



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA – INGENIERIA PETROLERA Y GAS NATURAL
EXPLORACIÓN

EVALUACIÓN DEL TIPO Y EFECTIVIDAD AREAL DEL SELLO EN LA ESTRUCTURA
HOKCHI A NIVEL DE LOS PLAYS DEL NEÓGENO

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

PRESENTA:
MIGUEL MATA LÓPEZ

TUTOR:
DR. JOAQUIN EDUARDO AGUAYO CAMARGO
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. MAYO DE 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Guillermo Alejandro Pérez Cruz
Secretario: Dr. Juan Araujo Mendieta
Vocal: Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo
1^{er}. Suplente: Dr. Gorgonio García Molina
2^{do}. Suplente: M.C. Emiliano Campos Madrigal

Lugares donde se realizó la tesis:

Cd de México, D.F.
Cd. del Carmen, Camp.

TUTOR DE TESIS:

DR. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo

Agradecimientos:

Quiero agradecer a las autoridades de Pemex Exploración y Producción y de la Secretaría de Energía por la oportunidad que me brindaron al cursar este posgrado:

Ing. José Antonio Escalera Alcocer, Ing. Marcos Flores Flores, Ing. Manuel Terán García, Ing. Marcos Millán Padrón, Ing. Francisco González Pineda, Ing. José Ruiz Morales, Ing. Primo Dionisio Chávez Vázquez e Ing. Crescencio Cabrera Toledo por su apoyo durante este periodo.

Agradezco especialmente a mi director de Tesis, Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo por su paciencia y apoyo durante todo este tiempo en la UNAM y por su amistad.

A mis maestros y sinodales Dr. Guillermo Alejandro Pérez Cruz, Dr. Gorgonio García Molina, Dr. Juan Araujo Mendieta y M.C. Emiliano Campos Madrigal, por el apoyo durante el desarrollo de éste trabajo y durante mi estancia en la Universidad Nacional Autónoma de México.

A mis compañeros de trabajo Roberto Rojas, Primo Dionisio Chavez, José Robles, Luis Manuel Medrano, Ricardo Trejo, Francisco Olivares, Juvenal Vega, Gerardo Chavez, Alejandro Ruiz, Elsa Zavala, Manuel Machorro, Laura Sanchez, Juana Orquídea Salas, Jhoanna Silis, Simeon Oseguera, Anabel Vidal y Silvia Cortez.

Dedicatoria

A mi esposa Veronica Vanessa.

A mis hijos Eduardo Antonio y Karla Cristhell.

A mis Padres Antonio y Estela.

A mis hermanos, María Del Carmen, José Antonio, Gerardo y Blanca Estela.

A mis Sobrinos Carlos Antonio, Saul Enrique, Ana Esthela, Mariela Anahí, Nancy Yamileth, Gerardo, Paola Selene, Hugo Leonardo, Katia Michelle, Sonia Lizbeth, Sergio David, Jorge Arturo y Johselyn,

A mis compañeros de maestría, Alfonso Ramirez, Javier Gonzalez, Karla Soto, Héctor Rodriguez y Hugo Avalos.

A mis profesores de Maestría; Al Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo, Dr. Ricardo José Padilla y Sánchez, Dr. Guillermo A. Pérez Cruz, Dr. Gorgonio Garcia Molina, M.C. Rocío Negrete Cadena, Ing. Marco Antonio Flores Flores, M.C. David Escobedo Zenil, y Dr. Eduardo Salguero Hernandez.



Índice

I. GENERALIDADES.....	1
I.1 Introducción.....	1
I.2 Antecedentes.....	2
I.3 Planteamiento del problema.....	3
I.4 Marco Geológico.....	4
I.5 Hipótesis.....	6
I.6 Objetivos.....	7
I.7 Alcances.....	7
I.8 Definiciones.....	8
I.9 Área de estudio.....	14
I.10 Metodología.....	15
II. DESARROLLO Y ANALISIS.....	17
II.1. Presencia de la roca sello.....	17
II.1.1 Sedimentología.....	18
II.1.1.1 Correlación Cronoestratigráfica.....	18
II.1.1.2 Distribución, descripción y análisis litológico.....	27
II.1.1.3 Descripción de litofacies.....	31
II.1.1.4 Paleoambientes de depósito.....	32
II.1.2 Mapa de Isopacas.....	33
II.2 Efectividad de la roca sello.....	37
II.2.1 Porosidad efectiva promedio.....	37
II.2.2 Análisis y contenido mineralógico.....	42



II.2.3 Presión de poro y gradiente de fractura y potencial del sello mecánico.....	53
II.2.3.1 Cálculo de PP, GF y PTSELL.....	54
II.2.3.2 Mapa del potencial de sello mecánico (PTSELL).....	60
III. EVALUACION DE LA ROCA SELLO.....	.65
III.1 Mapa de Riesgo de Presencia.....	65
III.2 Mapa de Riesgo de Efectividad.....	67
III.3 Riesgo combinado de la roca sello, RCS.....	69
IV. CONCLUSIONES.....	70
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72



FIGURAS

Figura I.1 Marco tectónico y geología estructural.....	5
Figura I.2 Localización del área de estudio.....	14
Figura I.3 Metodología para el análisis de la roca sello.....	16
Figura II.1 Ubicación de pozos analizados.....	18
Figura II.2 Identificación de cimasy bases de los sellos en los registros geofísicos.....	20
Figura II.3 Ubicación de secciones de correlación.....	21
Figura II.4 Sección estratigráfica de correlación 1.....	22
Figura II.5 Sección sísmica estructural 1.....	23
Figura II.6 Sección estratigráfica de correlación 2.....	24
Figura II.7 Sección sísmica estructural 2.....	25
Figura II.8 Mapas de cimasy de los potenciales sellos.....	26
Figura II.9 Análisis litológico del pozo Hk-1; sello E (Mioceno Medio).....	28
Figura II.10 Análisis litológico del pozo Hk-1; sello D (Mioceno Superior).....	29
Figura II.11 Análisis litológico del pozo Hk-1; sello C (Plioceno Inferior).....	30
Figura II.12 Mapa de litofacies de los horizontes sellos.....	31
Figura II.13 Mapa de paleoambientes sedimentarios.....	32
Figura II.14 Mapa de isopacas del sello B (Plioceno Medio).....	33
Figura II.15 Mapa de isopacas del sello C (Plioceno Inferior).....	34
Figura II.16 Mapa de isopacas del sello D (Mioceno Superior).....	35
Figura II.17 Mapa de Isopacas del sello E (Mioceno Medio).....	36
Figura II.18 Mapa de porosidad efectiva promedio del sello B (Plioceno Medio).....	38
Figura II.19 Mapa de porosidad efectiva promedio del sello C (Plioceno Inferior).....	39
Figura II.20 Mapa de porosidad efectiva promedio del sello D (Mioceno Superior).....	40
Figura II.21 Mapa de porosidad efectiva promedio del sello E (Mioceno Medio).....	41
Figura II.22 Laminas del contenido mineralógico del sello D (Mioceno Superior) del pozo Hk-1.....	43
Figura II.23 Cross-Plot del contenido mineralógico del sello D (Mioceno Superior) del pozo Hk-1.....	44
Figura II.24 Cross-Plot del contenido mineralógico del sello E (Mioceno Medio) del pozo Hk-1.....	45
Figura II.25 Laminas del contenido mineralógico del sello E (Mioceno Medio) del pozo Hk-1.....	46
Figura II.26 Laminas del contenido mineralógico del sello D (Mioceno Superior) del pozo Xb-1.....	47
Figura II.27 Laminas del contenido mineralógico del sello E (Mioceno Medio) del pozo Xb-1.....	49
Figura II.28 Laminas del contenido mineralógico del sello D (Mioceno Superior) del pozo Yx-101.....	50
Figura II.29 Laminas del contenido mineralógico del sello D (Mioceno Superior) del pozo Yx-101.....	51
Figura II.30 Laminas del contenido mineralógico del sello D (Mioceno Superior) del pozo Yx-101.....	52
Figura II.31 Gráfico de presión contra profundidad que muestra el cálculo del potencial de sello mecánico.....	54



Figura II.32 Template de datos de entrada utilizado para obtener la curva VShale, para obtener presión de poro y gradiente de fractura.....	56
Figura II.33 Template Pore_Pressure_Eaton_Analysis, utilizado para ajustar las curvas PP y GF.....	57
Figura II.34 Template PP_Res_Sello que muestra las curvas de PP y GF y la curva de PTSELL.....	58
Figura II.35 Mapa de PTSELL del sello B (Plioceno Medio).....	61
Figura II.36 Mapa de PTSELL del sello C (Plioceno Inferior).....	62
Figura II.37 Mapa de PTSELL del sello D (Mioceno Superior).....	63
Figura II.38 Mapa de PTSELL del sello E (Mioceno Medio).....	64
Figura III.1 Mapas de riesgo de presencia de la roca sello.....	66
Figura III.2 Mapas de riesgo de efectividad de la roca sello.....	68
Figura III.3 Mapas de riesgo combinado de la roca sello (RCS).....	69

TABLAS

Tabla II.1 Pozos utilizados para el estudio de los sellos del neógeno.....	18
Tabla II.2 Pozos Cimas y espesores.....	19
Tabla II.3 Porosidad efectivas promedio.....	37
Tabla II.4 Resultados numéricos de los parámetros PTSELL.....	59



RESUMEN

La roca sello constituye uno de los principales elementos del sistema petrolero por lo que es de suma importancia para los estudios de plays. En el presente trabajo se evaluaron y caracterizaron los potenciales sellos los plays del Neógeno, los cuales se determinaron con base a los potenciales sellos del Mioceno Medio, Mioceno Superior, Plioceno Inferior y Plioceno medio identificados en la estructura Hokchi. Este trabajo contempla evaluar los potenciales sellos, utilizando la metodología Plays Fairway, extendiendo este análisis hacia los proyectos de la región marina.

El estudio del elemento sello se basa en la evaluación del riesgo de presencia y la efectividad de los potenciales sellos. La presencia se estableció, identificando los posibles sellos mediante el análisis del registro rayos gama, descripciones petrográficas y paleontológicas, donde se definieron y correlacionaron cuatro superficies de máxima inundación, espesores, litofacies y ambientes de depósito. Posteriormente se generaron los mapas de riesgo de cada uno de estos elementos. Como resultado de este análisis se estableció que en el área de estudio, predominan litofacies asociadas a ambientes de plataforma para el Plioceno Medio y de talud para el Plioceno Inferior, Mioceno Superior y Mioceno Medio, que favorecen la presencia de potenciales sellos, cuyos espesores oscilan entre 58 y 900m.

La efectividad de los sellos identificados se determinó mediante el análisis de porosidades efectivas provenientes de evaluaciones petrofísicas y la estimación del parámetro denominado potencial de sello mecánico (PTSELL), a partir de cálculos de presión de poro y gradiente de fractura en los pozos analizados y complementado con el análisis del contenido mineralógico que nos corroboró la presencia de la roca sello. Los resultados aquí obtenidos indican la definición principalmente de zonas de riesgo bajo para la parte sur del área y riesgo medio para la parte norte del área de estudio.



Finalmente la combinación de la presencia y la efectividad de los sellos, permitió generar los mapas de riesgo combinado de la roca sello (RCS), donde predomina el riesgo bajo, así como la definición de una zona de riesgo medio al norte del área, la cual es producto de la falta de información al no tener pozos perforados en dichas zonas.



I. GENERALIDADES

I.1 Introducción

Los estudios de plays tienen como objetivos fundamentales analizar y definir los elementos y procesos del sistema petrolero presentes en el play; dentro del proceso de estudio de plays, se evalúa la presencia y efectividad de la roca con características potenciales de impedir la migración secundaria de los hidrocarburos fuera de la trampa.

