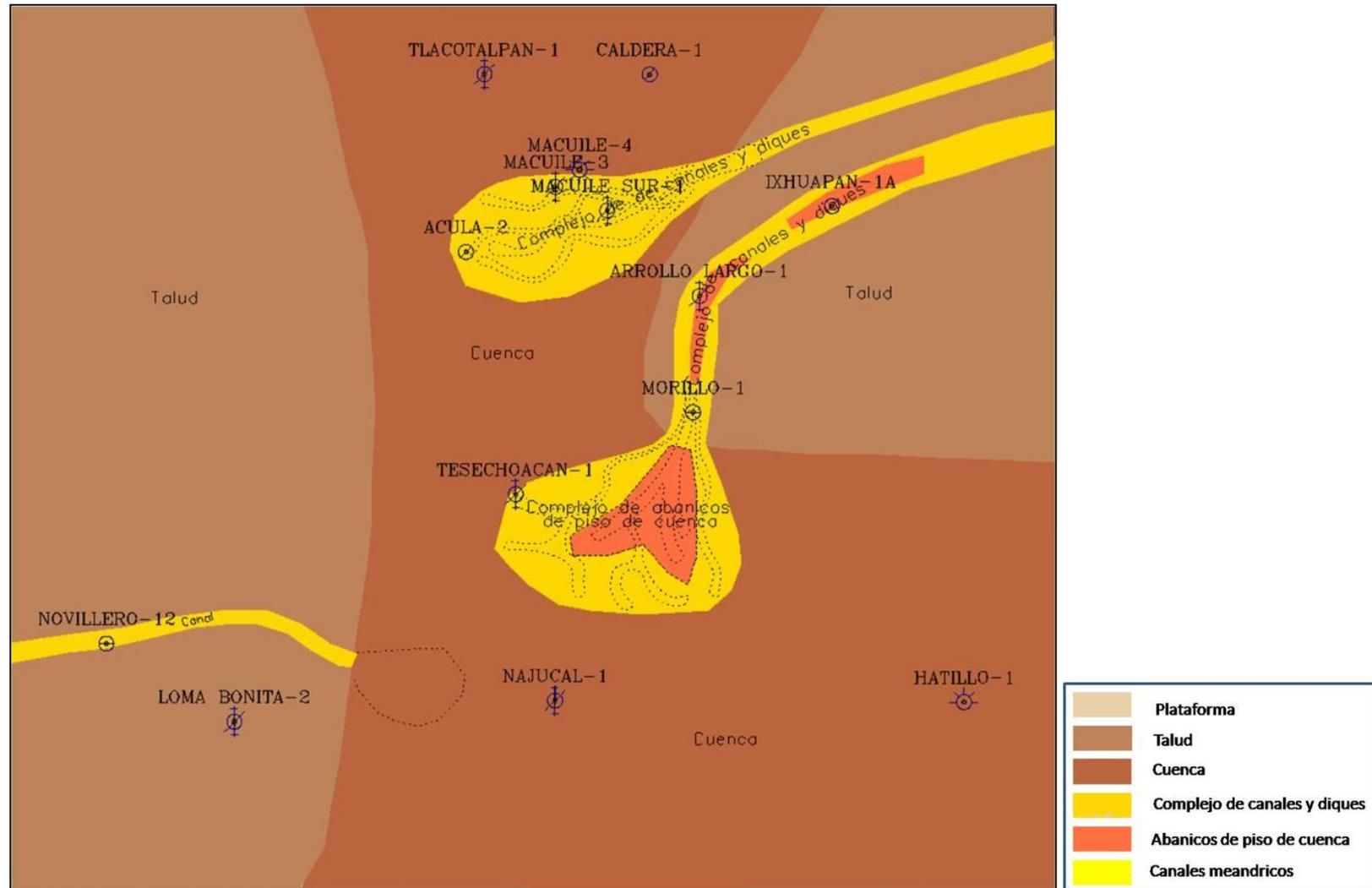
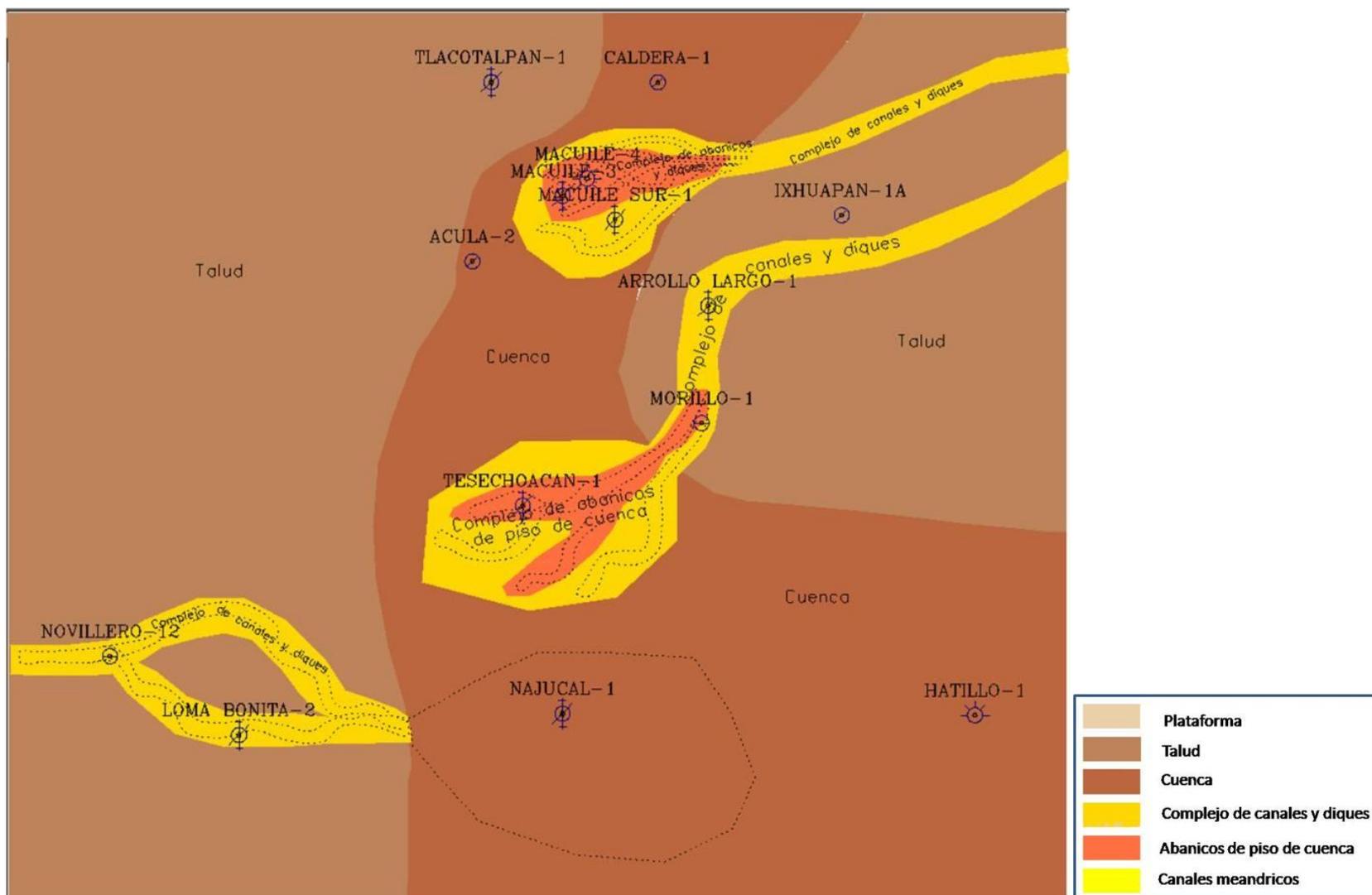
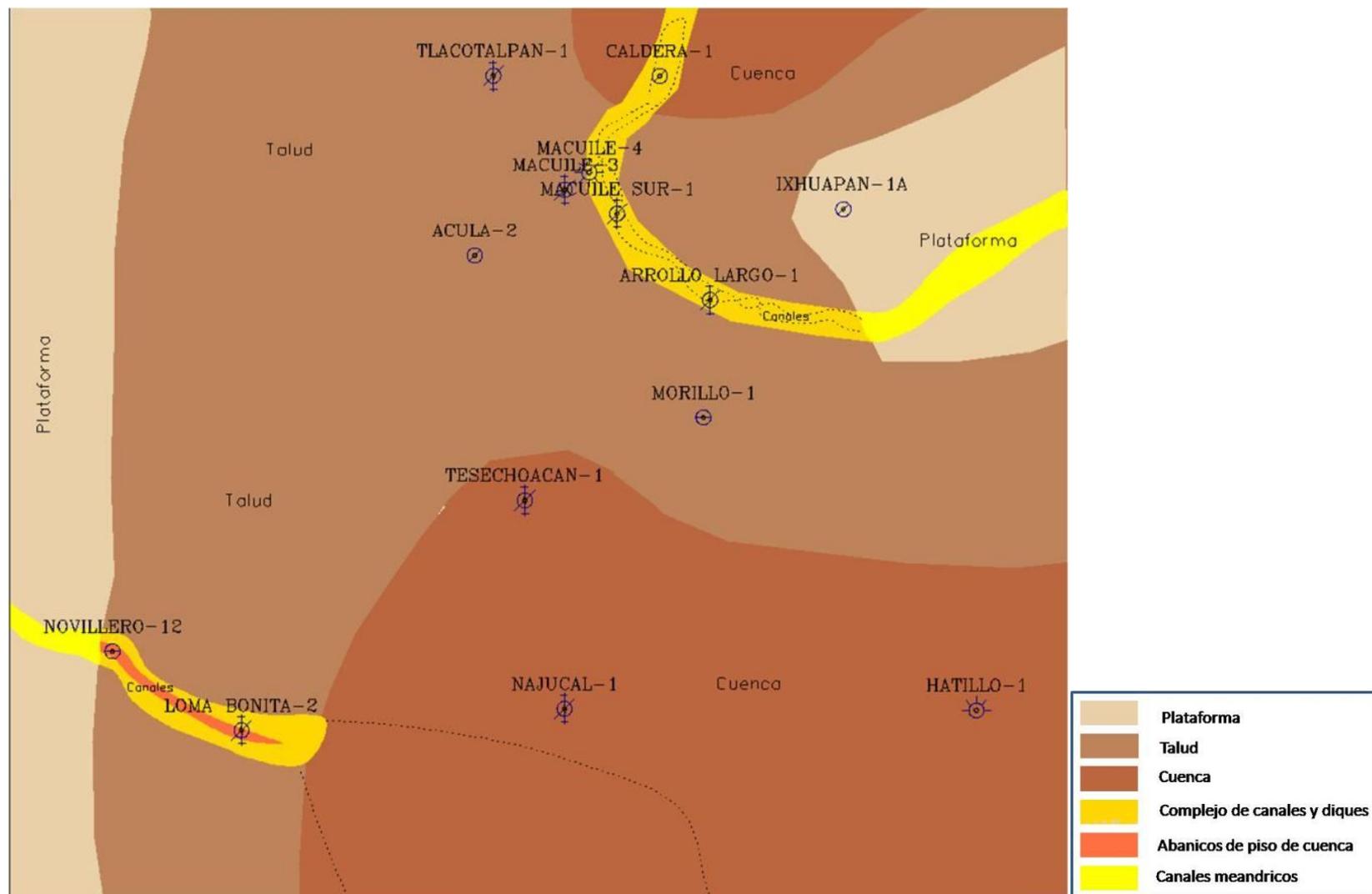


Fig. 40 Mapa paleoambiental interpretado en el área de estudio para el Mioceno inferior

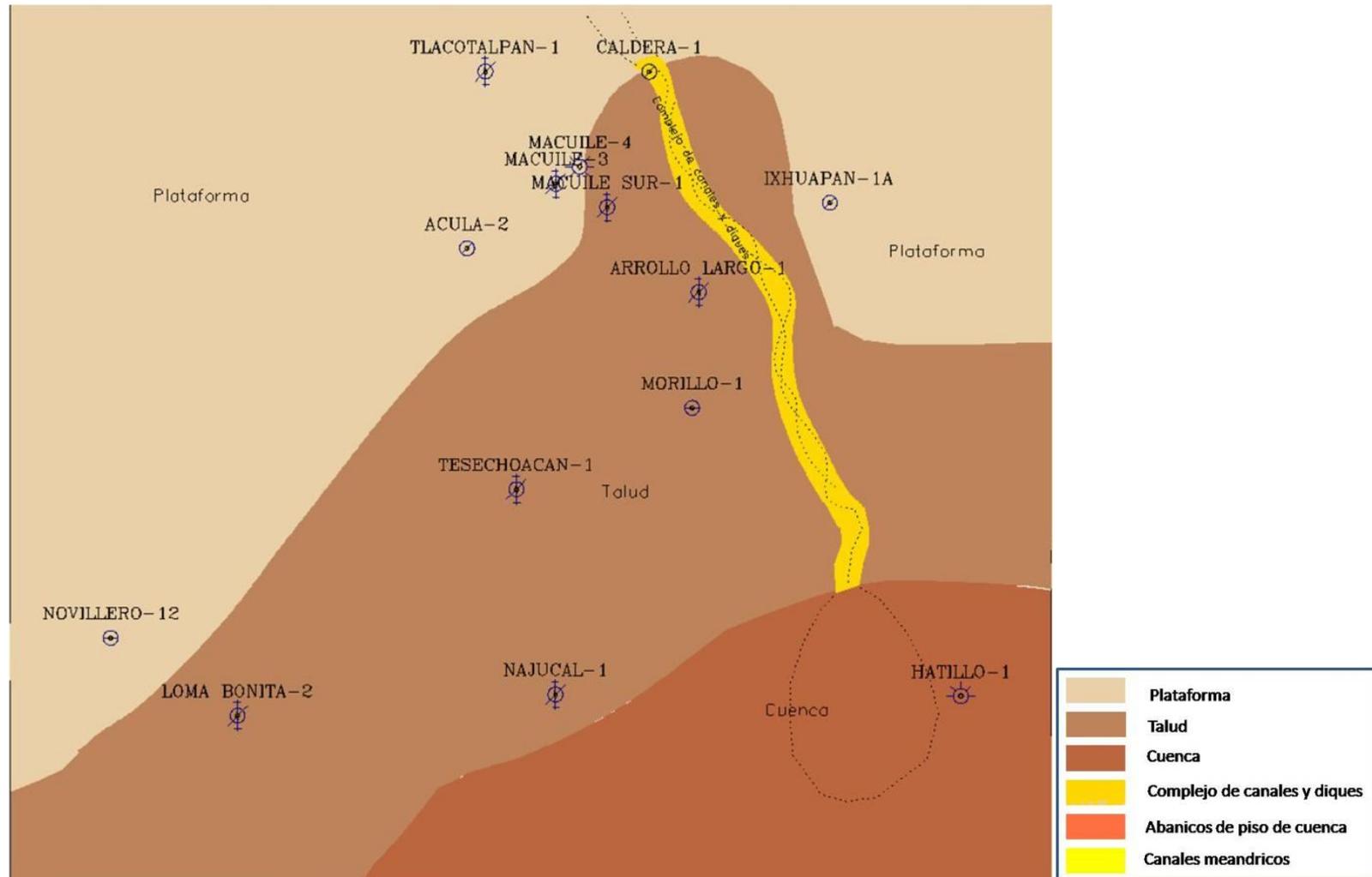
MAPA PALEOAMBIENTAL DE LA SECUENCIA MSI_MM_11.20



MAPA PALEOAMBIENTAL DE LA SECUENCIA MSI_MS_06_00



MAPA PALEOAMBIENTAL DE LA SECUENCIA MSI_PI_04_20



MAPA PALEOAMBIENTAL DE LA SECUENCIA MSI_PM_02_70

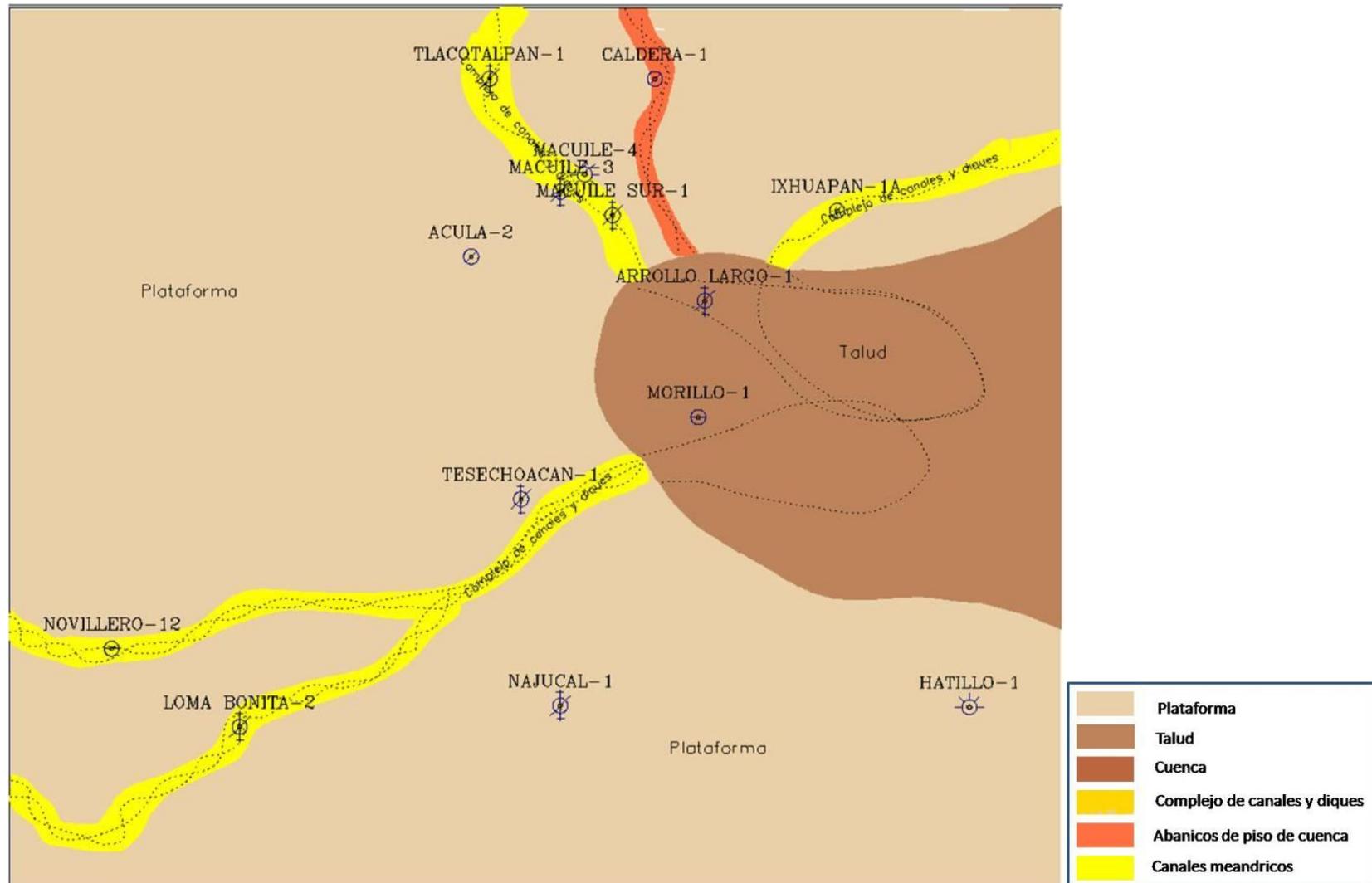


Fig. 44 Mapa paleoambiental interpretado en el área de estudio para el Plioceno medio.

4.6. Predicción de roca almacén

Después de analizar la información, tanto de las secciones construidas y los mapas generados, en términos generales las secuencias estudiadas presentan pocos depósitos arenosos como complejos de canales y diques que serían de difícil predicción sin una adecuada sísmica. La dirección principal de estos canales se interpretaron principalmente de la batimetría y de los mapas de amplitudes disponibles (Peláez, 2007). Probablemente haya mayor cantidad de complejos de canales y diques a los plasmados en los mapas; pero dado la baja densidad de pozos con los que se contó en este estudio, no fue factible tener más evidencia de esto. Se observan algunas probables zonas de abanicos de pie de talud y de piso de cuenca, susceptibles a tener buena roca almacén; aunque conllevan bastante riesgo, ya que las pruebas realizadas en los pozos que cortaron estos depósitos estaban invadidos de agua salada, con muy poco gas; así que se tendrían que analizar las otras variables del sistema petrolero. Dado que se tiene producción solo en una pequeña arena aislada del pozo Macuile-4 y, por la información petrofísica de los pozos, se deduce que la roca almacén es de buena a mediana calidad, en casi todas las secuencias; sin embargo la dificultad sería mapear todos estos complejos de canales, diques y lóbulos.

En la secuencia del Mioceno Inferior y Medio hay depósitos de canales y diques que como, ya se mencionó, no han salido productores, por lo que, para tener un entrapamiento de posibles hidrocarburos es factible que se acumulen en sistemas de componente estructural, precisamente en los alineamientos ya mostrados en los mapas y secciones anteriores, en los que, además, se debe analizar la calidad resultante de la roca sello; es decir averiguar si ésta no ha sido afectada en gran medida por mecanismos tectónicos posteriores a la sedimentación.

En el Mioceno Superior y Plioceno Inferior hay pocos horizontes estratificados de roca almacén; pero paradójicamente, el Mioceno Superior es la única secuencia productora, lo que nos evidencia que la presencia y calidad de la roca almacén son atractivas y los problemas principales son la trampa y el sello.

Lo que resta, es evaluar la cantidad y tipo de hidrocarburos y, cómo estarían confinados en este tipo de trampas, es decir, enfocar el análisis a las rutas de migración, y que los cierres estructurales funcionen correctamente.

5. SISTEMA PETROLERO

Para comprender el sistema petrolero con el apoyo de la extrapolación e interpolación de información estratigráfica, litológica, térmica y geoquímica de las rocas generadoras (Holguín, 2006); se planteó la interpretación de cartas de sepultamiento geológico, como el ejemplo mostrado en la *Figura 45*, con el fin de comprender los procesos geológicos del pasado y considerar sus implicaciones en el presente. Además, se presenta el tipo de kerógeno (materia prima) y sus implicaciones para la generación de hidrocarburos, (específicamente de gas natural).

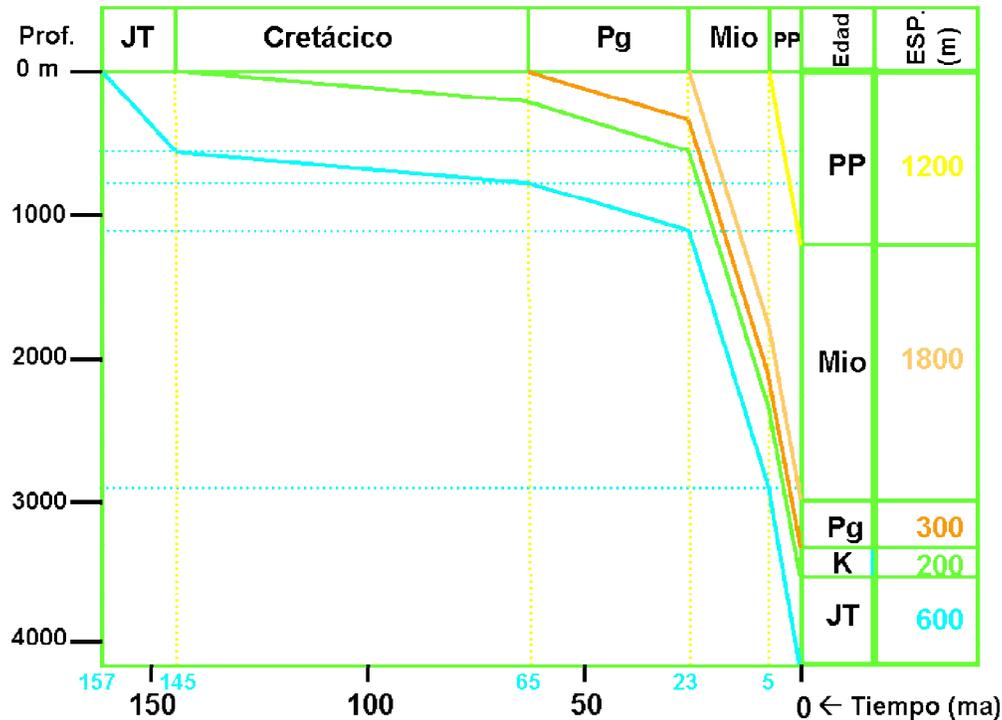


Figura 45.- Ejemplo de diagrama de historia de sepultamiento. Esta gráfica da idea de las tasas de sedimentación, tiempo y cantidad de sepultamiento y subsidencia, elementos que influyen en la generación y tipo de hidrocarburos. Las curvas marcan la velocidad de sepultamiento de cada espesor formacional, desde el basamento hasta la actualidad, en la que se tiene control con pozos. (Tomado de Holguín, 2006).



5.1. Subsistemas generadores

De estudios previos de evaluación de plays del Terciario que realizó en 2000 – 2001, el Bureau of Economic Geology (BEG) junto con PEMEX Exploración y Producción (PEP); así como también de Vázquez et al. (1996), para la zona norte; se determinó que: la madurez térmica, la cantidad y la calidad de la roca generadora son generalmente adecuadas para generar gas en la mayor parte de la Cuenca. Los intervalos más importantes, a nivel de roca generadora, son del Jurásico Superior/Cretácico Inferior y el Eoceno.

De un estudio regional incluido en el proyecto Papaloapan B (2004), se obtuvo un modelado con el software BasinMod, en donde, de la extrapolación desde zonas con mayor conocimiento sobre el sistema petrolero y utilizando 40 líneas sísmicas regionales 2D, se obtuvieron 2 secciones construidas sobre las inmediaciones de la zona de interés; en una de ellas se incluyen los pozos Tlacotalpan-1, Macuile-4, Macuile sur-1, Arroyo largo-1, entre otros, fuera del área de estudio; de estas secciones se deduce que a partir de 34 millones de años (m. a.) se inició la generación de hidrocarburos desde las rocas del Tithoniano (Jurásico Superior) y continuó hasta los 16 m. a. y que, posiblemente la generación en las rocas del Cretácico se inició a los 25 m. a. Aunado a esto, de los análisis de biomarcadores, isotopía de gases y diamantoides, de pozos exploratorios recientes, se infiere que los horizontes más someros pueden contener mezclas de hidrocarburos que provienen de rocas generadoras del Jurásico, Cretácico y del Paleógeno - Neógeno (Papaloapan B, 2004). En la Figura 46 se muestra el diagrama de eventos en cuestión.

Por otro lado, de un análisis tipo 3D en el que se utilizaron las mismas líneas sísmicas regionales 2D, y el software Petromod; en el mismo proyecto mencionado se obtuvieron diferentes mapas de relación de transformación (RT%), de los que se muestran solo algunos (figuras 47, 48 y 49) del Tithoniano; únicamente sobre el área que abarca el presente estudio y para la etapa inicial de transformación. En estos mapas se aprecia que, hacia el norte, la generación de hidrocarburos es más temprana que en el resto del área de interés para el presente trabajo. En los estudios señalados sobre las cuencas al sur de Veracruz, se menciona que el kerógeno para las rocas del Jurásico Superior es de tipo II; además de que la materia orgánica (MO) es de buena calidad; y que en las muestras superficiales se presenta

un predominio del kerógeno tipo II (ver Figura 50). De los estudios de óptica se confirma este tipo de MO, en donde predomina la leñosa y algácea, con mayor porcentaje de esta última; de pozos aledaños se obtiene una abundancia entre 14 y 19%, mientras que en roca aflorante alcanza hasta el 30%. Se menciona además que el potencial de la roca generadora es alto, en la zona norte y disminuye al sur de la Cuenca de Veracruz.

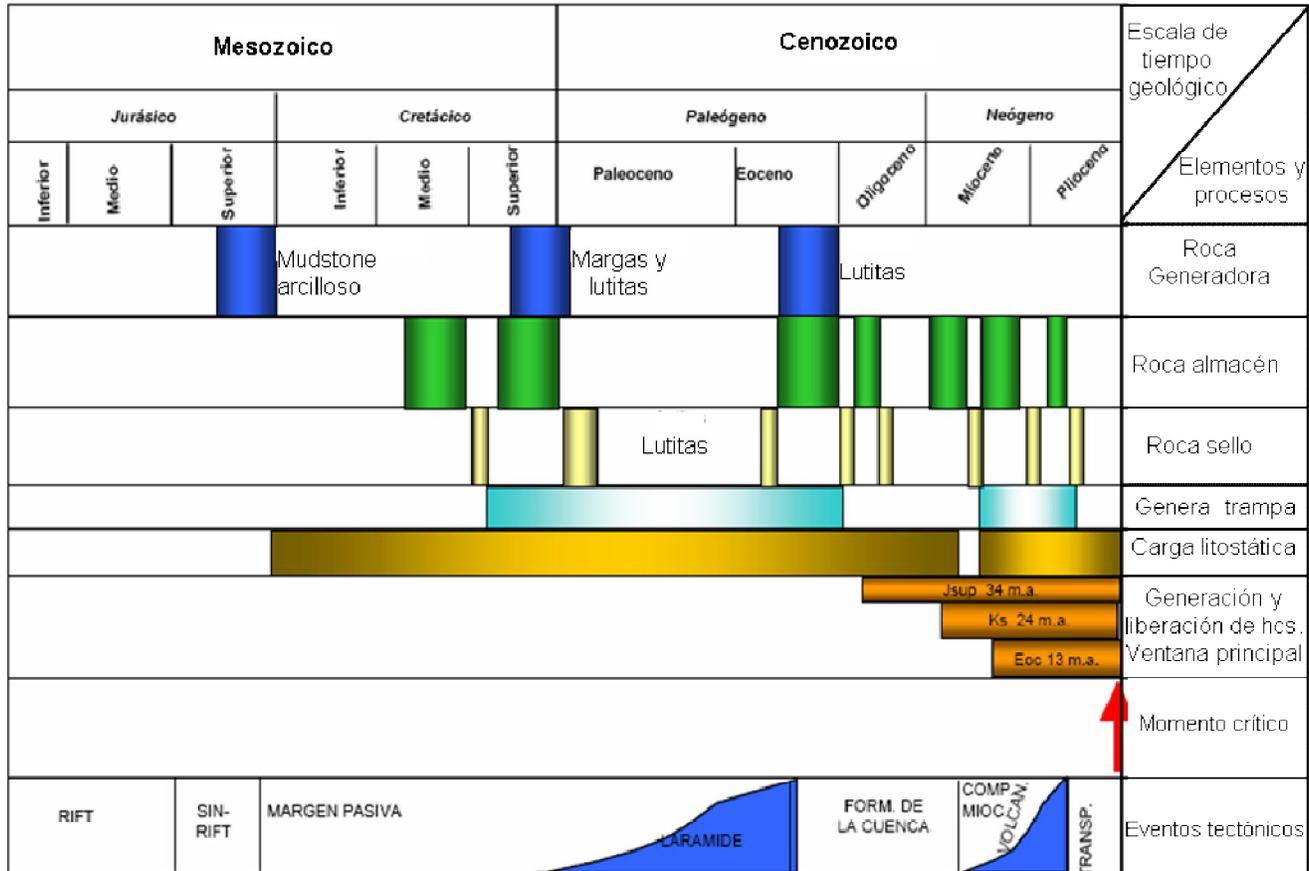


Figura 46.- Tabla de eventos y elementos del sistema petrolero. Se muestra la generación de hidrocarburos desde tres rocas madre. Así como la interrupción de la carga litoestática al nivel del Mioceno Medio. Mioceno: Roca generadora de gas biogénico; Kerógeno tipo III. COT 0.83%, Ro<0.6%. PEMEX et al. (2000, 2004).