Actualmente se han realizados diferentes análisis y estudios de este elemento mediante la metodología Play Fairway, en la cual, los resultados obtenidos han sido de gran utilidad al momento de evaluar una oportunidad, localización o un play; sin embargo, dichos estudios han carecido de un análisis a detalle con respecto al tipo de roca y su composición mineralógica, así como de estandarización en cuanto a la diferenciación de la presión de poro y el gradiente de fractura para poder identificar las presiones capilares de la roca con las que se estaría fracturando.

En el trabajo de investigación se propone iniciar desde la identificación y continuar con la definición y caracterización de los posibles sellos presentes en el Neógeno de la estructura Hk. Para esto, se realizó el análisis mediante la metodología mencionada que incluyó estudios de laboratorio, así como, definición y estandarización de resultados petrofísicos para establecer los rangos máximos permisibles del funcionamiento del sello.

De acuerdo a la metodología del Play Fairway, la combinación de la presencia y efectividad de la roca sello se utilizó para realizar la evaluación del riesgo geológico de los potenciales sellos del Mioceno Medio y Superior, así como, del Plioceno Inferior y Medio de la estructura Hk. Con la cual fue posible construir los mapas de riesgo común de estos sellos potenciales.



I.2 Antecedentes

En el área de estudio en el año de 2009 se perforó el pozo Hk-1 el cual tuvo como objetivo principal obtener información litológica, sedimentológica y petrofísica de las rocas del Mioceno Medio y Superior con la finalidad de calibrar con mayor detalle las características de las secuencias terciarias, ajustar los modelos geológicos de los plays, sistemas petroleros y de conversión a profundidad, así como evaluar el potencial almacenador de hidrocarburos.

El pozo Hk-1 que atravesó una columna geológica constituida por rocas siliciclásticas cuyas edades van del Reciente-Pleistoceno al Mioceno Inferior, resultó productor no comercial de aceite (26°API) en areniscas del Mioceno Medio, debido a la irrupción de agua de formación en la prueba de producción por una defectuosa cementación de la tubería de revestimiento. En el análisis de riesgo para este pozo, se consideró una probabilidad de éxito geológico (Pg) del 33% en donde el principal elemento de riesgo fue el sello lateral para los dos objetivos propuestos, debido a la presencia de fallas normales que afectan a la trampa. Para evaluar esta situación, se programó realizar un estudio de sello con la finalidad de investigar la distribución de estos cuerpos en todo el campo y descartar o en su defecto corroborar la posibilidad de falla en este elemento del sistema petrolero, ya que la roca del sello superior, en ambos objetivos, está constituida por capas de lutitas gris claro, arenosa, calcárea, suave, con espesores aproximados de 90 m que se encuentra estratificadas con las areniscas que conforman la roca almacén.

Los resultados del estudio de sello no fueron concluyentes por lo que existen áreas de oportunidad, a través de nuevos estudios y metodologías, para poder descartar o corroborar que el principal elemento de riesgo en la estructura Hk y de otros prospectos vecinos, sea el sello lateral, lo cual, fue corroborado con la perforación reciente del pozo Hk-2 que es productor en el intervalo estratigráfico del Mioceno Medio.



I.3 Planteamiento del problema

De manera regional en la Sonda de Campeche se han realizado estudios y análisis del sello, tanto para los niveles del Mesozoico, como para el Terciario, cuyos resultados han sido considerados en la evaluación del riesgo de los plays definidos en estos niveles estratigráficos. Así mismo, se han realizado estudios de sellos locales o laterales principalmente para definir el riesgo de las localizaciones exploratorias a documentar en los diferentes plays.

Estos estudios se han realizado por separado, tanto para el sello superior que consideró datos de modelos petrofísicos y cálculos de presiones mediante registros geofísicos convencionales, así como para el sello lateral mediante el análisis de yuxtaposición de capas y predicción de patrones de flujo lateral.

Estos trabajos realizados no han considerado estudios de composición mineralógica y geoquímica de los sellos, ni de la capacidad de fracturamiento por presiones capilares, tampoco la evaluación de parámetros para conocer las porosidades y permeabilidades que impidan el flujo o migración de los fluidos.

Por lo anterior, se pretende evaluar la calidad del sello superior y lateral en la estructura Hk, en donde además de la metodología aplicada, reforzada con información integral para el pronóstico de presión de poro, que permita reducir la incertidumbre que se tiene de este elemento del sistema petrolero, al momento de evaluar un play en la proposición de una oportunidad o localización exploratoria.



I.4 Marco Geológico

De acuerdo con el marco tectónico estructural, se han identificado cuatro fases tectónicas principales que ocurrieron en diferentes tiempos geológicos, que deformaron y estructuraron la columna geológica de la Región Marina.

La primera corresponde a la fase tectónica gravitacional ocurrida durante el Jurásico hasta la porción basal del Cretácico Temprano, donde se inicia la movilización temprana de la sal, generando almohadillas de sal, que dieron lugar al depósito de sedimentos con espesores variables y creando un sistema de fallas normales.

La segunda fase desde finales de Cretácico hasta el Eoceno, producto de la Orogenia Laramide, que afectó levemente el área con eventos compresionales hacia la cuenca, produciendo el desplazamiento de la sal.

La tercera en tiempo del Mioceno Medio-Tardío, es la fase tectónica compresiva conocida como Chiapaneca, la cual redefina la cubierta sedimentaria, estableciendo un estilo de pliegues simétricos y asimétricos, despegados en la sal autóctona, por lo que dichos estratos siempre estarán afectados por la sal, ya sea en forma de almohadas, canopies o diapiros, siendo la mayoría de las estructuras presentes generadas por evacuación de sal.

La cuarta fase correspondiente entre el Mioceno Tardío-Plioceno, donde se desarrolla una tectónica extensional, originada por el basculamiento del basamento hacia la cuenca, genera fallas lítricas someras, y las preexistentes son reactivadas hasta despegar en la sal autóctona. En el área de la cuenca de Comalcalco el Mesozoico está ausente, debido a ello el Neógeno descansa sobre la soldadura producida por la evacuación de la sal autóctona.



Considerando este panorama, se generaron las secciones sobre pozos a fin de visualizar el marco estructural del terciario, que permita entender los factores involucrados en la depositación de las arcillas en los niveles del plioceno y mioceno.

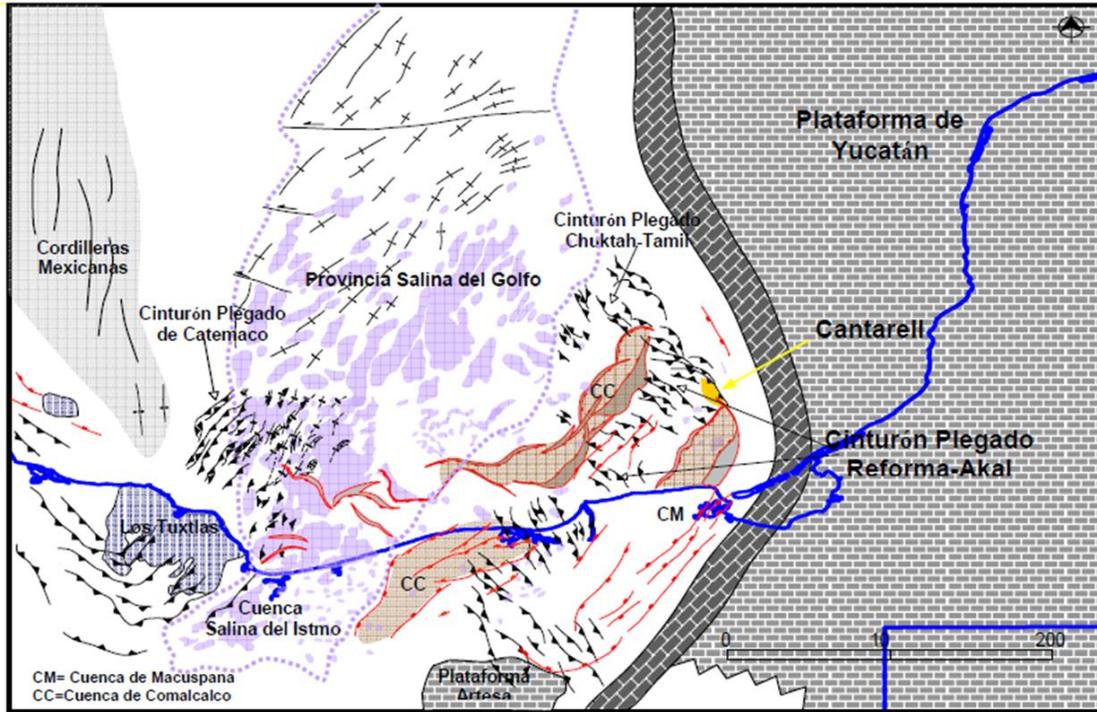


Figura I.1 Mapa tectónico estructural del sur del Golfo de México y Cuencas Terciarias del Sureste, tomado de Estudio Regional Sistemas Petroleros.



I.5 Hipótesis

En este análisis se contempló la evaluación del riesgo de presencia y la efectividad de los potenciales sellos.

La presencia se estableció, identificando los posibles sellos mediante el análisis del registro rayos gama, descripciones petrográficas y paleontológicas, en los cuales se definió y se correlacionó los ciclos de segundo y de tercer orden, las superficies de máxima inundación, los espesores estratigráficos, las litofacies y los ambientes de depósito.

La efectividad de los sellos identificados se determinó mediante el análisis de porosidades efectivas, provenientes de evaluaciones petrofísicas y la estimación del parámetro denominado potencial de sello mecánico, a partir de cálculos de presión de poro y gradiente de fractura en los pozos estudiados. Los resultados que se obtuvieron ayudaron a definir las zonas de riesgo.

Se analizaron los mapas de riesgo de cada uno de estos elementos, dando como resultado el mapa de Riesgo Combinado del elemento sello.

Los estudios específicos, petrográficos y mineralógicos, permitieron conocer el tipo de roca, la cual nos proporcionó la pauta para conocer sus propiedades como sello y al mismo tiempo, predecir sus rangos máximos permisibles para que se fracture.



I.6 Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo, es evaluar el riesgo geológico del elemento sello en los intervalos identificados como sellos potenciales de los plays del Neógeno, en el área Hk; analizando e integrando los resultados de los estudios de sello superior y lateral en mapas de riesgo, que denoten la reducción y jerarquización del funcionamiento del sello en el área evaluada y, a la vez, orienten la estrategia de generación y documentación de localizaciones exploratorias o de desarrollo en la estructura Hk.

I.7 Alcances

Este trabajo de investigación, en función de la buena calidad y cantidad de la información, tiene los siguientes alcances:

- Se realizó el estudio petrográfico mineralógico para establecer el tipo y origen de los constituyentes de la roca sello.
- Se integró la información bioestratigráfica para determinar los ambientes de depósito de los niveles de sello potenciales.
- Se interpretó el modelo sedimentario de los niveles sello dentro de los plays del Neógeno.
- Se determinaron los espesores y capacidad de retención para cada intervalo de sello.
- Se determinaron las presiones de poros y gradientes de fractura, las cuales se analizaron para conocer la capacidad de fracturamiento de las rocas.



- Se determinó si los sellos identificados en el área de estudio son regionales o locales.

I.8 Definiciones

Capacidad del sello

La columna máxima de hidrocarburos que el sello puede retener.

Capacidad del sello capilar

La máxima columna de hidrocarburos que un sello superior puede soportar antes de que ocurra fuga a través de la matriz de la roca sello.

Capacidad del sello mecánico

La máxima columna de hidrocarburos que un sello superior puede soportar antes de fracturarse.

Celda de presión

Conjunto de valores de presión de yacimiento comprendidos dentro de una región presión-profundidad, claramente separados de otros conjuntos de valores debido al efecto de elementos estructurales y/o estratigráficos.

Cierre estructural

Es la distancia vertical desde la cresta de la trampa hasta el punto de derrame.

Cresta

Es el punto estructuralmente más somero en una trampa, para un intervalo estratigráfico mapeado.



Gradiente de fractura

Es la presión requerida para fracturar una formación, dividida por la profundidad del punto de ruptura y expresado en Peso Equivalente de Lodo “Equivalent Mud Weight” (EMW) en libras por galón “pounds per gallon” (ppg). Estas unidades deben ser convertidas a psi/ft y varia en un rango de 0.7 a 1.2 psi/ft, dependiendo de la litología.

Gradiente hidrostático

Es la variación de la presión ejercida por una columna de agua con respecto a la profundidad. Esto es 0.42 a 0.46 psi/ft.

Gradiente litostático (Po)

Es la densidad promedio de los sedimentos desde superficie hasta el punto de interés. Este parámetro puede ser determinado de los registros de densidad, y varia en un rango de 8.5 a 21 ppg dependiendo de la litología y de la historia de sepultamiento.

Gradiente de presión de poro (Pp)

Es la presión del fluido de formación requerida para balancear la presión de poro. Se puede estimar directamente de la correlación de pozos cercanos, del análisis de registros sísmicos o de los gráficos interpretados de presiones.

Intersección de fallas “Branch line”

Línea formada por la intersección de dos superficies de falla.

Isocora

Espesor vertical de una unidad de roca.

Isopaca

Espesor estratigráfico real de una roca.



Línea de corte “cut off line”

Intersección del horizonte y la superficie de la falla.

Línea de término de falla “tip line”

Línea que forma el límite de la falla, donde el salto de la falla es cero.

Mojabilidad

Trabajo necesario para separar un fluido mojante de un sólido, normalmente es determinado por el ángulo de contacto entre el fluido y los granos de la roca.

Perfil del plano de falla

Es un perfil o sección estructural construida paralela al rumbo de la falla, que muestra la yuxtaposición de capas, la geometría de la trampa en dos dimensiones, el espesor de la roca almacén y la acumulación de hidrocarburos cuando se conocen los contactos de fluidos.

Plano o superficie de falla

Superficie formada por el desplazamiento de dos bloques de la misma unidad litológica.

Polígono de falla

Es el polígono formado por la unión de todos los puntos de intersección entre los contornos de una superficie y el plano de falla que la corta, este polígono delimita el área donde no existe la superficie de horizonte.

Presión anormal

Cualquier presión mayor a la presión normal a una profundidad dada.



Presión capilar

Es la fuerza que se opone a la migración secundaria de los hidrocarburos y está determinada por el radio de garganta de poro de la roca, la tensión interfacial entre el hidrocarburo, el agua y la mojabilidad.

Presión capilar de entrada

Es la presión estimada en laboratorio a la cual se establece un filamento continuo de un fluido a través de los poros interconectados de una muestra de la roca sello.

Presión de flotabilidad (presión de desplazamiento)

Es la principal fuerza que produce la migración secundaria de los hidrocarburos, debida a la diferencia de densidades entre los hidrocarburos y el agua.

Presión de fractura

Es la presión a la cual el sello comienza a fallar por el desarrollo de microfracturas, la cual es igual al esfuerzo mínimo.

Presión de poro

También se conoce como presión de formación. Es la presión a la que se encuentra un fluido dentro del espacio poroso de una roca.

Presión hidrostática normal

Es la presión ejercida por una columna de agua desde la superficie a la profundidad de interés.

Presión litostática

También llamada presión de sobrecarga. Es la ejercida por el peso de los sedimentos, rocas y los fluidos a una profundidad dada.



Prueba de goteo “leak off test”

Es la prueba realizada en los pozos para estimar la presión a la cual un fluido de perforación causa o induce fracturamiento de la formación.

Punto de derrame “spill point”

Es el punto de inflexión más alto situado en la periferia de la trampa que limita la columna de hidrocarburos.

Punto de extremo de falla “fault tip”

Intersección de la línea de término de falla (tip line) con una superficie. Punto donde el salto de la falla es cero.

Punto de fuga “leakeage”

Es el punto donde se produce fuga de hidrocarburos en el sello, ya sea por alcanzar la presión capilar, el límite mecánico, o por condiciones permeables en un plano de falla.

Radio de la garganta de poro

Es el radio de un círculo perpendicular al flujo de fluido que se mueve a través de la porosidad intergranular.

Roca Sello

Unidad litológica que impide el desplazamiento de los hidrocarburos a través de ella.

Roca permeable

Son capas constituidas por rocas porosas y permeables que permiten el paso de hidrocarburos a través de ellas en la escala del tiempo geológico.



Salto de falla “throw”

Es la componente vertical del desplazamiento de un marcador de referencia a lo largo de la falla, medido perpendicularmente al rumbo de la falla.

Sello capilar

Capacidad de una roca de impedir el desplazamiento de un fluido a través de ella, determinada por: diámetro de garganta de poro, tensión interfacial y mojabilidad.

Sello mecánico

Capacidad de una roca de impedir el desplazamiento de hidrocarburos debido a su propiedad mecánica de resistencia al fracturamiento.

Tensión superficial

Cantidad de trabajo necesario para agrandar por unidad de área la interfase entre dos fluidos inmiscibles (que no se pueden mezclar).

Trampa

Es la combinación de roca almacén, sello y la geometría que permite la acumulación de hidrocarburos en el subsuelo.



I.9 Área de estudio

El área de estudio se ubica en el extremo sur de Golfo de México, dentro de la Sonda de Campeche y frente a las costas de Tabasco, cubriendo un polígono de aproximadamente 625 km², que contiene en su centro el pozo Hk-1. Se localiza en aguas territoriales del Golfo de México al NW de la Terminal Marítima de Dos Bocas, Tabasco, México y al noroeste del campo Yx; geológicamente se ubica en el extremo suroeste del Alto de Akal, en el área Yx-Xb, donde a nivel del Neógeno, se tienen trampas combinadas de abanicos submarinos deformados por tectónica salina y fallamiento extensional. El área está cubierta por sísmica 3D de buena calidad a nivel de los objetivos del estudio.

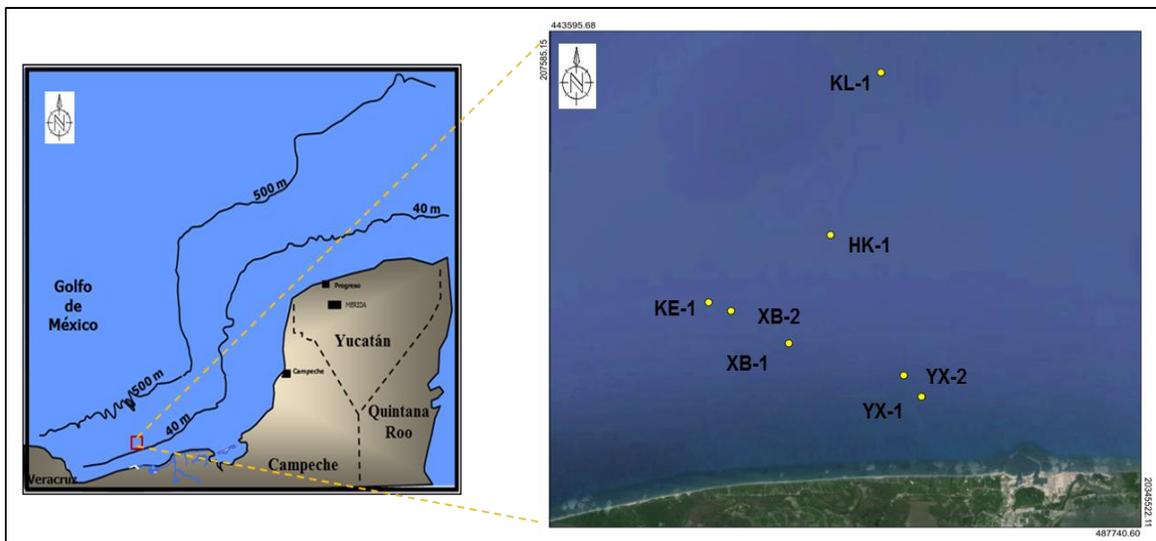


Figura I.2 Localización del área de estudio.



I.10 Metodología

Se generó una base de datos en Petrel que contiene información del pozo Hk-1, complementado con información de pozos cercanos, tales como, KI-1, Ke-1, Xb-2, X-1 y Yx-2; así como, datos sísmicos de los cubos Ke-Tp y Nh KI.

Esta base de datos contiene coordenadas de los pozos, registros geofísicos, evaluaciones petrofísicas, interpretación mineralógica, apéndices litológicos, apéndices paleontológicos, cimas de secuencias estratigráficas, batimetrías, manifestaciones, imágenes de muestras de canal, información de núcleos, información bioestratigráfica, pruebas de presión y producción, estudios y análisis de predicción de poro, sísmica 2D y 3D, de 625 km² que contempla al área de estudio.

En el presente trabajo, en la evaluación del elemento sello de los Plays del Neógeno, se aplicó la metodología de análisis del Play Fairway, la cual se fundamenta en evaluar los elementos del sistema petrolero en términos del riesgo geológico. En el caso de la evaluación del sello es necesario considerar tanto la presencia como la efectividad del potencial de la roca sello. Siguiendo esta metodología, el mapa de riesgo común combinado del elemento sello se obtuvo con base en los mapas de riesgo de presencia y de efectividad, de acuerdo con el flujo de trabajo que se muestra en la figura I.2.

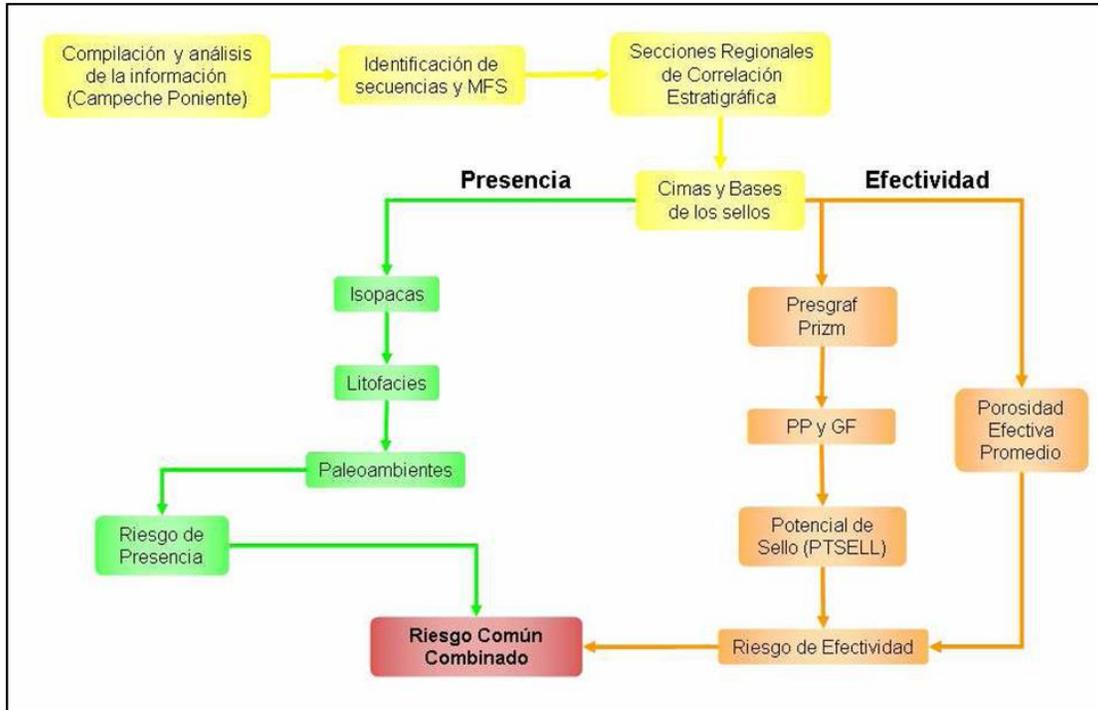


Figura I.3 Metodología para el análisis de la roca sello

Teniendo como resultado la generación de los mapas de riesgo del elemento sello con el análisis del sello superior.