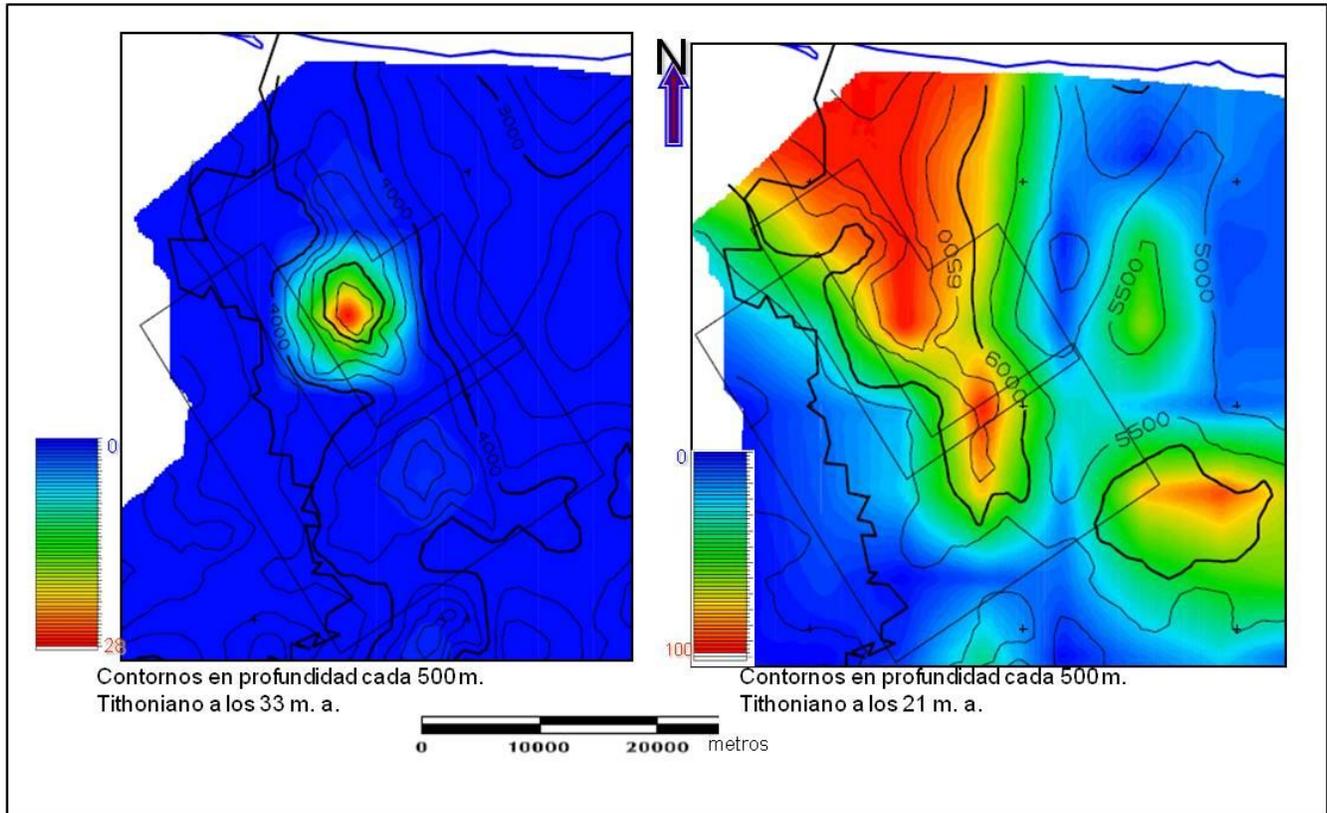


Figura 47.- Mapas de relación de transformación (RT%) para 33 m. a. y 21 m. a. de la roca madre del Tithoniano. Los polígonos marcan el área de estudio en la que se centra el presente trabajo. Atlas Papaloapan B (2004).

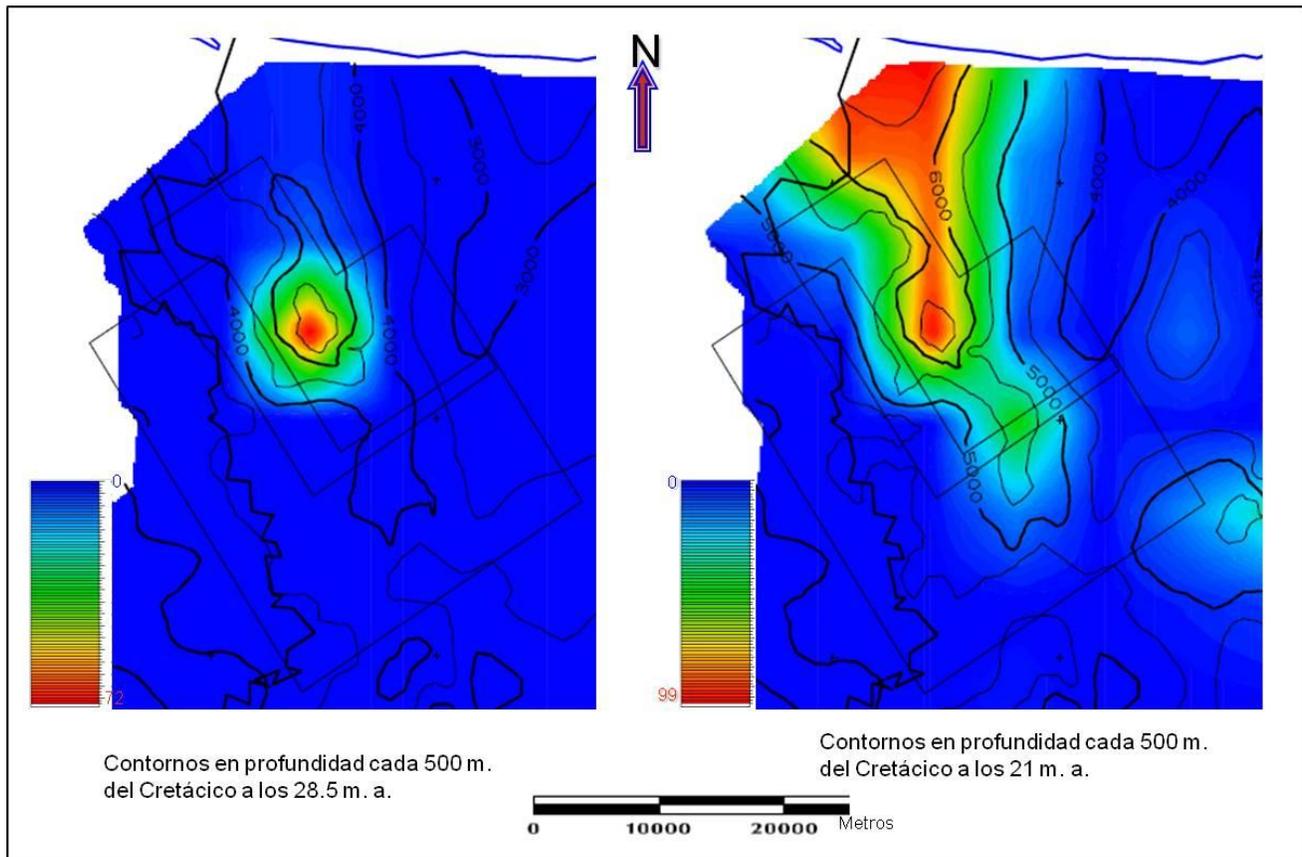


Figura 48.- Mapas de relación de transformación (RT%) del Kerógeno tipo II para las roca madre del Cretácico, a los 28.5 m. a. y 21 m. a. La escala de colores marca el porcentaje de esta relación. Atlas Papaloapan B (2004).

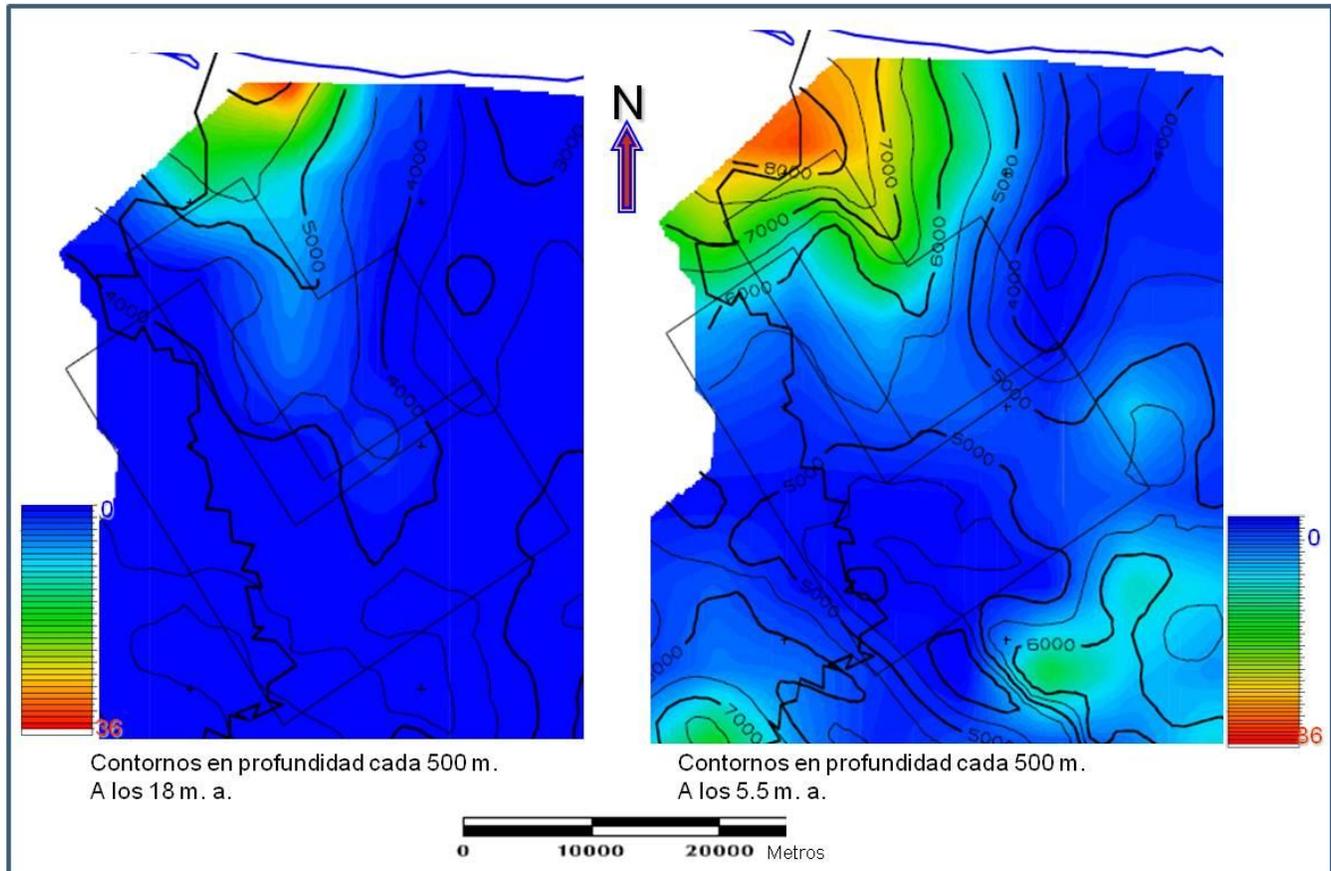


Figura 49.- Mapas de relación de transformación (RT%) del Kerógeno tipo III, para la roca madre del Eoceno a los 18 m. a. y 5.5 m. a. Atlas Papaloapan B (2004).

Para el análisis del subsistema generador del Eoceno, se tiene el aporte del pozo Ixhuapán–1A y algunos de la zona de Novillero. De pozos que se ubican al sur del área de estudio, se detecta el kerógeno del tipo II y, se extiende de la zona central al oriente, y a partir de esta, hacia el occidente, abarcando hasta Novillero, se define el kerógeno tipo III (ver Figura 51); lo que muestra que las condiciones paleogeográficas controlaron la distribución de la materia orgánica, así como la influencia de los aportes continentales de siliciclásticos (Proyecto Papaloapan B, 2004).



Figura 50.- Distribución del tipo de kerógeno para el Jurásico Superior (Tithoniano). Obtenido por extrapolación de pozos y roca aflorante al sur y sureste del área de estudio (Proyecto Papaloapan B, 2004).

Por otro lado, se plantea que las fallas de corrimiento y de transcurrancia profundas (Atlas Papaloapan B, 2004), sirven de vías de migración para el gas termogénico. Las chapopoterías y abundantes manifestaciones de gas durante la perforación, indican que actualmente se continúan generando hidrocarburos. Las manifestaciones pueden ser el efecto de la generación, pero también de la migración. El Jurásico y el Cretácico de donde proviene el aceite y las chapopoterías, están sobremaduros, por lo que, pueden generar un poco de gas. Es decir, que ya no hay generación sino solo migración. El T puede estar generando solo gas.

De los resultados de los pozos perforados recientemente Macuile-DL1, con prueba de producción en el intervalo 1756 – 1757 md, aporta gas con un gasto de 2.3 MMPCD, presión de 6664 psi (libras por pulgada cuadrada), con un estrangulador de 16/64" que en pruebas de producción en días posteriores aportó agua salada de 27,000 ppm; y también del pozo



Macuile-DL2, se tiene el siguiente análisis: Para el primer pozo con objetivo al Plioceno Inferior a una trampa combinada (estructural y estratigráfica), en el intervalo 1969 – 1701 md, alrededor de los 1800 m verticales con respecto a la mesa rotaria; del análisis cromatográfico se obtuvo la siguiente composición (%MOL) para las sustancias: Metano (CH_4) 97.3566; Etano (C_2H_6) 0.3203; Propano (C_3H_8) 0.1356; iso-butano ($i\text{-C}_4\text{H}_{10}$) 0.0196; N-Butano (butano normal, $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$) 0.0167; I-Pentano (iso-pentano, $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$) 0.0094; N-Pentano (pentano normal, $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$) 0.0106; Exano⁺ (C_6^+) 0.1451; Nitrógeno 1.18048; Co_2 0.1211; entre todas éstas se suma el 100 % de la composición del hidrocarburo, con una densidad de 0.5708 g/c^3 y peso molecular de 16.53 g/mol . Para el segundo pozo, con objetivo también al Plioceno Inferior y con el mismo tipo de trampa que resultó invadido de agua salada, determinado por registro, se tiene el siguiente reporte de petrografía orgánica (en metros desviados): de 845 -1050 se reporta materia orgánica impregnada de hidrocarburos; de 1140 – 1150 se reporta materia bituminosa impregnada de hidrocarburos, de 1245 -1250 y de 1645-1650 se repite la materia orgánica impregnada de hidrocarburos, de 1745-1750 y de 1845-1850, aparece de nuevo materia bituminosa impregnada de hidrocarburos y por último, de 1925 – 1930 termina con materia orgánica impregnada de hidrocarburos.

Con respecto al pozo Macuile-4, se tiene la prueba 1 de producción (mayo de 1974) con una presión de 112 kg/cm^2 con un gasto de 2.5 MMPCD a $\frac{1}{4}$ " y en marzo de 1998 prácticamente se mantiene la presión a 111 kg/cm^2 con un gasto de 1.7 MMPCD, ambas para el intervalo 1539 – 1542 perteneciente al Plioceno Inferior, de donde se establece este pozo como **productor de gas y condensado**; en la prueba 2, en el intervalo 1501 – 1505, fluye gas con una presión de 60 kg/cm^2 por $\frac{1}{4}$ " (informes finales inéditos de pozo Macuile-4). En el resultado del análisis cromatográfico de este pozo se tiene reportado (informe final, inédito, julio 1977) una composición (%MOL) de Metano con 96.26, Etano 2.41, Propano 0.86, Iso – Butano 0.07, Butano normal 0.12, Iso – Pentano 0.06, Pentano normal 0.08, Exanos y más pesados 0.14. Esta sustancia compuesta tiene un peso molecular de 16.897, una densidad relativa determinada de 0.5992 y un poder calorífico total de 9387.2 Kcal/m^3 en comparación con un poder calorífico neto de 8462.51 Kcal/m^3 .

Con esta información antecedente se determina que existe roca generadora, aunque no se conoce con certeza la edad de ésta; sin embargo se considera que el gas encontrado al

menos en el pozo Macuile DL-1, es de tipo termogénico (informe final de pozo, que debe ser similar para el Macuile -4); aunque no se descarta la posibilidad de encontrar gas de tipo biogénico, con base en la materia orgánica y el bitumen encontrados en el pozo Macuile – DL2.

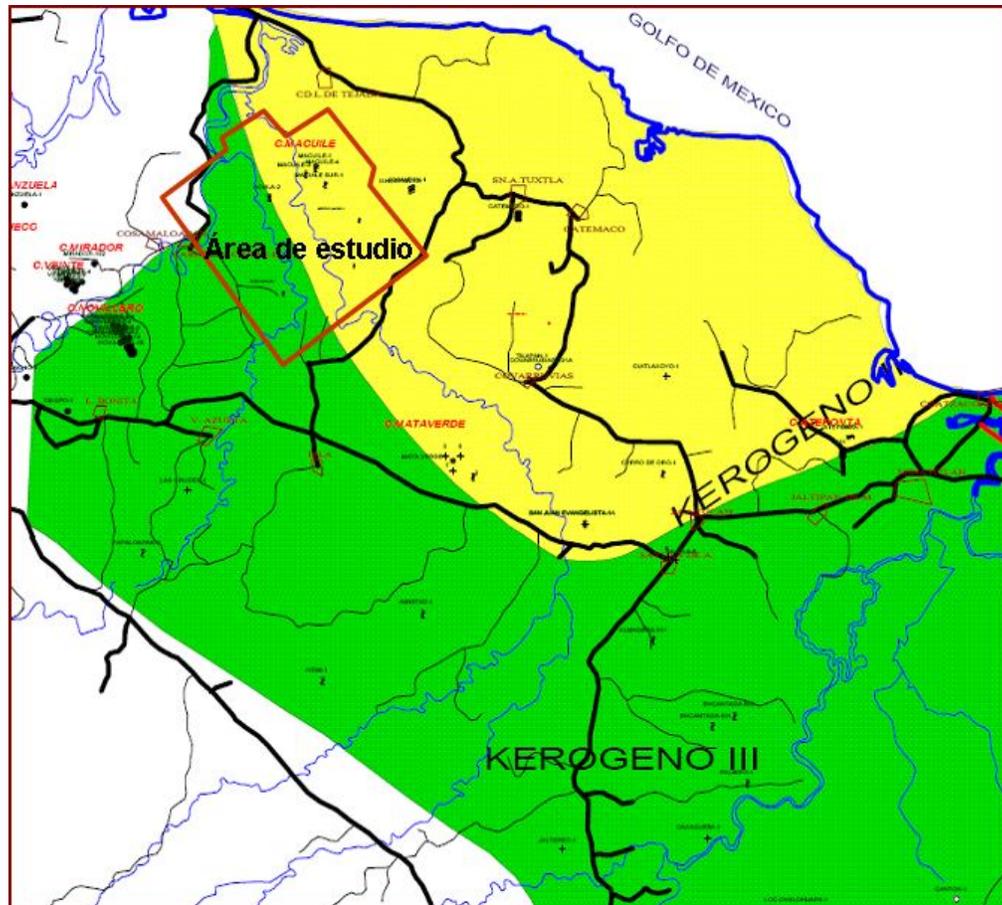


Figura 51.- Mapa Distribución y tipo de kerógeno para el Eoceno (Proyecto Papaloapan B, 2004).



5.1. Evaluación de la calidad de los elementos del sistema petrolero

De acuerdo al análisis post-perforación del pozos Macuile-DL1, se define lo siguiente: con respecto a la trampa, las condiciones en contra son, que se registran movimientos tectónicos recientes que afectan sus propiedades petrofísicas, éstos se reflejan en fallamiento normal en el lado occidental del mencionado pozo, debido a que el sello superior puede afectarse, lo cual reduce su calidad; así como la del sello lateral posterior a la conformación de la trampa, y de fallamiento inverso para el Mioceno. Sobre la roca generadora, a favor se tienen pruebas de producción positiva y en contra, lo que se menciona en el párrafo anterior, agregando que no hay una calibración efectiva. En lo que respecta a la roca almacén, existe la presencia de ésta en varios de los pozos del área de estudio. Del sistema poroso, se considera bueno, de acuerdo a registro y núcleos (alrededor del 30% para el Plioceno Inferior, informe final Macuile- DL1, Macuile-DL2; y de cerca del 24 % para el Mioceno Medio, informe final Macuile - 4). Acerca de la sincronía y migración se considera buena; ya que se han encontrado acumulaciones de hidrocarburos. Para las rutas de migración es favorable el sistema de fallas inversas interpretadas por Martínez (2012); para la preservación, se interpreta que en la cresta del anticlinal en donde se encuentra el Macuile – DL1, este afectó la preservación de la trampa con la consecuente fuga de hidrocarburos.

En este trabajo se destaca que la mayoría de los pozos perforados en esta área han sido perforados con objetivos hacia trampas más de predominio estructural que estratigráfico. De acuerdo con esto y con lo escrito en el capítulo anterior, además del estudio estructural de Martínez (2012) se determina que la mayoría de los pozos se ubican en las crestas de las estructuras (a excepción del Macuile-3), y si los objetivos se encuentran entre el Mioceno Medio - Mioceno Inferior, éstos encuentran a los estratos de la primera edad en condiciones desfavorables, ya que se plantea que la discordancia del Mioceno Medio es una evidencia de la erosión de un gran porcentaje de estratos de esta edad; lo que sugiere posible exposición sub - marina, y que aunque los estratos del Plioceno cubren a la roca almacén, es posible que la mayor parte de ésta fue rápidamente erosionada, al menos dentro del área de estudio.



Las trampas estructurales, que posiblemente se encuentren en el Mioceno Inferior es factible explorarlas, pero se deben tomar en cuenta los efectos antes mencionados, además se deben introducir los resultados del análisis bioestratigráfico para dar mejor soporte espacio-temporal.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- Conclusiones

Al seguir la metodología mostrada en el capítulo 1.3 del desarrollo del presente estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. La utilización de la bioestratigrafía como herramienta básica para identificar los límites de secuencias genéticas y sobre todo el empleo de bioestratigrafía de alta resolución, permiten identificar los candidatos a superficies de máxima inundación; los cambios batimétricos a lo largo del tiempo geológico; identificar edades absolutas por correlación con tablas de ciclos mundiales (Haq, 1997); e identificar hiatus en la columna geológica.
2. El ajuste de la información bioestratigráfica con los registros geofísicos, principalmente SP y GR, así como los resistivos, permitió marcar límites de secuencia y correlacionarlos en 4 secciones a lo largo del área de estudio; la ventaja de utilizar estos y no cimbras paleontológicas, es que se toman en cuenta las cimbras deprimidas de los fósiles índice por cambios ambientales, las cuales, muchas veces son su primera aparición en el sentido de la perforación y no una real extinción de la especie.
3. Con la metodología particular expuesta y principalmente siguiendo los criterios de Galloway (1989), se lograron identificar y mapear 5 superficies de máxima inundación. Con esto fue posible bosquejar los patrones de registros para la identificación de los sistemas depositacionales principales por secuencia, desde el Mioceno Inferior al Plioceno Medio.
4. Con los límites de secuencia y los patrones de depósito identificados se generaron secciones geológicas mostrando las facies depositacionales principales en cada una de



las secuencias, para tratar de identificar los aportes principales y su probable dirección por medio de mapas paleoambientales.

5. Con la metodología planteada, fue factible determinar probables zonas de interés, por lo menos, a nivel de roca almacén, ya que la bioestratigrafía de secuencias es una herramienta valiosa, que provee un buen marco cronoestratigráfico, que facilita la interpretación sísmica para las siguientes etapas dentro de la evaluación de un play y en la búsqueda de nuevas localizaciones exploratorias.

6. Existe una alta probabilidad de explorar con éxito los depósitos arenosos de talud del Mioceno Superior como los productores del pozo Macuile-4 y del Plioceno Inferior, donde se observan lentes arenosos dentro de grandes espesores de arcillas que funcionan como sellos estratigráficos. Estos depósitos los encontramos en facies que varían de posibles ambientes de frente deltaico a borde de plataforma en el Plioceno inferior a depósitos turbidíticos en el talud para el Mioceno inferior, aunque su restringido espesor y distribución dificulta su localización.

7. La contribución de la estratigrafía de secuencias es un paso esencial para dar un marco cronoestratigráfico y un modelo sedimentológico en el que los intérpretes sísmicos basaran su trabajo para darle un sentido geológico a sus interpretaciones.



6.2.- Recomendaciones

1. Que en los próximos pozos se adquiriera, desde la boca del pozo hasta la profundidad total, registros geofísicos de buena calidad que son necesarios para un análisis petrofísico óptimo.
2. Se requieren análisis bioestratigráficos de alta resolución en todos los pozos exploratorios, que cuenten con muestras para un mejor control de batimetrías y la identificación de superficies de máxima inundación, como horizontes índice en toda el área de estudio.
3. Es necesario profundizar en el análisis del comportamiento de la roca sello y de la sincronía y migración de hidrocarburos, para apoyar posibles intervalos atractivos en la exploración de las secuencias del Mioceno Inferior y Medio.
4. Es necesario un análisis de núcleos para poder realizar una mejor interpretación sedimentológica que apoye a la interpretación realizada en este trabajo.
5. Para obtener un nivel de interpretación necesaria para la generación de localizaciones exploratorias es necesaria la inclusión de la interpretación sísmica 3D que es un paso esencial en la búsqueda de nuevos yacimientos.

7. Anexos

Columnas biocronoestratigráficas

Tabla 5.

Arroyo largo-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (5-445m)
555 m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico int. (445-555m) Nerítico medio (555-595m)
865 m	Plioceno Medio	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	2.8 ma	Nerítico int. (595-885m) Nerítico medio (885-985m)
1025 m	Plioceno Temprano	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	3.58 ma	Batial sup. (1005-1230m) Batial medio (1230-1275m)
1315 m	Mioceno Tardío	<i>Globoquadrina altispira globosa</i>	6.0 ma	Batial sup. (1275-1335m)
1475 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia juanai</i>	6.0 ma	Batial medio (1335-1845m)
1595 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi lobata</i>	12.5 ma	
1925 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi fohsi</i>	12.5 ma	Batial sup. (1845-2055m) Sin fauna (2075m) Nerítico ext-med? (2090m)
2135 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i>	14.6 ma	Batial medio (2155-2255m)
2215 m	Mioceno Temprano	<i>Globigerinoides bisphericus</i>	16.4 ma	Nerítico ext-med (2255-2555m) Batial med. (2555-2695m) Sin fauna (2695-2825m)
2920 m	Mioceno Temprano	<i>Praeorbulina sicana</i>	16.4 ma	Batial medio (2825-2990m)

Tabla 6

Caldera-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (80-410m)
515m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico int. (410-860m)
985 m	Plioceno Medio	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	2.8 ma	Nerítico ext. (860-1240m)
1240 m	Plioceno Temprano	<i>Globorotalia margaritae</i>	3.58 ma	Batial sup-med (1240-1560m)
1540 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Batial med-inf (1540-1880m)
1830 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	12.5 ma	

Tabla 7.

Hatillo-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (11-285m)
285 m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico int. (285-380m)
420 m	Plioceno Medio	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	2.8 ma	Nerítico medio (380-440m)
480 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerinoides obliquus obliquus</i>	3.58 ma	Nerítico ext. (440-605m)
540 m	Plioceno Temprano	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	3.58 ma	
720 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Batial sup. (605-840m)
950 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotaloides variabilis</i>	5.32 ma	Batial medio (840-1050m)
955 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia mayeri</i>	11.4 ma	
1020 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	12.5 ma	
1025 m	Mioceno Temprano	<i>Praeorbulina glomerosa glomerosa</i> , <i>Praeorbulina transitoria</i>	14.8 ma	Nerítico ext. (1050-1175m) Batial medio (1175-1185m) Nerítico ext. (1185-1200m) Batial medio (1200-1440m)
1540 m	Mioceno Temprano	<i>Praeorbulina sicana</i>	16.4 ma	
2040 m	Mioceno Temprano	<i>Catapsidrax dissimilis</i>	17.3 ma	Variaciones frecuentes de batial medio a nerítico externo con muestras con muy escasa fauna. (1440-2200m)

Tabla 8.