II. DESARROLLO Y ANALISIS

La base de datos generada con información de pozos, contiene: coordenadas geográficas, batimetrías, apéndices litológicos y bio-estratigráficos, muestras de canal y de núcleos, estados mecánicos, registros geofísicos, columnas estratigráficas, evaluaciones petrofísicas, e información sísmica del área donde se realizó el análisis de la efectividad de los sellos.

II.1 Presencia de la roca sello

Para establecer la presencia de los intervalos que actúan como sello en los niveles del Mioceno Medio, Mioceno Superior, Plioceno Inferior y Plioceno Medio; consiste en identificar, caracterizar y delimitar la roca sello en el área de estudio. Para ello se construyeron tres secciones de correlación estratigráfica que incluyen siete pozos. El datum a partir del cual las secciones son aplanadas fue el Plioceno Medio, ya que este nivel es el más somero y ayuda a identificar los posibles sellos en las zonas más profundas con el registro de rayos gamma.

Las superficies de máxima inundación se correlacionaron en toda el área de estudio, mediante las tres secciones regionales, con el propósito de establecer su distribución y geometría. Esta información conjuntamente con los datos petrográficos y bioestratigráficos, se utilizó para obtener los mapas de litofacies, isopacas y paleoambientes, que son la base para la construcción de los mapas de riesgo de presencia de la roca sello.



II.1.1 Sedimentología

El marco sedimentario se estableció con base a la identificación y correlación de las superficies de máxima inundación (MFS) en tres secciones estratigráficas, en los cuales se observa que dichas superficies coinciden con las cimas geológicas en los pozos analizados.

II.1.1.1 Correlación Cronoestratigráfica

Como parte de la evaluación del elemento sello, se analizaron los siguientes pozos para conocer la distribución en los mismos:

Hk-1	Kl-1	Ke-1
Xb-2	Xb-1	Yx-1
Yx-2		

Tabla II.1 Pozos utilizados en el estudio de los sellos del Neógeno

En la figura II.1 se muestra la ubicación de los pozos mencionados:

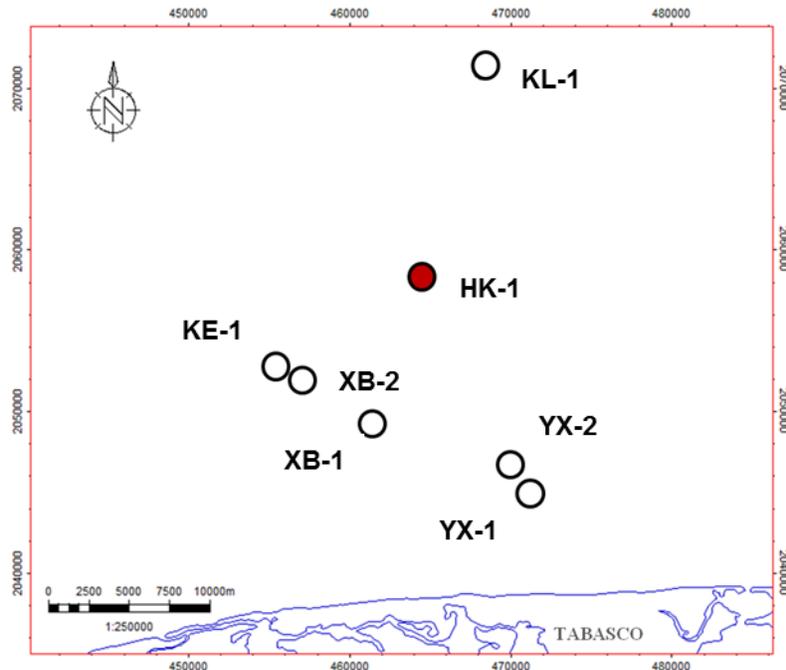


Figura II.1 Ubicación de pozos analizados.



Al mismo tiempo, también se identificaron las cimas y bases de los sellos presentes en cada secuencia, lo cual apoyó para definir los espesores de cada uno de ellos (Tabla II.2).

POZO	SELLO B			SELLO C			SELLO D			SELLO E		
	CIMA	BASE	ESPESOR									
HK-1	471	695	224	1005	1408	403	1757	1885	128	2430	2730	300
KL-1	918	1068	150	1410	1880	470	2070	2128	58	2590	2845	255
KE-1	700	823	123	1052	1392	340	2110	2770	660	3025	3075	50
XB-1	530	870	340	1247	2085	838	2870	3690	820	4295	4390	95
XB-2	610	945	335	1235	2146	911	2370	3190	820	3985	4067	82
YX-1	581	985	404	1697	2356	659	2865	3672	807	4047	4282	235
YX-2	458	751	293	1579	2520	941	2789	3649	860	4044	4279	235

Tabla II.2 Pozos, cimas y espesores

En los pozos analizados se definieron los espesores, donde se observó que en algunos de ellos se encontraron sellos de 50 m, como mínimo; (p.ej.) en el pozo Ke-1 a nivel del Mioceno Medio (Sello E), y los sellos más potentes en cuanto a su espesor, se visualizaron en el pozo Yx-1, con un espesor de aproximadamente 941 m para el Plioceno Inferior (Sello C); en el caso del pozo Hk-1, se determinaron valores mínimos de 128 m a nivel del Mioceno Superior (Sello D) y el de mayor espesor en el Plioceno Inferior (Sello C) con un espesor de 403 m (Tabla II.2).

Los espesores de los horizontes sellos están bien definidos; en los registros se observan los sellos identificados en los siete pozos analizados. (En la Figura II.2 se ilustran dos de ellos).

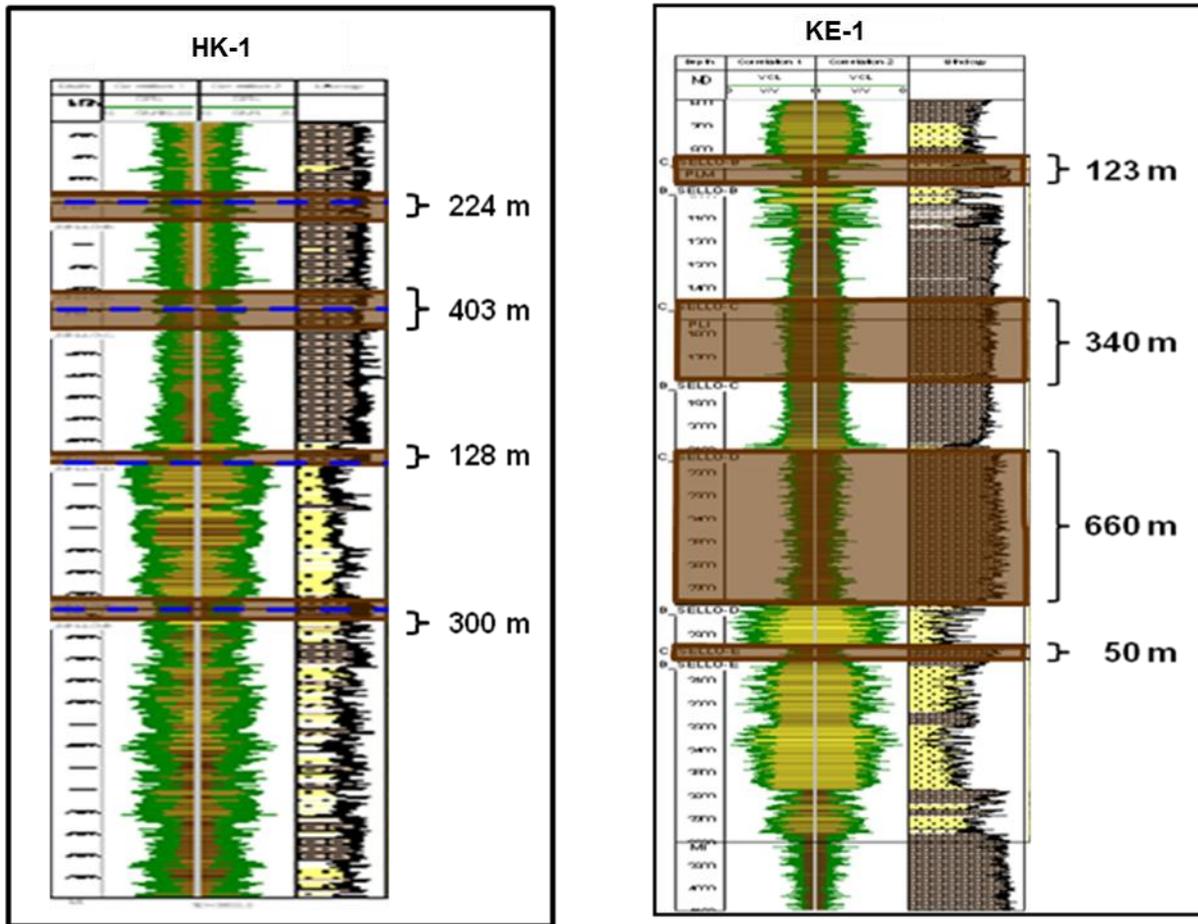


Figura II.2 Identificación de cimas y bases de los sellos en los registros geofísicos.

Se generaron tres secciones estratigráficas con los siete pozos, los cuales cubren toda el área de estudio; que ayudaron a identificar la correlación de cada uno de los posibles sellos y definir su continuidad, así como para conocer si son sellos locales o regionales.



En el siguiente mapa (Figura II.3) se muestra la ubicación de las secciones trazadas.

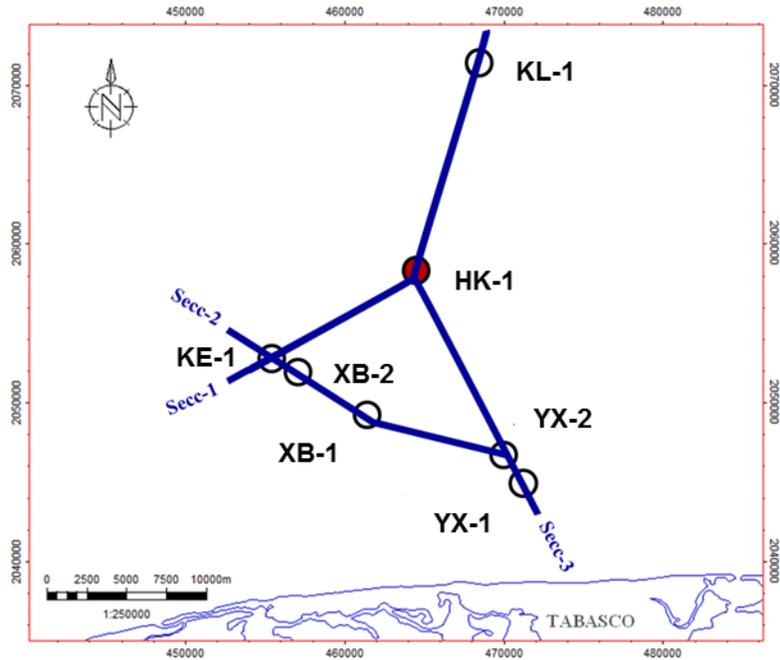


Figura II.3 Ubicación de secciones de correlación estratigráfica

Las secciones señaladas sirvieron de “amarre” para interpretar estratigráficamente los sellos identificados. Una de las etapas primordiales fue la interpretación de los patrones de facies en los registros geofísicos, partiendo de la secuencia más antigua y en el sentido del depósito, en la sección geológica, se definieron los patrones de paleo-sedimentación.