Ixhuapan-1A				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (35-215m)
295 m	Plioceno Medio	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	2.8 ma	Nerítico interno (215-395m)
375 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerinoides obliquus obliquus</i>	3.58 ma	Nerítico medio (395-675m)
715 m	Plioceno Temprano	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	3.58 ma	Nerítico externo (675-875m)
835 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia altispira globosa</i>	6.0 ma	
875 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia juanai</i>	6.0 ma	Batial superior (875-1080m)
1035 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi lobata</i>	12.5 ma	
1425 m	Mioceno temprano	<i>Globigerinoides bisphericus</i>	16.4 ma	Batial medio (1080-1465m) Nerítico ext. (1485-1525m) Prob. Batial (1525-1685m) Batial sup. (1685-1750m) ¿Batial? Con poca o nula fauna. (1750-2235m)
2235 m	Mioceno Temprano	<i>Catapsidrax dissimilis</i>	17.3 ma	Conjuntos fósiles muy variados. (2235-3000m)
3000 m	Oligoceno Tardío	<i>Globigerina ciperoensis officinalis</i>	25 ma	Nerítico ext.-Batial. Muestras con escasa fauna (3000-3460m)
3460 m	Oligoceno Medio	<i>Globorotalia opima opima</i>	27.1 ma	Nerítico ext. (3460-3600m)



4140 m	Oligoceno Temprano	<u><i>Globigerina ampliapertura</i></u>	32 ma	
4275 m	Eoceno Tardío	<u><i>Turborotalia cerroazulensis cocoaensis</i></u>	33.7 ma	¿Batial? (3600-4275m)

Tabla 9.

Loma Bonita-2				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
80 m	Plioceno Medio	<u><i>Globigerinoides obliquus extremus</i></u>	2.6 ma	indeterminada
335 m	Plioceno Temprano	<u><i>Globorotalia margaritae margaritae</i></u>	3.58 ma	indeterminada
560 m	Plioceno Temprano	<u><i>Globigerina nepenthes</i></u>	3.7 ma	Batial sup.(500-600m)
700 m	Mioceno Tardío	<u><i>Sphaeroidinellopsis disjuncta</i></u>	5.32 ma	Batial medio (600-1220m)
813.6-816m N-1	Mioceno Tardío	<u><i>Globorotaloides variabilis</i></u>	5.32 ma	
1060 m	Mioceno Medio	<u><i>Globorotalia fohsi</i> s. l.</u>	11.9 ma	¿Nerítico? (1220-2967m)
1699-1701m N-3	Mioceno Temprano	<u><i>Praeorbulina transitoria</i></u>	14.8 ma	Batial
1739-42m N-4	Mioceno Temprano	<u><i>Catapsidrax stainforthi</i></u> <u><i>Globigerina ciperoensis angustiumbilitata</i></u>	17.3 ma	Batial
1912-17m N-7	Oligoceno Medio	<u><i>Globorotalia opima opima</i></u>	27.1 ma	Batial medio
1969-71m N-8	Eoceno Tardío	<u><i>Turborotalia cerroazulensis</i></u>	33.7 ma	¿Batial?
2142-45m N-10	Eoceno Tardío basal	<u><i>Globigerinatheka semiinvoluta</i></u>	39 ma	¿Batial?
2720 m	Prob. Eoceno Medio	<u><i>Truncorotaloides rohri</i></u>	39.8 ma	

Tabla 10.

Macuile-3				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
1750 m	Plioceno Temprano	<u><i>Globigerina nepenthes</i></u>	3.7 ma	Batial medio
1800 m	Mioceno Medio	<u><i>Globorotalia mayeri</i></u>	11.4 ma	Batial medio
2670 m	Mioceno Medio	<u><i>Globorotalia fohsi lobata</i></u>	12.5 ma	Batial medio

Tabla 11.

Macuile-4				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (100-645m)
620 m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico interno (645-820m) Nerítico externo (820-920m)
1000 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Batial sup. (920-960m) Nerítico ext. (960-1185m) Batial sup-med (1185-1540m)
1690 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia juanai</i>	6.0 ma	Batial medio (1540-1710m)
1710 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	12.5 ma	
1727-1734m N-2	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i>	14.6 ma	Prob. Nerítico
1960-1964m N-3				Batial inferior
2200 m	Mioceno Temprano	<i>Catapsidrax stainforthi</i>	17.3 ma	Batial inferior

Tabla 12.

Macuile Sur-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (0-510m)
510 m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico int. (510-1120m)
650 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerinoides obliquus obliquus</i>	3.58 ma	Nerítico med-ext. (1120-1260m)
1610 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Batial sup. (1260-1880m)
1850 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia juanai</i>	6.0 ma	
1970 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	12.5 ma	Batial med (1880-2080m)
2080 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i>	14.6 ma	

Tabla 13.

Morillo-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (130-450m)
570 m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico interno (480-570m) Fauna escasa (580-630m)
725 m	Plioceno Medio	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	2.8 ma	Batial sup-nerítico int (630-1020m)
1040 m	Plioceno Temprano	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	3.58 ma	Batial sup-med (1040-1150m)
1280 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia juanai</i>	6.0 ma	Batial sup. (1200-1240m) Batial sup-Nerítico ext (1280-2100m)
1380 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi lobata</i>	12.5 ma	
1405 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i>	14.6 ma	
1540 m	Mioceno Temprano	<i>Globigerinoides bisphericus</i>		
2040 m	Mioceno Temprano	<i>Catapsidrax dissimilis</i>		Batial medio (2170-2275m) Batial medio-Nerítico (2300-3055m)

Tabla 14.

Najucal-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (0-280m)
290 m.	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico int. (280-360m)
400 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerinoides obliquus obliquus</i>	3.58 ma	Nerítico med. (360-420m)
1020 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Batial sup. (1020m)
1435 m	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia juanai</i>	6.0 ma	Batial inf. (1435-2405m)
1880 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi</i> s. l.	11.9 ma	
2405 m	Mioceno Temprano	<i>Praeorbulina sicana</i>	16.40 ma	
2590-2670m	Eoceno Tardío	<i>Turborotalia cerroazulensis</i> <i>cerroazulensis</i>	33.7 ma	

Tabla 15.

Novillero-1 (12)				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleoambiente
300m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico interno
450 m	Plioceno Inferior	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	3.58 ma	Nerítico medio
1550 m	Mioceno Superior	<i>Discoaster berggrenii</i> , <i>Discoaster quinqueramus</i>	5.2 ma (carta de ciclos de Haq)	Batial superior
2860 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i>	14.6 ma	Batial medio
3430 m	Mioceno Inferior	<i>Globigerinoides bisphericus</i>	16.4 ma	
3885 m	Oligoceno medio	<i>Globigerina ampliapertura</i>	32 ma	
3980 m	Eoceno Superior	<i>Turborotalia cerroazulensis</i>	33.7	Batial medio

Tabla 16.

Tesechoacan-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (0-165m)
				Nerítico interno (165-310m)
310 m	Plioceno Medio	<i>Globigerinoides obliquus extremus</i>	2.6 ma	Nerítico med. (310-510m) Nerítico ext. (510-760m)
840 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Batial sup (760-930m)
990 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	12.5 ma	Batial inf (930m)
1500 m	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi fohsi</i>	14.6 ma	
2200 m	Mioceno Temprano	<i>Catapsidrax dissimilis</i>	17.3 ma	



Tabla 17.

Tlacotalpan-1				
Profundidad	Edad	Fósil índice	Edad absoluta	Paleobatimetría
				Transicional (0-420m)
690 m	Plioceno Medio	<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i>	2.8 ma	Nerítico int. (420-710m) Nerítico med. (710-870m)
870 m	Plioceno Temprano	<i>Globorotalia margaritae margaritae</i>	3.58 ma	Nerítico externo (870-1410m)
1740 m	Plioceno Temprano	<i>Globigerina nepenthes</i>	3.7 ma	Batial sup. (1410-2065m)
1850	Mioceno Tardío	X correlación sísmica		
2065	Mioceno Medio-Temprano	<i>Globorotalia foysi peripheroronda</i>	14.6 ma	Batial inf. (2065m)
2100	Mioceno Temprano	<i>Globigerinoides bisphericus</i>	16.4 ma	

3. Litología

Acula-2

Profundidad	Litología
0 – 50 m.	Material de acarreo
50 – 169 m.	Lutita arenosa gris verdosa, suave, ligeramente bentonítica, arenisca gris verdosa semicompacta.
169 – 240 m.	Lutita gris a gris verdosa, bentonítica y suave, restos de moluscos, granos de cuarzo.
240 – 320 m.	Lutita gris verdosa suave, arenisca gris semicompacta, restos de moluscos.
320 – 478 m.	Lutita gris a gris verdosa suave, ligeramente bentonítica, restos de moluscos.
580 – 600 m.	Lutita gris verdosa arenosa.
600 – 660 m.	Lutita gris verdosa en parte arenosa, moluscos.
660 – 720 m.	Lutita gris verdosa arenosa, moluscos.
720 – 780 m.	Lutita gris verdosa arenosa, moluscos.
780 – 815 m.	Lutita gris verdosa arenosa.
815 – 860 m.	Lutita gris a gris verdosa parcialmente arenosa, trazas de bentonita, moluscos.
860 – 895 m.	Lutita gris a gris verdosa parcialmente arenosa, trazas de bentonita, moluscos.
895 – 1003 m.	Lutita arenosa gris verdosa, trazas de arenisca grano fino mal cementada.
1003 – 1090 m.	Lutita arenosa gris verdosa en parte bentonítica, arenisca gris fina.
1090 – 1180 m.	Lutita gris a gris verdosa parcialmente arenosa.
1180 – 1260 m.	Lutita gris verdosa bentonítica.
1260 – 1360 m.	Lutita gris verdosa plástica, bentonítica y suave.
1360 – 1480 m.	Lutita gris claro a gris verdoso suave, trazas de Lutita arenosa.
1480 – 1500 m.	Lutita gris a gris verdosa, bentonítica y ligeramente arenosa.
1500 – 1640 m.	Lutita gris bentonítica, en partes ligeramente arenosa.
1640 – 1700 m.	Lutita gris verdosa arenosa en partes bentonítica, trazas de arenisca gris.
1700 – 1760 m.	Lutita gris verdosa arenosa pobremente cementada.
1760 – 1780 m.	Lutita gris verdosa arenosa suave, 15% de arenisca gris fina pobremente cementada.
1780 – 1840 m.	Lutita gris verdosa arenosa suave, bentonítica, trazas de arenisca gris de grano fino ligeramente calcárea.
1840 – 1866 m.	Lutita arenosa gris verdosa suave, parcialmente bentonítica.
1866 – 1900 m.	Lutita gris verdosa arenosa suave, 25% de arenisca gris de grano fino pobremente cementada, con aislados restos de fósiles.
1900 – 1980 m.	Lutita arenosa gris verdosa en parte bentonítica, 10% de arenisca gris de grano fino pobremente cementada.
1980 – 2005 m.	Lutita gris verdosa arenosa suave, 5% de arenisca gris de grano fino.
2005 – 2014 m.	N-1 Lutita gris a gris verdosa arenosa y suave, con abundantes fósiles.
2014 – 2060 m.	Lutita gris verdosa arenosa suave, en parte bentonítica, 15% de arenisca gris de grano fino pobremente cementada.
2060 – 2120 m.	Lutita gris verdosa parcialmente arenosa, 15% de arenisca gris de grano fino mal cementada, fósiles.
2120 – 2160 m.	Lutita gris verdosa bentonítica en parte arenosa, trazas de arenisca grano fino.
2160 – 2175 m.	Arenisca gris de grano fino a medio pobremente cementada, 15% de Lutita gris verdosa arenosa suave.
2175 – 2220 m.	Sin muestras.
2220 – 2245 m.	Lutita gris claro a gris verdoso, parcialmente bentonítica, 25% de arenisca gris de grano fino a medio mal cementada.
2245 – 2310 m.	Lutita gris claro a gris verdoso parcialmente arenosa, trazas de bentonita.
2310 – 2339 m.	Sin muestras.
2339 – 2369 m.	Arenisca calcárea gris de grano fino compacta, Lutita gris suave parcialmente bentonítica.

2369 – 2400 m.	Lutita gris verdosa arenosa y suave en parte bentonítica, arenisca.
2400 – 2440 m.	Lutita gris verdosa arenosa y suave, escasa arenisca de grano medio pobremente cementada, trazas de bentonita.
2440 – 2560 m.	Sin muestras.
2560 – 2580 m.	Lutita gris verdosa.
2580 – 2594 m.	Lutita gris verdosa, 20% de conglomerados constituidos por fragmentos de wackestone crema de bioclastos, arenisca de grano grueso.
2594 – 2650 m.	Lutita gris verdosa, 10% de conglomerados constituidos por fragmentos de wackestone crema de bioclastos, arenisca de grano medio y mudstone gris verdoso.
2650 – 2685 m.	Lutita gris verdosa.
2685 – 2730 m.	Conglomerados constituidos por fragmentos de wackestone café claro de bioclastos, arenisca de grano medio, mudstone gris verdoso, 20% de Lutita gris verdosa.
2730 – 2760 m.	Conglomerado constituido por fragmentos de wackestone crema de intraclastos.
2760 – 2820 m.	Conglomerado constituido por fragmentos de roca ígnea, escasa lutita.
2820 – 2880 m.	Arena de grano fino a medio de cuarzo blanco, 10% de conglomerado descrito.
2880 – 2940 m.	Arena de grano fino de cuarzo blanco, 20% de conglomerado descrito.
2940 – 3030 m.	Conglomerado.
3030 – 2942 m.	Lutita gris verdosa, 40% de conglomerado.

Arroyo Largo-1

Profundidad	Litología
0 – 110 m.	Gravas constituidas por granos de cuarzo blanco, roca ígnea verde y oscura, ceniza volcánica.
110 – 150 m.	Arenisca gris oscuro de grano fino a medio de cuarzo y roca ígnea, pirita.
150 – 300 m.	Gravilla de cuarzo y roca ígnea, restos de conchas, escasa Lutita gris.
310 – 350 m.	Arena de grano medio a grueso, Lutita gris claro.
350 – 450 m.	Arena de grano medio a grueso, conchas, pirita.
450 – 500 m.	Lutita gris arenosa, arenas de grano medio a grueso, abundantes moluscos.
500 – 1040 m.	Lutita gris arenosa, arena de grano medio a grueso, moluscos.
1040 – 1110 m.	Lutita gris arenosa, arena de grano medio a grueso, moluscos, material carbonoso, trazas de pirita.
1110 – 1180 m.	Lutita gris verdosa, bentonita, moluscos, arena de grano fino, pirita.
1180 – 1310 m.	Lutita gris ligeramente arenosa, pirita.
1310 – 1355 m.	Lutita gris, arena de grano fino a medio, abundantes moluscos, pirita.
1355 – 1365 m.	Sin muestras
1365 – 1540 m.	Lutita gris claro a gris verdoso arenosa.
1540 – 1975 m.	Lutita gris verdosa a gris arenosa.
1975 – 2030 m.	Sin muestras
2030 – 2050 m.	Lutita gris y gris verdosa ligeramente arenosa, arenisca grano fino.
2050 – 2060 m.	Conglomerado, abundante pirita.
2060 – 2080 m.	Roca ígnea negra piritizada, bentonita azul piritizada, 10% de conglomerado.
2080 – 2110 m.	Toba volcánica gris oscuro.
2110 – 2270 m.	Lutita gris claro, 10% conglomerados, arenisca.
2270 – 2300 m.	Conglomerado
2300 – 2520 m.	Arenisca gris con impregnación de aceite, lutita gris claro a gris verdoso.
2520 – 2550 m.	Lutita bentonítica gris verdoso, arenisca.
2550 – 2655 m.	Sin muestras.
2655 – 2730 m.	Arenisca conglomerática de grano medio a grueso cementada en matriz arcillo-calcárea, Lutita gris verdosa.

Caldera-1

Sin información disponible

Hatillo-1

Profundidad	Litología
150 – 500 m.	Arenisca gris fina a media mal cementada, trazas de Lutita gris claro deleznable y escasos restos de moluscos. Arenisca gris de grano fino mal cementada y trazas de lutita gris.
500 – 560 m.	Arenisca gris claro a gris verdoso de grano fino compacta, trazas de Lutita gris verdoso arenosa, ligeramente calcárea, aislados fragmentos de moluscos.
560 – 750 m.	Lutita gris verdosa, arenosa, suave ligeramente calcárea, escasa arenisca gris claro fina.
750 – 850 m.	Lutita gris verdosa arenosa, suave, ligeramente calcárea, trazas de arenisca gris de grano fino.
850 – 1160 m.	Lutita gris verdosa arenosa, en partes bentonítica, trazas de arenisca gris de grano fino.
1160 – 1250 m.	Lutita gris y gris verdoso, ligeramente calcárea en partes arenosa suave, escasa arenisca gris de grano fino a medio cementada.
1250 – 1340 m.	Arenisca gris claro de grano fino a medio mal cementada, escasa Lutita gris verdosa ligeramente calcárea.
1340 – 1355 m.	Arenisca gris oscuro de grano medio mal cementada, fragmentos de cuarzo blanco, trazas de Lutita gris claro.
1355 – 1388 m.	Conglomerados de fragmentos de arenisca gris oscuro fino a medio, mudstone crema, marga gris claro, cuarzo blanco y trazas de lutita gris claro.
1388 – 1517 m.	Conglomerados de fragmentos de arenisca gris claro a gris oscuro fino a medio bien cementado, mudstone crema y gris verdoso y cuarzo blanco, escasa lutita gris verdosa ligeramente calcárea.
1517 – 1530 m.	Conglomerados de fragmentos de arenisca gris oscuro fino a medio bien cementada, cuarzo blanco y fragmentos de mudstone-wackestone crema.
1530 – 1600 m.	Conglomerados de fragmentos de arenisca gris de grano medio bien cementada, grano de cuarzo blanco y escasa pirita, 40% de lutita gris verdosa, plástica y deleznable.
1600 – 1660 m.	Conglomerados de fragmentos de arenisca gris de grano medio bien cementado, granos de cuarzo con abundante pirita. 20% de lutita gris arenosa deleznable.
1660 – 1712 m.	Arenisca gris oscuro de grano fino bien cementado, cuarzo blanco, escaso mudstone crema y trazas de Lutita gris.

Ixhuapan-1A

Profundidad	Litología
30 – 80 m	Arenisca gris de grano medio a grueso mal cementada, cuarzo blanco, material tobáceo gris verdoso y amarillo ocre.
80 - 150 m	Arenisca gris grano medio mal cementado, escasa arenisca gris oscuro grano medio bien cementado con aislados restos de moluscos.
150 – 260 m	Arenisca gris de grano fino a medio, mal cementada, trazas de lutita gris claro, deleznable y escasos restos de moluscos.
260 – 320 m	Arenisca gris de grano fino a medio, mal cementada, trazas de lutita gris claro, deleznable y escasos restos de moluscos.
320 – 390 m	Arenisca gris de grano fino a medio, mal cementado, trazas de lutita gris claro, deleznable y escasos restos de moluscos.
500 – 560 m	Arenisca gris claro y gris verdoso, de grano fino, compacta, trazas de lutita gris verdoso, arenosa, ligeramente calcárea, aislados fragmentos de moluscos.
560 – 640 m	Lutita gris verdoso, arenosa, suave, ligeramente calcárea, escasa arenisca gris claro de grano fino.
640 – 750 m	Lutita gris verdoso, arenosa, suave, ligeramente calcárea. Escasa arenisca gris claro de grano fino.
750 – 850 m	Lutita gris verdoso, arenosa, suave, ligeramente calcárea. Trazas de arenisca gris de grano fino.
850 – 1000 m	Lutita gris verdoso, arenosa, suave, en partes bentonítica. Traza de arenisca gris fina.
1000 – 1105 m	Lutita gris verdoso, arenosa, en partes bentonítica, traza de arenisca gris fina.
1105 – 1160 m	Lutita gris verdoso, arenosa, en partes bentonítica, traza de arenisca gris grano fino.
1160 – 1250 m	Lutita gris y gris verdoso, ligeramente calcárea, en partes arenosa, suave, escasa arenisca gris de grano fino a medio, mal cementada.
1250 – 1340 m	Arenisca gris claro, de grano fino a medio, mal cementada. Escasa lutita gris y gris verdoso, ligeramente calcárea.
1340 – 1355 m	Arenisca gris oscuro de grano medio, mal cementada con fragmentos de cuarzo blanco y trazas de lutita gris claro.
1355 – 1388 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris oscuro de grano fino a medio, mudstone crema, marga gris claro, cuarzo blanco y trazas de lutita gris claro.
1388 – 1415 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano fino a medio, compacta, mudstone gris verdoso y cuarzo blanco, trazas de lutita gris verdoso.
1415 – 1460 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano fino a medio bien cementado, mudstone gris verdoso y cuarzo blanco. Trazas de lutita gris verdoso ligeramente calcáreo.
1460 – 1485 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano fino a medio bien cementado, mudstone crema y gris verdoso, cuarzo blanco. Escasa lutita gris verdoso, plástica, ligeramente calcárea.
1485 – 1517 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano fino a medio bien cementado, mudstone crema y gris verdoso, cuarzo blanco. Escasa lutita gris verdoso, plástica, ligeramente calcárea.
1517 – 1530 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris y gris oscuro de grano fino a medio bien cementado, granos de cuarzo blanco y fragmentos de mudstone crema y trazas de lutita gris.
1530 – 1600 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris de grano medio bien cementado, granos de cuarzo, abundante pirita y 40% de lutita gris verdosa, plástica, deleznable.
1600 – 1660 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris de grano medio bien cementado, granos de cuarzo blanco, abundante pirita y 20% de lutita gris, arenosa, deleznable.
1660 – 1712 m	Arenisca gris oscuro de grano fino bien cementada, cuarzo blanco, escaso mudstone crema y trazas de lutita gris.
1712 -1795 m	Arenisca gris de grano medio regularmente cementada, escasa lutita arenosa y trazas de de bentonita gris y verde.



1795 – 2075 m	Arenisca gris de grano medio a conglomerática bien cementada, y escasa bentonita gris y verde.
2075 – 2120 m	Arenisca gris de grano fino bien cementada, 10% de lutita gris arenosa y trazas de roca ígnea negra.
2120 – 2130 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris oscuro de grano medio bien cementada, lutita arenosa gris oscuro, granos de cuarzo blanco y trazas de bentonita verde.
2130 – 2170 m	Arenisca gris de grano medio bien cementada, 30% de lutita gris verdoso y arenosa, trazas de cuarzo blanco y bentonita verde.
2170 – 2200 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro de grano fino a medio bien cementado, piritizada, cuarzo blanco, escasa lutita gris arenosa y trazas de bentonita gris verdosa.
2200 – 2225 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano fino a medio bien cementada, piritizada, escasa lutita gris arenosa, y bentonita gris verdosa.
2225 – 2265 m	Lutita gris y gris verdoso, bentonítica, en partes arenosa, 30% de conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro de grano fino a medio, cuarzo blanco y bentonita verde.
2265 – 2294 m	Lutita gris y gris verdoso, plástica, en parte bentonítica, arenosa, escasa arenisca gris de grano fino y bentonita gris verde.
2294 – 2330 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano fino a medio en parte piritizada, 20% de lutita gris verdosa bentonita y trazas de bentonita verde olivo.
2330 – 2360 m	Arenisca gris de grano fino, 20% de lutita gris verdoso bentonítica en partes arenosa, trazas de bentonita verde olivo.
2360 – 2379 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano fino a medio, cuarzo blanco, mudstone crema, 20% de lutita gris verdosa y trazas de bentonita verde.
2379 – 2390 m	Lutita gris y gris verdoso, bentonítica, suave, arenosa, 40% de arenisca gris de grano fino a medio pobremente cementada, y bentonita gris y verde.
2390 – 2410 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris de grano fino a medio, cuarzo blanco, roca ígnea negra y pardo rojiza, 10% de lutita gris verdosa, arenosa, bentonita gris y verde.
2410 – 2440 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris de grano fino a medio, cuarzo blanco, roca ígnea negra y escasa lutita gris verdosa arenosa y bentonita gris y verde.
2440 – 2454 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris de grano fino a medio, cuarzo blanco, roca ígnea negra, 30% de lutita gris verdosa arenosa y suave, bentonita gris y verde.
2454 – 2468 m	Arenisca gris y gris oscuro de grano fino a medio bien cementada, 20% de lutita gris y gris verdosa bentonítica en partes arenosa, trazas de cuarzo blanco y bentonita gris y verde.
2468 – 2513 m	Conglomerado constituido por fragmentos de arenisca gris de grano medio, cuarzo blanco, roca ígnea verdosa, trazas de bentonita verde olivo.
2513 – 2535 m	Arenisca gris y gris verdoso de grano fino a medio bien cementada, escasa lutita gris verdosa bentonítica y en partes arenosa, escaso cuarzo blanco.
2535 – 2560 m	40% de lutita gris verdosa, bentonítica, en partes arenosa, 40% de arenisca gris y gris verdoso de grano fino a medio bien cementada, 20% de arenisca conglomerática constituida por fragmentos de cuarzo, trazas de bentonita.
2560 – 2580 m	60% de arenisca gris y gris verdoso de grano fino a medio bien cementada, 30% lutita gris verdosa bentonítica y ligeramente arenosa, 10% de arenisca conglomerática constituida por fragmentos de cuarzo, trazas de bentonita.
2580 – 2605 m	70% de arenisca gris oscuro de grano fino a medio, 20% lutita gris verdosa bentonítica, 10% de arenisca conglomerática constituida por fragmentos de cuarzo.
2605 – 2625 m	40% de lutita gris oscuro en partes arenosa, 40% de arenisca gris y gris verdoso de grano fino a medio, 20% de arenisca conglomerática constituida por fragmentos de cuarzo.
2625 – 2649 m	60% de lutita gris oscuro, bentonítica, en partes arenosa, 30% de arenisca gris y gris verdoso de grano fino a medio, 10% de arenisca conglomerática constituida por fragmentos



	de cuarzo, trazas de bentonita verde olivo.
2649 – 2660 m	90% de lutita gris a gris verdoso semidura en partes arenosa, 10% de arenisca conglomerática constituida por fragmentos de cuarzo.
2660 – 2680 m	70% de lutita gris a gris verdoso semidura en partes arenosa, 30% de arenisca gris y gris oscuro de grano fino a medio bien cementada.
2680 – 2700 m	80% de arenisca gris y gris oscuro de grano fino a medio bien cementada, 20% lutita gris y gris verdosa bentonítica y en partes arenosa.
2700 – 2710 m	Lutita gris plástica arenosa, 30% de conglomerado constituido por fragmentos de cuarzo blanco, arenisca gris conglomerática, roca ígnea negra.
2710 – 2735 m	Arenisca gris de grano fino a medio, 30% lutita gris verdosa ligeramente arenosa.
2735 -2750 m	Lutita gris verdoso suave ligeramente arenosa, 40% de arenisca gris de grano fino a medio bien cementada.
2750 – 2770 m	Arenisca gris de grano fino a medio de regular a bien cementada en matriz calcárea, escasa lutita gris verdosa bentonítica, trazas de bentonita gris verdosa.
2770 – 2797 m	Arenisca gris de grano fino a medio de regular a bien cementada en matriz calcárea, escasa lutita gris verdosa bentonítica, trazas de bentonita gris verdosa.
2797 – 2820 m	Arenisca gris claro de grano fino a medio bien cementada en matriz calcárea, trazas lutita gris verdosa bentonítica.
2820 – 2880 m	Arenisca gris claro de grano fino a medio bien cementada en matriz calcárea, escasa lutita gris verdosa bentonítica, trazas de bentonita gris verdosa.
2880 – 2905 m	Arenisca gris de grano grueso a conglomeráticas pobremente cementada, constituida por fragmentos de cuarzo y roca ígnea gris oscuro.
2905 – 2922 m	Conglomerado constituido por arenisca gris a gris claro de grano grueso a conglomerático bien cementada, fragmentos de mudstone arcilloso gris oscuro piritizado y café grisáceo, escasa bentonita gris verdosa.

Loma Bonita-2

Profundidad	Litología
0 – 75 m	Arena de cuarzo de grano grueso con intercalaciones de tobas volcánicas, gravas y gravillas de material volcánico.
75 -145 m	Arena de grano medio a fino con intercalaciones de lutitas arenosas y areniscas, delgadas capas de gravilla y arena de cuarzo de grano grueso, graduando a lutitas arenosas hacia la base.
145 – 270 m	Lutita con intercalaciones de lutita arenosa con abundante pirita y arena de cuarzo de grano medio a fino.
270 – 440 m	Lutita gris verdosa ligeramente arenosa en partes calcárea poco duras y trazas de caliza margosa verde y arenisca gris grano fino.
440 – 515 m	Lutita con intercalaciones de lutita arenosa con abundante pirita y arena de cuarzo de grano medio a fino.
515 – 580 m	Lutita con intercalaciones de lutita arenosa con abundante pirita y trazas de arena de cuarzo de grano medio a fino.
580 – 1180 m	Lutita verdosa ligeramente arenosa con delgadas y escasas intercalaciones de arena arcillosa de grano fino. Hacia la base las arenas se hacen más gruesas.
N-1 812 – 816 m	Lutita gris verdosa suave ligeramente arenosa con intercalaciones de arena de grano medio a fino.
1180 – 1525 m	Lutita verde margosa con intercalaciones de arena de grano fino y medio.
N-3 1699 – 1701 m	Lutita gris verdosa calcárea.
1525 – 1730 m	Lutita verde margosa con intercalaciones delgadas de arenisca de grano fino, muy compactas calcilutitas verde de aspecto esquistoso.
N-4 1739 – 1742 m	Calcilutita verde olivo con intenso fracturamiento irregular, intercalaciones de lutita esquistoides deleznable.
N-7 1912 – 1915 m	Lutita gris verdosa compacta con delgadas intercalaciones de lutita gris oscuro, ligeramente arenosa. Arenisca de grano fino y trazas de pirita.
N-8 1969 – 1971 m	Arenisca de grano fino a medio con intercalaciones delgadas de lutita margosa compacta.
N-9 2001 – 2003 m	Lutita margosa gris verdosa, compacta, calcárea con intercalaciones de arenisca de grano fino a medio de color gris oscuro muy compacta.
N-10 2142 – 2145 m	Calcilutita gris verdosa, compacta, intensamente fracturada con intercalaciones delgadas de arenisca de grano fino gris con ligera impregnación de aceite.
N-11 2145 -2147 m	Lutita margosa gris verdosa, compacta, con escasas y delgadas intercalaciones de arenisca compacta de grano fino. Ligera impregnación.
N-12 2273 – 2277 m	Lutita calcárea y marga gris verdosa, compacta, con delgadas intercalaciones de arenisca gris de grano fino.
N-13 2340-2343 m	Lutita calcárea y marga gris verdosa, compacta con restos de material carbonoso (lignito) y trazas de asfalto, con intercalaciones irregulares de arenisca dura de grano fino a medio de forma angular a subarredondeada, bentonita calcárea, 35% arenisca, 65% margas y lutitas, olor a gas e impregnación de aceite ligero en las areniscas.
N-14 2343-2346 m	Lutita calcárea margosa con abundantes restos de material carbonoso (lignito) con intercalaciones de arenisca gris de grano fino. Ligera impregnación de aceite y olor a gas.