La caracterización de los potenciales sellos a partir del registro de rayos gama, fue con la identificación de los estratos arcillosos más cercanos a los intervalos productores o cuerpos de arenas identificados. Con base a estos criterios, se realizó el análisis litológico de cada uno de los pozos. Estas litofacies se encuentran representadas en su mayor parte por arcillas.



La sección-1 (Figura II.4) tiene una longitud aproximada de 24 km y una dirección suroeste-noreste, compuesta por los pozos Ke-1, Hk-1 y Kl-1. Los espesores de los cuerpos arcillosos del Mioceno Superior, se presentan como paquetes bien definidos en la parte SW de la sección, la cual se acuña conforme se avanza hacia la parte NE. El horizonte de roca sello del Mioceno Medio, es relativamente homogéneo en los tres pozos señalados en esta sección. Por otro lado, la secuencia del Plioceno Inferior presenta el mismo comportamiento de la anterior. Finalmente en la secuencia del Plioceno Medio los paquetes arcillosos son relativamente similares en su espesor, observándose un ligero adelgazamiento hacia el pozo Hk-1.

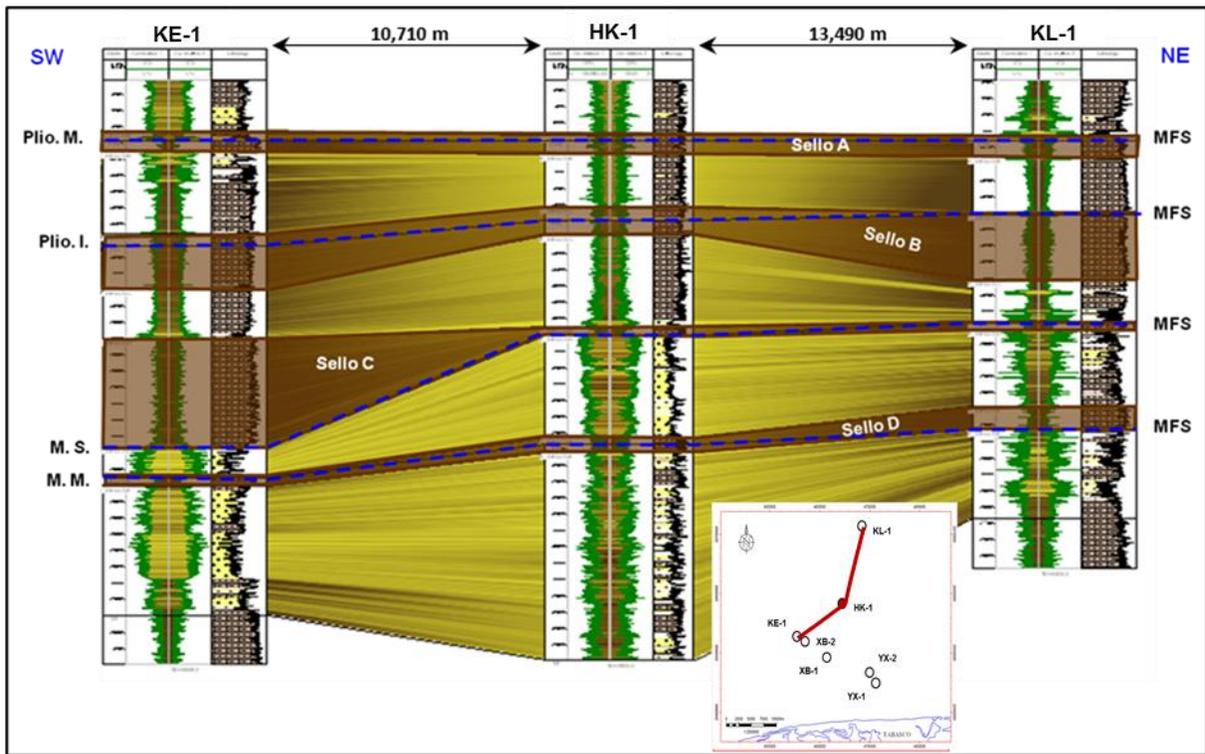


Figura II.4 Sección estratigráfica de Correlación 1



La sección-1, que pasa por los pozos Ke-1, Hk-1 y Kl-1 está orientado NE-SW y tiene una longitud aproximada de 24 km lineales (Figura II.5). La imagen sísmica es de regular calidad a lo largo de toda la sección, el nivel del Neógeno está afectado por un sistema de fallas normales de edad Mioceno-Plioceno. Se observan algunas intrusiones salinas hacia la parte Suroeste de la sección ubicada en el área de Ke, sin que estas afecten los niveles estratigráficos de los sellos analizados.

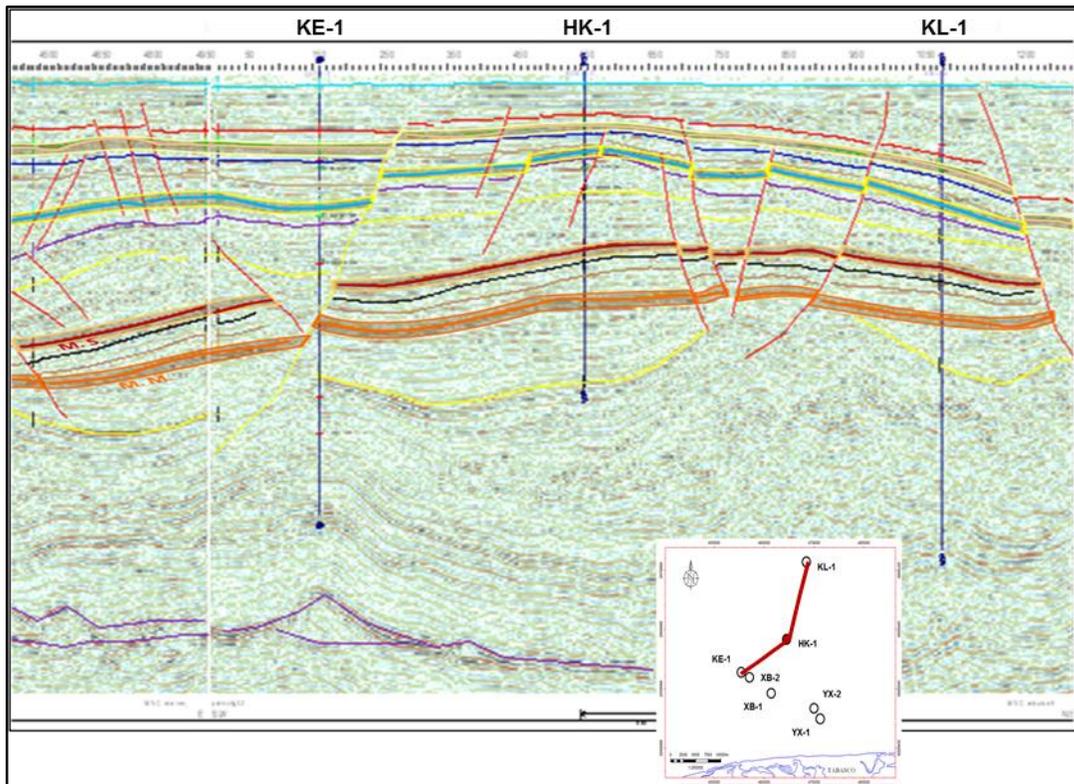


Figura II.5 Sección sísmica estructural 1



La sección-2 (Figura II.6), tiene una longitud aproximada de 18 km, en dirección noroeste-sureste; se observa que la secuencia del Mioceno Medio se presenta en paquetes arcillosos de menor espesor en los pozos Ke-1, Xb-2, Xb-1; incrementándose ligeramente hacia el pozo Yx-2, y acuñándose hacia el pozo Yx-1, debido a la presencia de la estructura salina. Las secuencias Mioceno Superior y Plioceno Inferior tienen espesores que se incrementan de manera considerable hasta unos 900 m; por lo que, se considera que son los de mayor desarrollo en esta área. La secuencia del Plioceno Medio contiene espesores de aproximadamente 200 m en los cinco pozos que componen a esta sección.

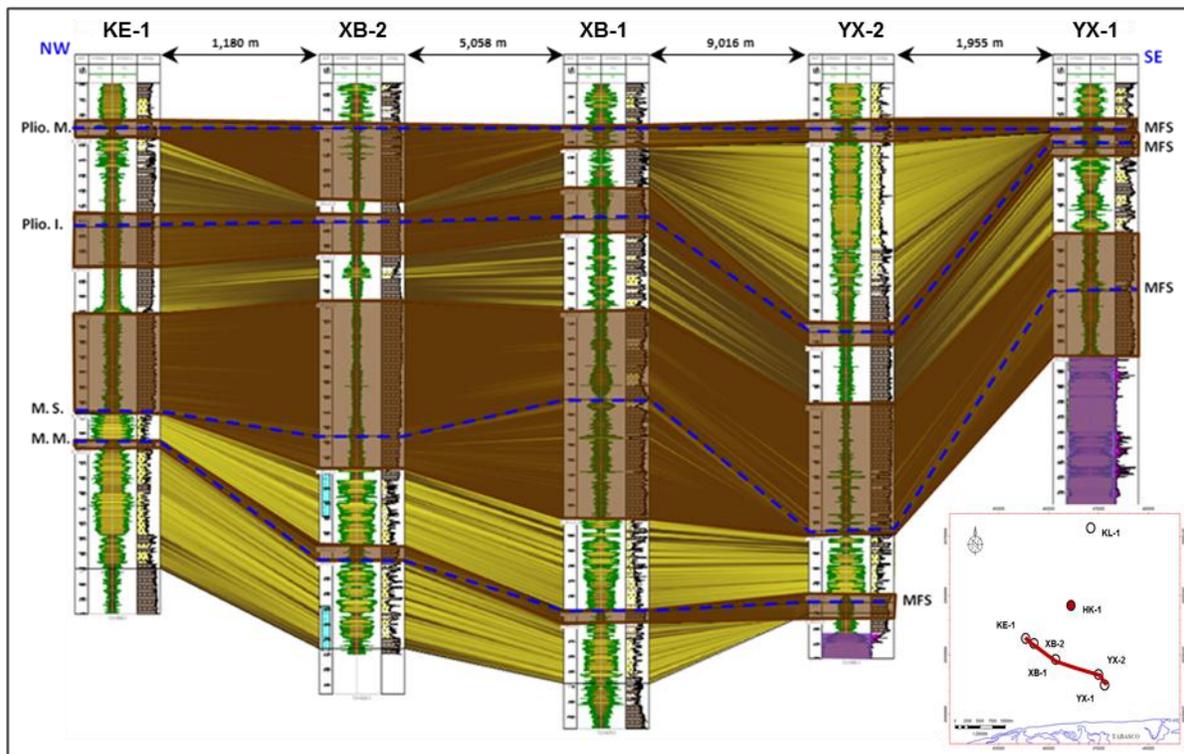


Figura II.6 Sección estratigráfica de correlación 2



En esta sección que se muestra en la figura II.7, se puede observar que, en general, presenta una buena definición en su imagen sísmica, observándose algunas pequeñas intrusiones salinas hacia la parte Sureste, en el área del campo Yx, que presenta un sistema de fallas normales regionales formando algunas estructuras anticlinales en el área Yx-Xb. También se observa un adelgazamiento en la parte Noroccidental de la sección a nivel del Mioceno Superior, esto se debe a que esta sección se va condensando hacia el norte-noroeste.

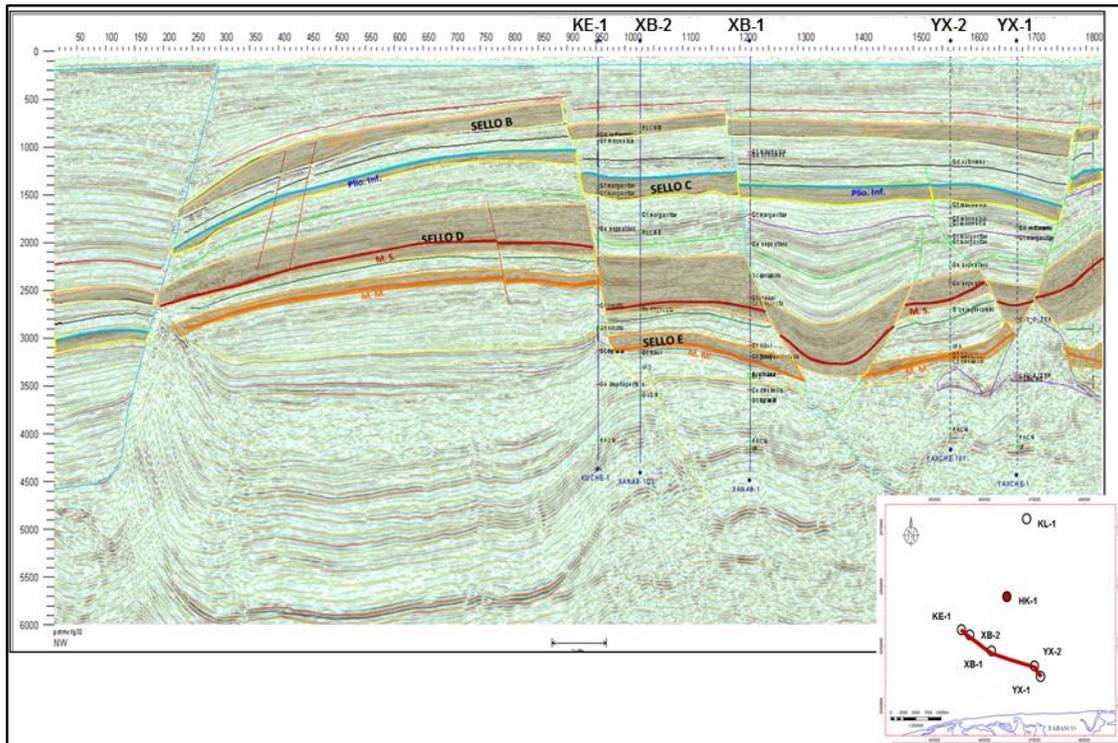


Figura II.7 Sección sísmica estructural 2



Una vez identificados los sellos en los registros, se realizó el mapeo de las cimas en cada uno de los diferentes niveles observándose que las profundidades oscilan entre los 2500 a 4500 m para el Mioceno Medio (sello E), 2000 a 3500 m para el Mioceno Superior (sello D), 1000 a 3500 m para el Plioceno Inferior (sello C) y de 500 a 2000 m para el Plioceno Medio (sello B) como se puede observar en la figura II.8.

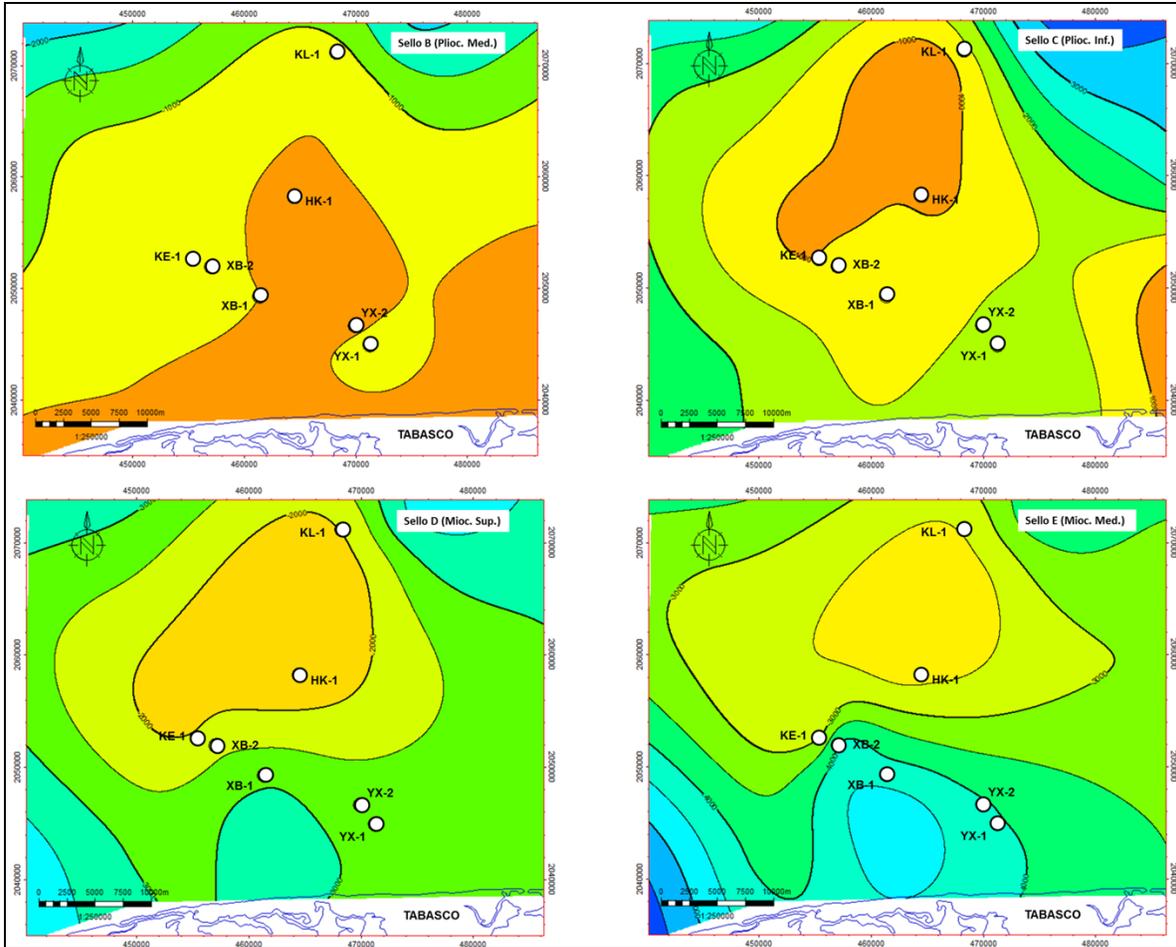


Figura II.8 Mapas de cimas de los sellos potenciales



II.1.1.2 Distribución, descripción y análisis litológico

Para realizar la caracterización de los sellos Mioceno Medio, Mioceno Superior, Plioceno Inferior y Plioceno Medio, a partir del registro de rayos gama. Se identificaron los patrones arcillosos más cercanos a los intervalos arenosos. Con base a estos patrones, se tomaron las descripciones petrográficas en los intervalos identificados en los siete pozos.

A continuación se muestran y describen imágenes de láminas delgadas de muestras de canal del pozo Hk-1, es importante mencionar que este tipo de análisis el cual fue realizado a cinco de los siete pozos que se encuentran en el área de estudio se observaron el mismo tipo de litología por lo que se consideró representativas para el área de estudio.

Para pozo Hk-1, en la figura II.9 se observan imágenes de láminas delgadas de los intervalos 2430-2435, 2600-2605 y 2685-2690 m correspondientes al sello E (Mioceno Medio); en la cual se pueden observar dos litologías, la primera que es la de mayor presencia corresponde a fragmentos de lodolitas y lodolitas ocasionalmente limosas, los escasos granos que las conforman son de cuarzo monocristalino y micas; presentan alto contenido de matriz de composición arcillosa, parte de ella posee hábito micáceo tipo illita (autigénica).

La segunda litología observada de manera dispersa, está constituida por algunos granos de cuarzo monocristalino y policristalino.

Al mismo tiempo se puede observar que ninguno de los fragmentos aquí presentes poseen porosidad intergranular.

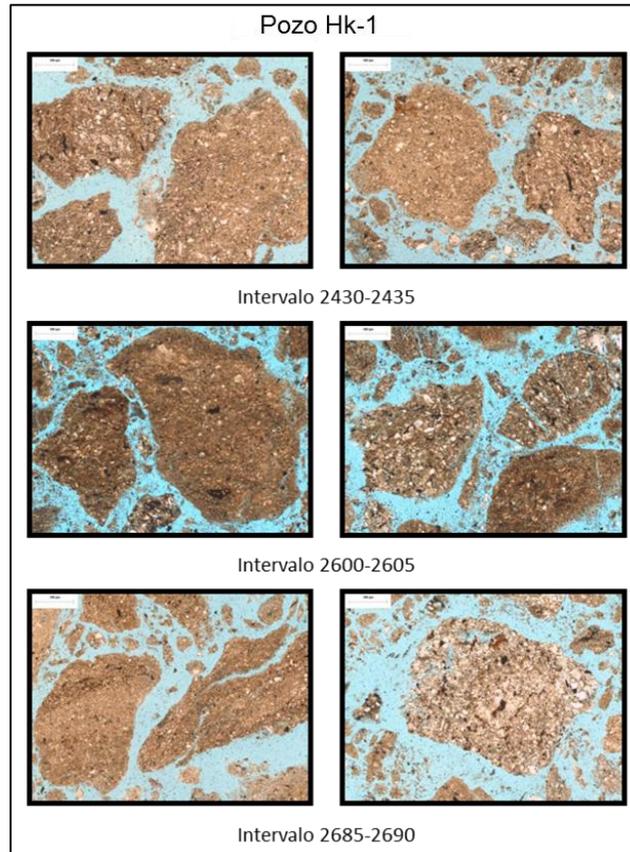


Figura II.9 Análisis Litológico Pozo Hk-1; Sello E (Mioceno Medio)

En la figura II.10 se observan las imágenes de láminas delgadas de los intervalos 1760-1765, 1830-1835 y 1870-1875 m del pozo Hk-1 correspondientes al sello D (Mioceno Superior) en el cual se presenta una litología de mayor presencia de lodolitas y lodolitas limo-arenosas, constituidas por granos de cuarzo monocristalino, micas, feldespatos plagioclasas y fósiles (foraminíferos planctónicos). Su abundante matriz es de composición arcillosa, parte de ella autigénica con hábito micáceo tipo illita.

También se observaron en muy bajo porcentaje algunas areniscas de grano fino (0,2mm de diámetro). Sus componentes son granos de cuarzo monocristalino, feldespatos plagioclasas, micas, líticos volcánicos y pedernal. Se presenta abundante matriz arcillosa, parte de ella autigénica. Ninguno de los fragmentos estudiados posee porosidad intergranular.