Macuile – 1

Profundidad	Litología
0 – 95 m	Arcilla plástica oscura, arena, grava, gravillas de cuarzo conglomeráticas amarillentas a ocre, redondeados y subangulosos.
95 – 650 m	Arena y gravilla de cuarzo redondeados, arcilla gris con trazas de arena y lutitas.
650 – 825 m	Lutita gris suave y plástica con intercalaciones de lutita ligeramente arenosa de grano muy fino y bentonita verde.
825 – 960 m	Lutita gris plástica ligeramente arenosa en partes bentonita verdosa.
960 – 1550 m	Lutita gris ligeramente arenosa.
1550 – 1800 m	Lutita dura a suave con intercalaciones de lutita arenosa de cuarzo de grano muy fino y escasos ferromagnesianos redondeados, algunos horizontes de arenisca gris de grano muy fino.

Macuile – 3

Profundidad	Litología
225 m	Grava constituida de granos de cuarzo blanco, roca ígnea gris oscuro, toba pardo rojizo, restos de conchas y material arcilloso.
655 m	Lutita gris verdoso, en parte arenosa, abundantes restos de conchas y arenisca gris claro de grano fino, calcárea.
885 m	Lutita gris ligeramente arenosa.
960 m	Lutita gris a gris verdosa ligeramente arenosa y restos de conchas.
1365 m	Lutita gris verdosa en parte bentonita y lutita gris arenosa, trazas de conglomerados.
1855 m	Lutita gris verdosa intercalaciones aisladas de arenisca gris claro
1860 – 2225 m	Lutita gris verdosa, ligeramente arenosa, intercalaciones aisladas de arenisca gris claro de grano fino arcillo calcárea.
2225 – 2285 m	Arenisca gris claro de grano fino a medio arcillo calcárea con intercalaciones de lutita gris.
2285 – 2720 m	Lutita gris verdosa intercalaciones aisladas de arenisca gris de grano fino a medio calcárea.
2720 – 2760 m	Lutita gris verdosa arenosa.
2760 – 2818 m	Arenisca de roca ígnea oscura y toba, lutita gris parduzca.
2818 – 2860 m	Arenisca gris oscuro de grano fino a medio cementada en material arcillo calcárea, lutita gris verdosa ligeramente calcárea.
2860 – 3300 m	Lutita gris verdosa en partes bentonítica y arenosa, intercalaciones delgadas de arenisca gris claro de grano fino cementada en material arcillo calcárea.

Macuile – 4

Profundidad	Litología
92 – 130 m	Gravilla constituida de granos de cuarzo, roca ígnea, escasos restos de conchas.
130 – 160 m	Arenisca gris verdosa de grano grueso, cementada en matriz arcillosa.
160 – 300 m	Lutita gris verdosa con escasa arenisca fina.
300 – 425 m	Lutita gris verdosa, abundantes granos de cuarzo, fragmentos de roca ígnea, restos de microfósiles.
425 – 540 m	Lutita marrón a gris arenosa, trazas de arenisca mal cementada.
540 – 600 m	Arenisca gris a marrón de grano fino bien cementada, escasa lutita.
600 – 675 m	Lutita ligeramente arenosa, 10% de arenisca de grano fino bien cementada, material tobáceo.
675 -695 m	Mudstone gris verdoso de textura gruesa, ligeramente arenoso.
695 – 770 m	Lutita gris verdosa, trazas de arenisca.
N-1 1524 – 1529 m	Lutita gris verdosa ligeramente arenosa.
770 – 1715 m	Lutita gris y marrón ligeramente arenosa, trazas de arenisca.
N-2 1727 – 1734 m	P.S. Lutita gris claro arenosa, intercalaciones de arena de grano fino. P.M. Lutita gris verdoso. P.I. Lutita gris oscura bituminosa.
1761 – 1885 m	Lutita arenosa, 15% de arenisca de grano fino a medio, matriz arcillo calcáreo.
1885 – 1915 m	Arenisca de grano medio a grueso con matriz arcillosa marrón, 40% de conglomerados constituidos por mudstone de crema a marrón oscuro arcilloso, cuarzo blanco, pedernal gris humo, bentonita verde.
1915 – 1960 m	Arenisca gris de aspecto conglomerático, 30% de lutita gris suave en partes arenosa.
N-3 1960 -1969 m	P.S. Arenisca gris de grano fino a grueso cementada en una matriz arcillo-calcárea con intercalaciones de lutita gris verdosa. P.I. Lutita gris verdosa semidura.
1969 – 2025 m	Lutita gris verdosa suave en partes arenosa, 10% de arenisca de grano grueso, pirita, bentonita verde.
2025 – 2060 m	Lutita gris verdosa suave, trazas de conglomerado.
2060 – 2180 m	Lutita gris verdosa arenosa, 10% de arenisca de grano fino a medio, trazas de conglomerado.
2180 - 2240 m	Lutita gris claro arenosa, 20% de arenisca de grano fino a medio cementada en matriz calcárea.
2240 – 2290 m	Lutita gris y marrón arenosa.
2290 – 2325 m	Lutita gris claro suave y semidura arenosa, 10% de arenisca gris oscuro de grano fino a medio cementada en matriz calcárea marrón.
N-4 2296 – 2304 m	P.S. Lutita gris verdosa, ligeramente calcárea. P.M. Arenisca gris claro de grano fino a medio cuarcífera ligeramente calcárea y mal consolidada. P.I. Lutita gris verdosa ligeramente calcárea.



Macuile Sur – 1

Profundidad	Litología
0 – 90 m	Gravas
90 – 275 m	Arenisca gris verdosa de grano fino, lutita gris verdosa, restos de moluscos.
275 – 705 m	Lutita gris verdosa, arenisca gris de grano fino y restos de moluscos.
705 - 750 m	Arenisca gris a gris verdosa de grano grueso a conglomerática, trazas de lutita, restos de moluscos.
750 – 810 m	Arenisca gris de grano medio a grueso, trazas de bentonita, restos de moluscos.
810 – 850 m	Lutita, trazas de arenisca.
850 – 970 m	Arenisca mal cementada de grano grueso a conglomerática, lutita gris, trazas de bentonita, restos de moluscos.
970 – 1220 m	Lutita gris en parte arenosa, restos de moluscos.
1220 – 1260 m	Sin muestras.
1260 – 1730 m	Lutita gris a gris verdosa ligeramente arenosa, trazas de arenisca.
1730 -1740 m	Arena de grano fino a medio.
1740 – 1950 m	Lutita gris verdosa, bentonita, trazas de arenisca.
1950 -1985 m	Sin muestras.
1985 – 2020 m	Lutita gris verdosa en partes arenosa, trazas de arenisca de grano fino y pirita.
2020 – 2083 m	Arenisca gris oscuro de grano fino a medio, lutita gris verdoso, trazas de bentonita.
2083 – 2140 m	Arenisca gris verdoso de grano medio a conglomerática, lutita gris verdosa, pirita y trazas de bentonita.
2140 – 2345 m	Conglomerado, arenisca gris oscuro, lutita gris.
2345 – 3000 m	Sin recuperación de muestras por perforar con circulación directa.

Morillo – 1

Profundidad	Litología
0 – 30 m	Grava, gravilla, arena de cuarzo medio a grueso de cuarzo blanco, arcilla plástica de color amarillo ocre.
30 – 90 m	Arena de grano medio a grueso, arcilla plástica de color gris oscuro.
90 – 155 m	Arcilla arenosa de color amarillo ocre, arena de grano medio a grueso, gravilla y ceniza de color verde.
155 -250 m	Lutita gris ligeramente arenosa y lutita bentonita gris verdosa.
250 – 300 m	Arena de grano medio a grueso intercaladas con laminas de lutita arenosa.
300 – 450 m	Lutita arenosa de color gris a gris verdosa.
450 -480 m	Lutita arenosa, 10% de arenisca de grano fino bien cementada, material tobáceo.
480 – 490 m	Arena gris arcillosa de grano fino a medio.
490 – 525 m	Lutita ligeramente arenosa de color gris y gris verdosa, con intercalaciones de delgadas lentes de areniscas de grano fino, trazas de cenizas volcánicas.
525 – 580 m	Lutita en parte arenosa de color gris a gris verdosa, intercalaciones de arena de grano fino a medio.
580 – 582 m	Arenisca de grano fino a medio.
582 – 640 m	Lutita en parte arenosa con intercalaciones de arenisca.
640 – 680 m	Lutita arenosa de color gris a gris verdosa con abundantes restos de macrofauna, trazas de arenisca de grano fino.
680 – 750 m	Lutita ligeramente arenosa, restos de ceniza volcánica.
750 – 820 m	Lutita en parte arenosa de color gris oscuro, delgadas intercalaciones de arenisca de grano fino.
820 – 870 m	Lutita arenosa oscura con restos de ceniza volcánica y abundantes restos de macrofauna.
870 – 920 m	Lutita gris verdosa suave en partes arenosa, 10% de arenisca de grano grueso, pirita, bentonita verde.
920 – 1000 m	Lutita ligeramente arenosa gris oscuro y gris verdoso.
1000 -1080 m	Lutita ligeramente arenosa, restos de pirita y bentonita.
1080 -1115 m	Lutita gris y gris verdoso, arenisca de grano fino.
1115 – 1150 m	Lutita ligeramente arenosa con lentes de arena de grano medio a grueso de color gris, trazas de pirita.
1150 – 1200 m	Lutita arenosa de color gris verdosa, con delgadas intercalaciones de arenisca de grano fino.
1200 – 1355 m	Lutita en parte ligeramente arenosa gris verdosa, con intercalaciones de lutita.
1355 – 1380 m	Lutita arenosa intercalada con arena de grano medio a fino gris, trazas de pirita.
1380 – 1475 m	Lutita en parte ligeramente arenosa de color gris verdosa, trazas de bentonita y pirita.
1475 – 1525 m	Lutita arenosa gris verdosa, con intercalaciones de delgadas horizontes de arenisca de grano fino.
1525 -1560 m	Lutita en parte arenosa gris y gris verdosa, trazas de bentonita suave verde.
1560 – 1575 m	Arenisca de grano fino a medio gris claro, trazas de pirita.
1575 – 1750 m	Lutita gris claro en partes arenosa, trazas de bentonita.
1750 – 1756 m	Arenisca de grano fino, trazas de pirita y arena de grano medio semi-consolidada.
1756 – 1808 m	Lutita arenosa oscura.
1808 – 1825 m	Arenisca de grano grueso a medio consolidada.
1825 – 1850 m	Lutita arenosa, trazas de pirita.
1850 – 1920 m	Arena de grano medio a grueso, trazas de arenisca de grano fino.
1920 – 1930 m	Lutita en partes ligeramente arenosa.
1930 – 1965 m	Arenisca de grano fino con intercalaciones de lutita, trazas de pirita.
1965 – 2000 m	Lutita ligeramente arenosa.
2000 – 2025 m	Arena de grano medio a grueso, trazas de arenisca de grano fino.



2025 – 2055 m	Arenisca de grano fino, lutita arenosa.
2055 – 2080 m	Lutita arenosa con intercalaciones de arena de grano medio a grueso y arenisca de grano medio a grueso.
2080 – 2286 m	Lutita en partes arenosa, trazas de bentonita.
2286 – 2300 m	Arena de grano medio y arenisca de grano medio, trazas de pirita y caliza.
2300 – 2375 m	Lutita arenosa, trazas de bentonita.
2375 – 2400 m	Arenisca de grano fino a medio, trazas de pirita y lutita arenosa.
2400 – 2470 m	Lutita bentonita ligeramente arenosa.
2470 – 2478 m	Arena de grano grueso a medio, trazas de arenisca de grano fino.
2478 – 2530 m	Lutita plástica y arenosa.
2530 – 2537 m	Arenisca, de grano medio, trazas de pirita.
2537 – 2600 m	Lutita arenosa, trazas de arenisca de grano medio.
2600 – 2620 m	Arena de grano medio, lutita arenosa.
2620 – 2663 m	Lutita arenosa.
2663 – 2676 m	Arenisca de grano fino
2676 – 2707 m	Lutita arenosa, trazas de bentonita.
2707 – 2750 m	Arenisca de grano fino y lutita arenosa, trazas de pirita y bentonita verde.
2750 – 2830 m	Lutita en partes arenosa, trazas de bentonita.
2830 – 2851 m	Arenisca de grano medio.
2851 – 2863 m	Arena arcillosa, de grano medio, trazas de pirita.
2863 – 2900 m	Arenisca de grano fino, con delgados horizontes de lutita arenosa.
2900 – 2950 m	Lutita arenosa
2950 – 3000 m	Lutita ligeramente arenosa, trazas de bentonita semidura.
3000 – 3100 m	Lutita arenosa y lutita plástica ligeramente arenosa, trazas de arenisca.
3100 – 3150 m	Arenisca de grano fino y lutita arenosa.
3150 – 3175 m	Lutita arenosa.
3175 – 3186 m	Lutita en partes arenosa con delgados lentes de arenisca compacta, dura.
N-1	Lutita gris verdosa, semidura, compacta, ligeramente arenosa, con intercalaciones de arenisca gris claro de grano fino, compacta y dura.
3186 – 3188 m	

Najucal-1

Sin información disponible

Novillero-12

Sin información disponible



Tlacotalpan-1

Profundidad	Litología
0 – 65 m	Arcilla oscura a amarilla, arena, gravilla y grava de cuarzo blanco.
65 – 500 m	Gravas y gravillas de cuarzo blanco, cementadas en arcilla amarilla con intercalaciones de lutita arenosa gris.
500 -575 m	Arena de grano grueso a medio con intercalaciones de lutita arenosa.
575 – 683 m	Lutita gris arenosa, trazas de bentonita plástica, restos de microfósiles, pirita.
683 – 848 m	Lutita gris verdosa intercalada con lutita arenosa, trazas de bentonita verde, trazas de pirita, abundantes restos de microfósiles.
848 – 998 m	Lutita gris ligeramente arenosa intercalada con lentes de arenisca de grano fino a medio, pirita, abundantes restos de microfósiles.
998 – 1075 m	Lutita gris y gris verdoso suave.
1075 – 1150 m	Lutita ligeramente arenosa gris y gris verdosa, en parte bentonita.
1150 – 1175 m	Lutita gris ligeramente arenosa de grano fino.
1175 – 1185 m	Lutita gris arenosa de grano fino.
1185 – 1235 m	Lutita gris en parte bentonítica.
1235 -1300 m.	Lutita ligeramente arenosa gris.
1300 – 1325 m	Lutita gris arenosa, trazas de pirita.
1325 – 1373 m	Lutita gris ligeramente arenosa, trazas de bentonita y pirita, restos de microfósiles.
1373 – 1400 m	Lutita ligeramente arenosa gris.
1400 – 1550 m	Lutita gris y lutita ligeramente arenosa gris.
1550 – 1600 m	Lutita gris.
1600 – 1610 m	Arenisca de grano fino a medio gris claro, trazas de pirita.
1610 – 1748 m	Lutita gris ligeramente arenosa, trazas de bentonita verde y pirita.
1748 – 1860 m	Lutita gris y gris verdosa ligeramente arenosa, trazas de pirita.
1860 – 1875 m	Arenisca gris de grano fino ligeramente arcillosa intercalada con delgados horizontes de lutita arenosa de grano fino.
1875 – 1900 m	Lutita gris con intercalaciones esporádicas de arenisca gris de grano fino, trazas de pirita.
1900 – 1958 m	Intercalaciones de lutita gris ligeramente arenosa de grano fino, delgados lentes de arenisca.
1958 – 1965 m	Lutita gris y arenisca arcillosa de grano fino gris claro.
1965 – 2164 m	Lutita ligeramente arenosa gris, arenisca arcillosa, trazas de bentonita verde y pirita.
2164 – 2187 m	Arenisca de grano grueso a medio color gris oscuro
2187 – 2441 m	Sin recuperación de muestras por presión de gas y agua salada.