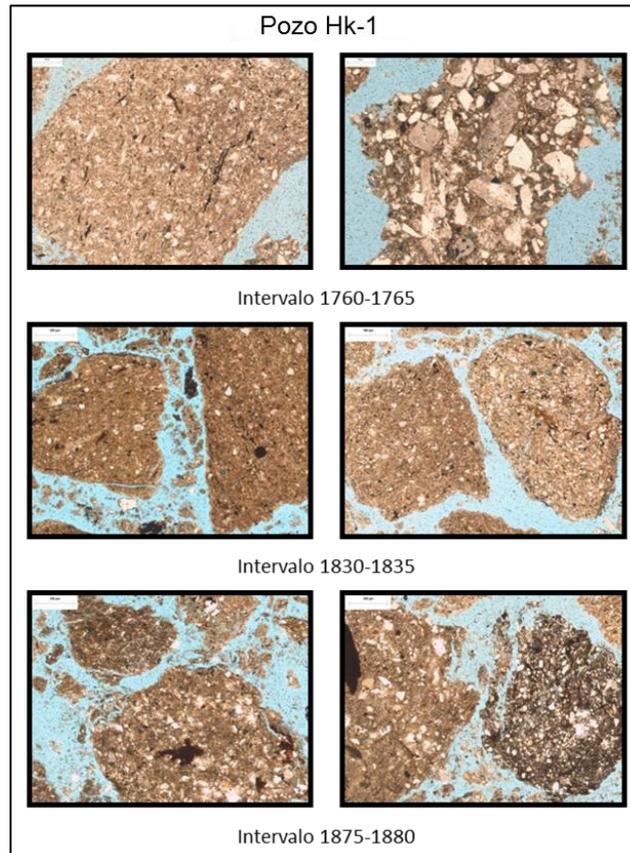


Figura II.10 Análisis Litológico Pozo Hk-1; Sello D (Mioceno Superior)

Para la figura II.11 se observan las imágenes de láminas delgadas del pozo Hk-1 de los intervalos 1190-1195, 1290-1295 y 1395-1400 m que corresponden al sello C (Plioceno Inferior), la cual está conformada por una litología dominante que corresponde a fragmentos de lodolitas y en ocasionales lodolitas escasamente limosas; los fragmentos están constituidos por escasos granos de cuarzo monocristalino y micas, en algunos fragmentos se observaron ocasionales fósiles (foraminíferos planctónicos), presentan abundante matriz arcillosa gran parte de ella posee habito micaceo tipo illita (autigénica). Ninguno de los fragmentos presentes posee porosidad intergranular.

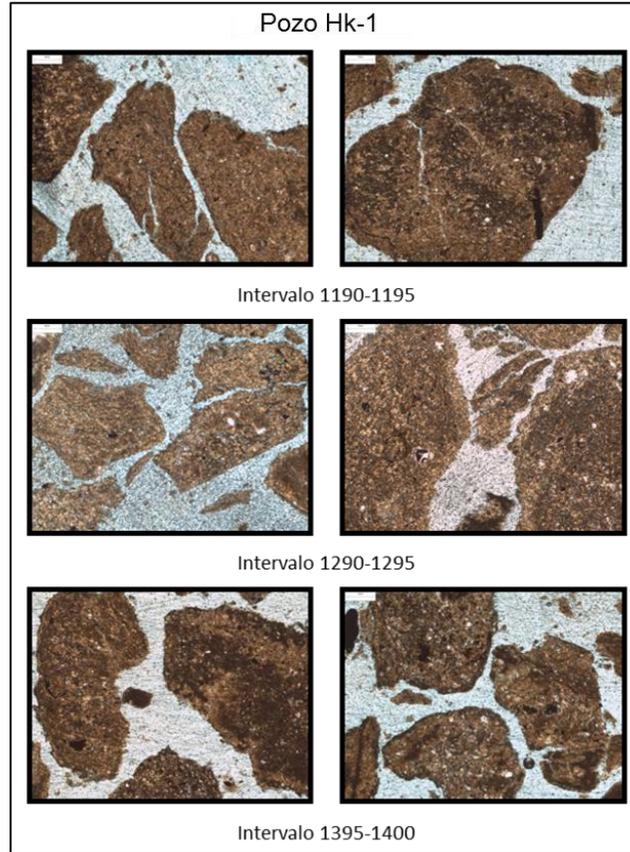


Figura II.11 Análisis Litológico Pozo Hk-1; Sello C (Plioceno Inferior)

De manera general del análisis litológico de cada uno de los pozos, se identificó en el área de estudio una litofacies que se observa en los paquetes de sellos depositados en el Mioceno Medio, Mioceno Superior, Plioceno Inferior y Plioceno Medio, respectivamente; esta litofacies está representada en su mayoría por lutita arenosa con trazas de mudstone el cual será representado en el mapa de litofacies.



II.1.1.3 Descripción de litofacies

Con base en las secciones de correlación y a las descripciones petrográficas se identificó una litofacies principal en cada uno de los sellos posibles.

En la figura II.12 muestra los mapas de litofacies de los sellos Plioceno Medio (Sello B), Plioceno Inferior (Sello C), Mioceno Superior (Sello D) y Mioceno Medio (Sello E), la litofacies identificada la cual corresponde a lutita arenosa con trazas de mudstone, esta facies está presente en toda el área de estudio.

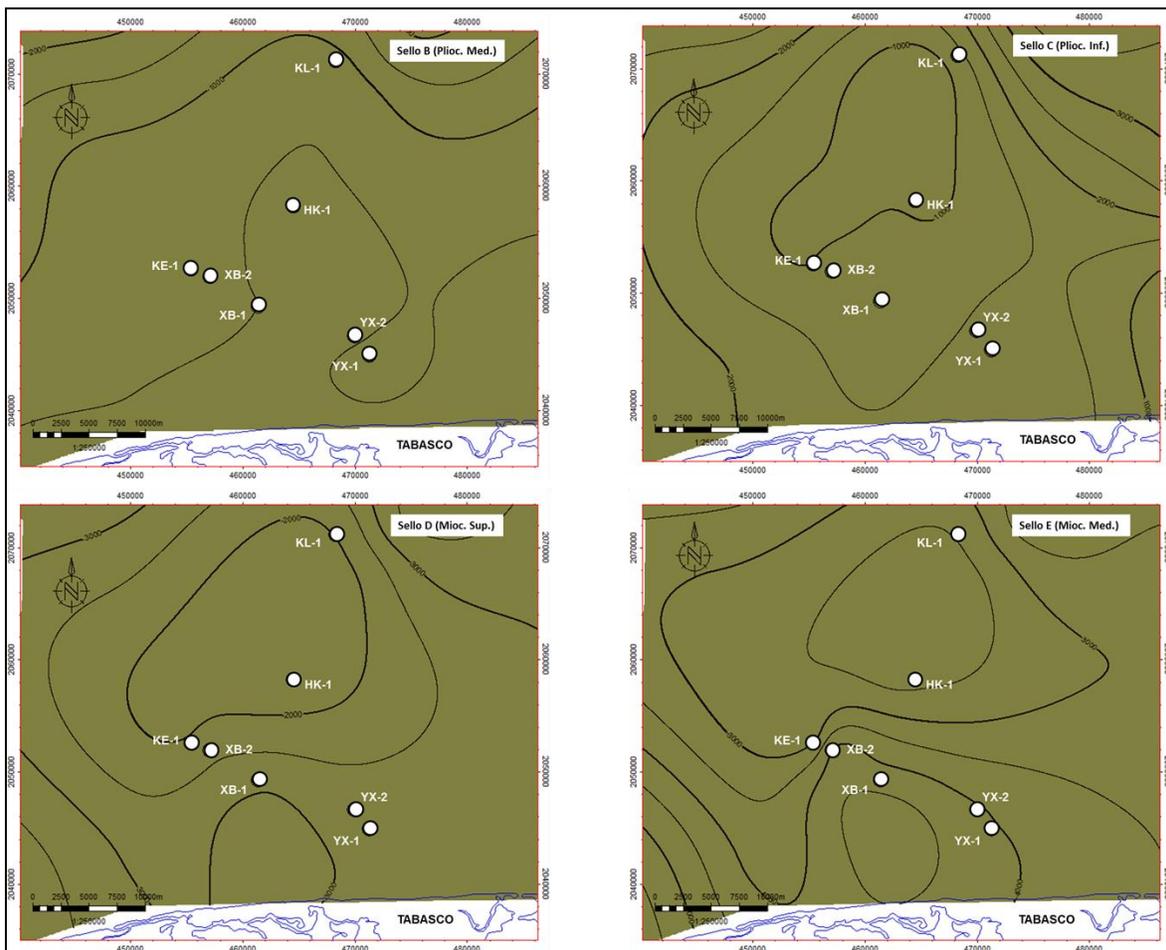


Figura II.12 Mapas de litofacies de los horizontes sello



II.1.1.4 Paleoambientes de depósito

Los ambientes considerados en el presente trabajo se tomaron del informe correspondiente al Estudio Integración y Actualización de Plays Terciarios 2010.

Los paleoambientes de plataforma y de talud, en el área de estudio durante el Neógeno se presentan en los niveles Plioceno Medio (Sello B), Plioceno Inferior (Sello C) y Mioceno Superior (Sello D). Por otro lado, el de talud se interpreta en el nivel Mioceno Medio (Sello E) figura II.13.

Estos depósitos provinieron de la plataforma ubicada en la parte sur del área de estudio y se distribuyeron de manera progradante hacia el talud.

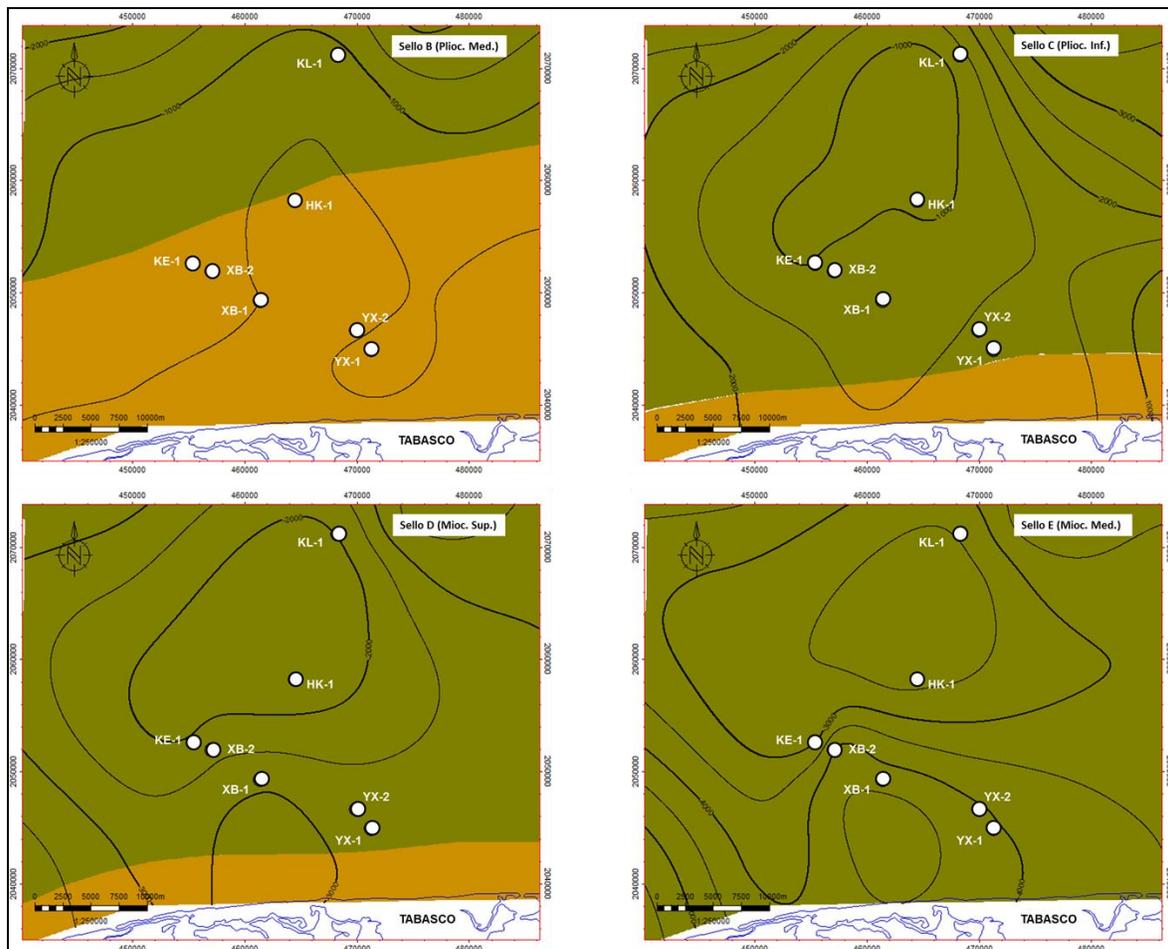


Figura II.13 Mapas de paleoambientes sedimentarios



II.1.2 Mapa de Isopacas

Considerando las cuatro superficies de máxima inundación identificadas en los registros de rayos gamma; se definieron la cima y la base de los sellos potenciales en los cuatro niveles estratigráficos terciarios de los siete pozos. A partir de los cuales se obtuvieron los espesores con los que finalmente se generaron los mapas de isopacas, que muestran la distribución de espesores de los sellos en el área de estudio.