Tesechoacan– 1

Profundidad	Litología
0 – 80 m	Material reciente, grava de cuarzo gris, gris verdoso y marrón rojizo, en parte amarillento por intemperismo.
80 -165 m	Gravas y gravillas de cuarzo blanco, roca ígnea, arcilla amarillo ocre.
165 – 240 m	Lutita gris verdosa, arenosa plástica, arena de grano medio a grueso material tobaceo.
240 – 305 m	Arenisca gris de grano fino a medio mal cementado, lutita plástica arenosa gris, arena de grano medio, material tobaceo.
305 – 600 m	Arenisca gris claro a oscuro de grano fino, parte media mal cementada, escasa lutita gris claro y fragmentos de moluscos.
600 – 840 m	Lutita gris ligeramente arenosa intercalada con lentes de arenisca de grano fino a medio, pirita, abundantes restos de microfósiles.
840 – 1030 m	Lutita arenosa bentonítica gris y gris verdosa, trazas de arenisca gris y bentonita verde, fragmentos de moluscos.
1030 – 1052 m	Sin muestras
N – 1 1052 – 1060 m	Lutita plástica gris a gris verdosa ligeramente arenosa deleznable.
1060 – 1070 m	Sin muestras
1070 – 1250 m	Lutita plástica gris a gris verdosa en partes arenosa ligeramente bentonítica.
1250 – 1280 m	Lutita ligeramente arenosa gris.
1280 – 1290 m	Arena de grano fino a medio y lutita bentonítica gris verdoso.
1290 – 1510 m	Lutita gris verdosa ligeramente bentonita de facies arenosa, trazas arenisca gris claro de grano fino a medio mal cementado.
1510 – 1600 m	Lutita arenosa gris y gris claro, conglomerados constituidos por fragmentos de cuarzo blanco, roca ígnea verde y roja. Arenisca gris de grano fino.
1600 – 1700 m	Lutita gris y lutita ligeramente arenosa gris.
1700 – 1819 m	Lutita arenosa gris a gris verdosa en partes bentonítica, trazas de conglomerados.
1819 – 1900 m	Lutita bentonítica gris y gris verdoso en parte arenosa, 10% de conglomerados constituidos por fragmentos de cuarzo blanco, roca ígnea negra, verde y roja. Arenisca gris y pirita.
1900 – 1940 m	Lutita arenosa gris claro, 10% de conglomerados constituidos por fragmentos de cuarzo blanco, roca ígnea negra, verde y roja, arenisca gris, mudstone, bentonita y pirita.
1940 – 2005 m	Lutita arenosa gris claro, trazas de conglomerado.
2005 – 2046 m	Arena gris de grano medio, lutita arenosa gris, 20% de conglomerados constituidos por fragmentos de cuarzo blanco, roca ígnea negra, arenisca gris, pedernal gris y pirita.
2046 – 2200 m	Lutita arenosa gris en parte bentonítica, 10% de arena gris de grano medio.
2200 – 2230 m	Lutita arenosa gris claro en parte bentonítica, 10% de arenisca conglomerática gris oscuro, trazas de arena gris.
2230 – 2295 m	Lutita arenosa gris claro y lutita bentonítica gris verdosa, escasa arenisca gris claro de grano fino a medio cementada en matriz arcillo calcárea.
N-2 2295 – 2299 m	Sin descripción
2299 – 2400 m	Lutita calcárea gris claro a gris verdoso en parte arenosa, arenisca gris de grano fino y bentonita verde.
2400 – 2495 m	Lutita calcárea gris claro en partes arenosa, 10% de arenisca gris oscuro de grano medio a conglomerático, cementado en matriz calcárea.
N-3 3201 – 3209 m	P.S. Arenisca gris claro de grano fino a medio con delgadas intercalaciones de lutita calcárea gris. P.M. Lutita calcárea gris claro y verdoso en parte arenosa con intercalaciones de arena gris de grano fino. P.I. Arenisca gris de grano fino cementada en una matriz arcillo arenosa con delgadas intercalaciones de lutita calcárea gris.
N-4 3500 -3506 m	Lutita suave a semidura gris a gris claro en parte arenosa alternada con arenisca gris claro de grano fino a medio, cementada en matriz arcillo calcárea.



Referencias bibliográficas.

- Aranda, M. y Prost, G. 2001. *Tectonics and hydrocarbon systems of the Veracruz basin*, AAPG Memoir 75, chapter 11, p. 271-291.
- Arreguín, M. A. 2003. *Sequence stratigraphy of Miocene-Pliocene sediments, and 3-D interpretation of the deepwater turbidite systems of the Cocuite and Playuela fields, Veracruz basin*. Thesis to Master of Science. University of Colorado.
- Bird, D. E., Burke, K., Hall, S. A. y Casey, J. F. 2005. *Gulf of Mexico tectonic history: Hotspot tracks, crustal boundaries, and early salt distribution*. AAPG Bulletin, v. 89, no. 3, pp. 311–328.
- Bolli, H. M. y Saunders, J. B. 1985. *Plankton stratigraphy, Volumen 1*. Cambridge University Press.
- Blum, M. D. 2001. *Importance of falling stage fluvial deposition: Quaternary examples from the Texas Gulf Coastal Plain and western Europe*. Seventh International Conference of fluvial sedimentology.
- Catuneanu, O. et al. 1998. *Temporal significance of sequence boundaries: Sedimentary geology*. 121, pp.157-178.
- Catuneanu, O. 2002. *Sequence stratigraphy of clastics systems: Concepts, merits, and pitfalls*. Geological Society of Africa Presidential, Review N. 1. Journal of African Earth Sciences 35, 1 – 43.
- De Sansores, J. C. 1972. *Foraminíferos bentónicos del terciario superior de la cuenca salina del istmo de Tehuantepec, Mex.* IMP, Volumen 1.
- Einsele, G. 1988. *Event stratigraphy: recognition and interpretation of sedimentary event horizons*. Capítulo 6 en: Doyle P, Bennett MR (eds) *Unlocking the stratigraphy record*. Wiley, Chichester, pp. 145-193.
- Espinoza, N. M., y Toriz J. 2005. *Estilos Estructurales en la Región de Veracruz*. Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración. No. 4.
- Galloway W. E. 1989. *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis. I. Architecture and genesis of flooding–surface bounded depositional units*. AAPG. Bulletin, 73.
- Galloway, W. E. 2001. *The many faces of submarine erosion: theory meets reality in selection of sequence boundaries*. AAPG. Hedberg Research Conference on Sequence Stratigraphic and Allostratigraphic principles and concepts, Dallas.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., y Vail, P.R., 1987. *Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present)*. Science, 235, 1156–1167.



- Holguín, N. 2006. *Curso Evaluación genética de Cuencas Petroleras*. 2006 – 2. PEP – UNAM.
- Martínez, M. et al. 2005. *Modelo sismoestratigráfico de la porción norte de la Cuenca Terciaria de Veracruz México*. Trabajo inédito.
- Martínez, V. 2012. *Análisis Estructural de los plays del Mioceno en los proyectos 3D: Najucal y Jimba, Cuenca Terciaria de Veracruz*. Tesis de Maestría en Ingeniería, UNAM.
- Mitchum R. M., Sangree, J. B., Vail, P. R. y Wornardt, W. 1993. *Recognizing sequences and systems tracts from well logs, seismic data, and biostratigraphy: examples from the Late Cenozoic*, in P. Weimer and H. W. Posamentier, eds., *Siliciclastic sequence stratigraphy: AAPG Memoir 58*, pp. 163-198.
- Padilla, S. y Escamilla, S. 2003. *Tabla de secuencias bio-cronoestratigráficas para la Cuenca de Veracruz*, PEMEX.
- Pelaez, R., 2007. *El método sismoestratigráfico y su contribución al análisis de los Plays del Mioceno–Plioceno, en el proyecto Jimba – Najucal 3D, Cuenca Terciaria de Veracruz*. Tesis de Maestría en Ingeniería, UNAM.
- PEMEX-AMOCO. 1985. *Informe bioestratigráfico del proyecto regional de estratigrafía de secuencias de la Cuenca Terciaria de Veracruz y de transferencia tecnológica con asesoría de la compañía AMOCO*.
- PEMEX-BEG. 2001. *Evaluación de Plays del Terciario de la Cuenca de Veracruz*.
- PEMEX-IMP. 2000. *Proyecto de Integración Bioestratigráfica*.
- PEMEX PEP Región Sur, Activo de Exploración Salina Del Istmo, 2004. *Atlas Papaloapan “B”. PEG-PIDIREGAS*.
- PEMEX PEP Región Sur, Activo de Exploración Salina Del Istmo, 2005. *Estado Actual y resultados del Proyecto Papaloapan “B”. PEG-PIDIREGAS*.
- PEMEX-Schlumberger. 2000. *Carta síntesis de la columna estratigráfica de la Cuenca de Veracruz*.
- Posamentier, H. W. y Vail, P. R. 1988. *Eustatic controls on clastic deposition. II. Sequence and systems tract models*. SEPM Special Publication.
- Posamentier, H. W. y Allen G. P. 1999. *Siliciclastic sequence stratigraphy, concepts and applications*. SEPM.
- Reading, H. y Richards, M. 1994. *Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system*, AAPG, vol. 78, no. 5.



Royhan, Gani M. 2004. *From Turbid to Lucid*. The Sedimentary Record, SEPM (2004).

Vail, P. R., Mitchum, R. Jr. y Thompson III, S. 1977. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap*. AAPG, Memoir vol. 26.

Vail, P. R. y Wornardt, W. W. 1990. *Well Log–Seismic Sequence Stratigraphy: An Integrated Tool for the 90's*. GCSSEPM Foundation Eleventh Annual Research Conference Program and Abstracts.

Van Wagoner, J. C. et al. 1987. *Seismic stratigraphy interpretation utilizing sequence stratigraphy. Part 2. The key definitions of seismic stratigraphy*. In Atlas of seismic stratigraphy, vol. 1. American Association of Petroleum Geologists. Studies in geology 27.

Van Wagoner, J. C. 1995. *Overview of sequences stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy*. AAPG, vol 74.

Vázquez, E., Holguín, N., Serrano, E., Roman, J. R., Galindo, J. A. y Grass, D. 1996. *Subsistema Generador Mesozoico-Terciario de la cuenca de Veracruz*. PEMEX Inédito.

Wynn, Thomas y Read, J. Fred. 2006. *Sequence stratigraphic analysis using well cuttings, Mississippian Greenbrier Group, West Virginia*. AAPG, Vol. 90. No. 12, pp. 1869-1882.

Xue, L. y Galloway W. E. 1993. *Genetic Sequence Stratigraphic Framework, Depositional Style, and Hydrocarbon Occurrence of the Upper Cretaceous QYN Formations in the Songliao Lacustrine Basin, Northeastern China*. AAPG, vol. 77, pp 1792-1808.



Bibliografía de consulta.

- Blow, W. H. 1969. *Late middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy*. Proceedings first international conference on planktonic microfossils, Geneva.
- Bolli, H. M., Beckmann, J. P. y Saunders, S. B. 2005. *Benthic foraminiferal biostratigraphy of the South Caribbean region*. Cambridge University Press, New ED edition.
- Boltovskoy, E. 1965. *Los foraminíferos recientes*. Eudeba, Buenos Aires.
- Booth, J. R., DuVernay, A. E. III, Pfeiffer, D. S. y Styzen, M. J. 2000. *Sequence stratigraphic framework, depositional models, and stacking patterns of ponded and slope fan systems in the Auger Basin: Central Gulf of Mexico slope*. Fundación GCSSEPM, 20va. Conferencia de investigación anual de yacimientos en aguas profundas del mundo.
- Breard, S. Q., Callender, A. D., Denne, R. A. y Nault, M. J. 2000. *Gulf of Mexico Basin Late Tertiary deep-water biostratigraphic zonation: Relationship to standard shelf foraminiferal and calcareous nannofossil marker terminology*. Fundación GCSSEPM, 20va. Conferencia de investigación anual de yacimientos en aguas profundas del mundo.
- Galloway, W. E., Ganey–Curry P. E., Xiang Li, y Buffler, R. T. 2000. *Cenozoic depositional history of the Gulf of Mexico basin*. AAPG Bulletin, v. 84, no. 11. pp. 1743–1774.
- Handerbol, J. et al. 1998. *Cenozoic sequence chronostratigraphy*. Society for Sedimentary Geology, SEPM, Special Publication.
- Haq, B. U. 1991. *Sequence stratigraphy, sea–level change, and significance for the deep sea*. Spec. Publs., int. Ass. Sediment., vol. 12, pp. 3–39.
- Hellan, H. y Martinsen, O. J. 1996. *Shoreline trajectories and sequences: description of variable depositional – dip scenarios*. Journal of Sedimentary Research.
- Jones, R. W. y Simmons, M. D. 2002. *Biostratigraphy in production and development geology*, Geological Society special publication no. 152.
- McGowran, B. 2005. *Biostratigraphy: Microfossils and geological time*, Cambridge University Press.
- Mitchum, R. M., y Van Wagoner, J. C. 1991. *High Frequency sequences and their stacking patterns: sequence stratigraphic evidence of high frequency eustatic cycles*. Sedimentary Geology, 70. Elsevier Science Publishers B. V; Amsterdam.
- Powell, A. J. y Riding, J. B. 2005. *Recent developments in applied biostratigraphy*, The Micropaleontology Society special publication.



Sangree, J. B. y Widmier J. M. 1977. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 9: Seismic interpretation of clastic depositional facies*. Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir 26.

Sangree, D. B., Vail, P. R. y Mitchum, R. Jr. 1990. *A summary of exploration applications of sequences stratigraphy*. GCSSEPM Foundation Eleventh Annual Research Conference Program and Abstracts.

Weimer, P. et al, 1998. *Sequence stratigraphy of Pliocene and Pleistocene turbidite systems, northern Green Canyon and Ewing Bank (offshore Louisiana), northern Gulf of Mexico*. AAPG Bulletin, v. 82, pp. 916-960.