En el mapa de la figura II.14, se muestra la distribución de isopacas del potencial sello del Plioceno medio, el cual presenta una variación entre 100 a 400 m. En la parte norte se encuentra la franja de menor espesor, de acuerdo con lo penetrado en el pozo KI-1.

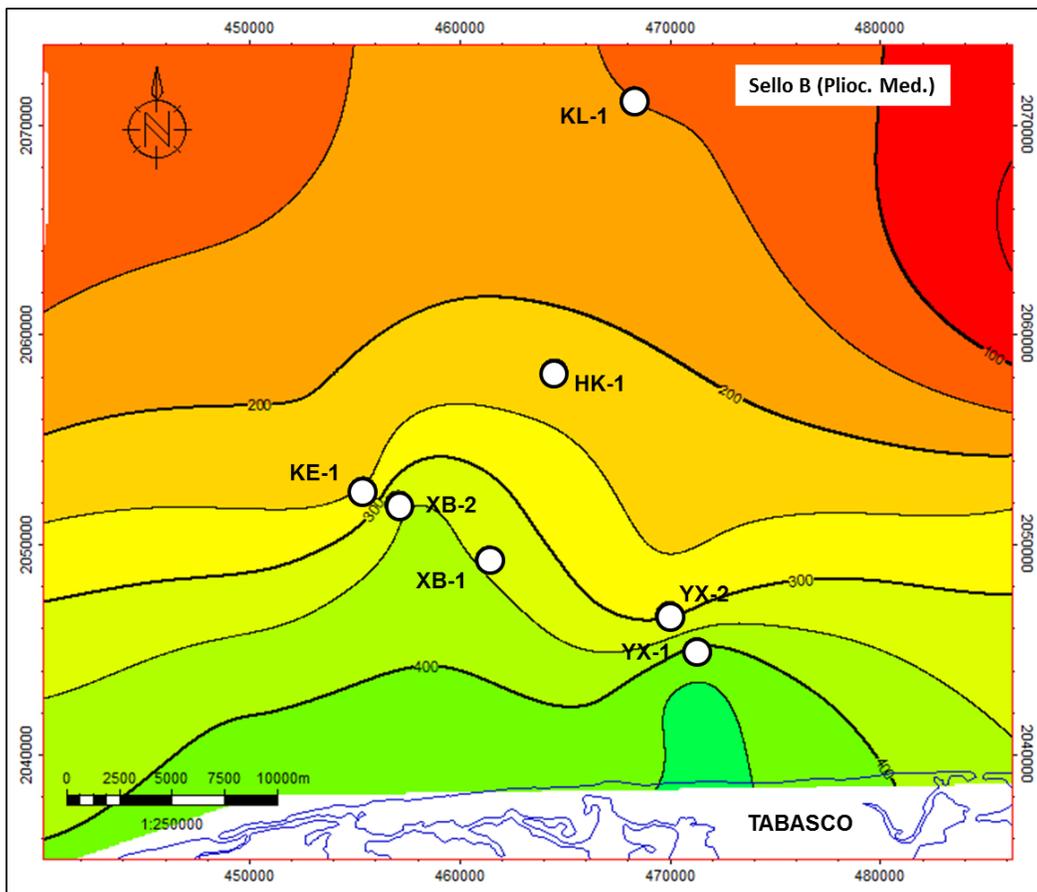


Figura II.14 Mapa de Isopacas del Sello B (Plioceno Medio)



Para el mapa de la figura II.15, las isopacas del potencial sello Plioceno Inferior, presentan espesores de 200 a 800 m, donde se observa que en la parte central-sur del área de estudio se encuentra la zona de mayor espesor del sello; esto debido al aporte del sedimento el cual proviene del continente.

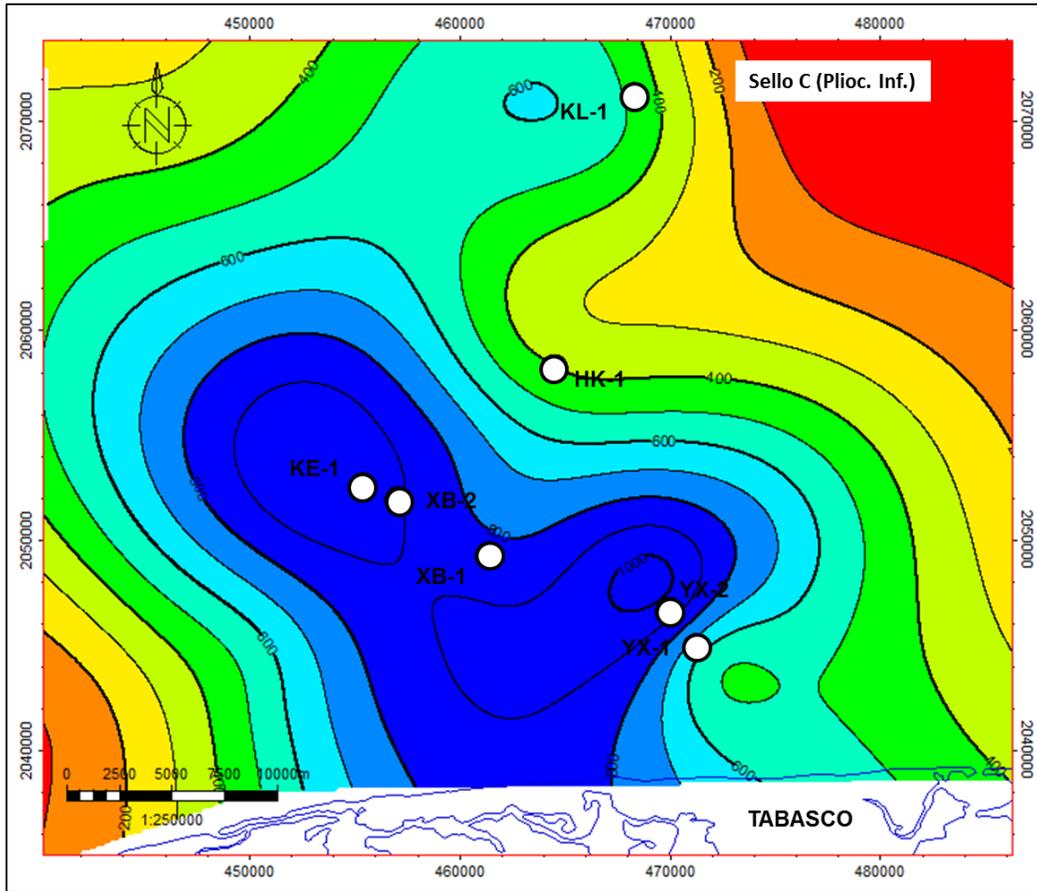


Figura II.15 Mapa de Isopacas del Sello C (Plioceno Inferior)



Las isopacas del potencial sello del Mioceno Superior que se muestran en la figura II.16, se observan que varían de 100 a 900 m. Los espesores más potentes están distribuidos en parte central-sur del área de estudio, disminuyendo paulatinamente hacia su porción norte, que corresponde a la parte distal del aporte de los sedimentos.

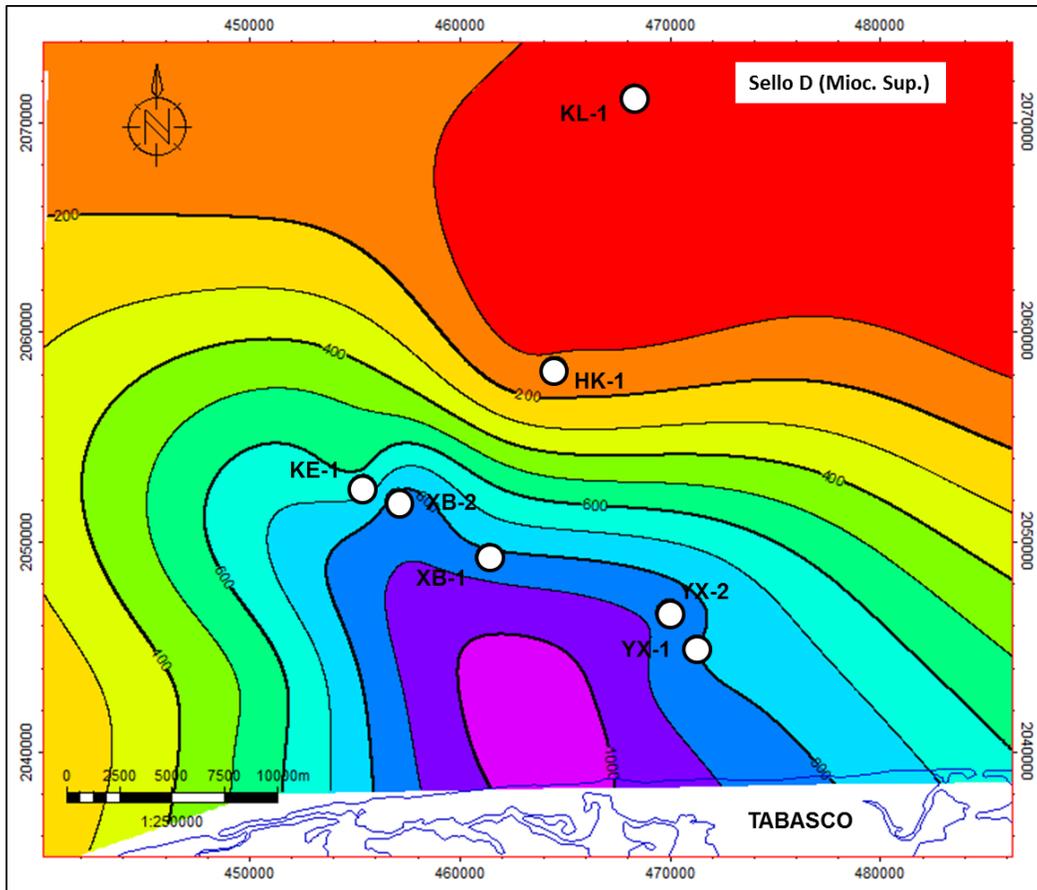


Figura II.16 Mapa de Isopacas del Sello D (Mioceno Superior)



Las isopacas del sello potencial del Mioceno Medio (figura II.17) varían de 100 a 300 m. siendo los espesores más potentes en la parte central-norte del área de estudio, en la cual se localizan los pozos Hk-1 y Kl-1; y los de menor espesor tienden hacia el occidente donde se encuentran localizados los pozos Ke-1, Xb-1 y Xb-2.

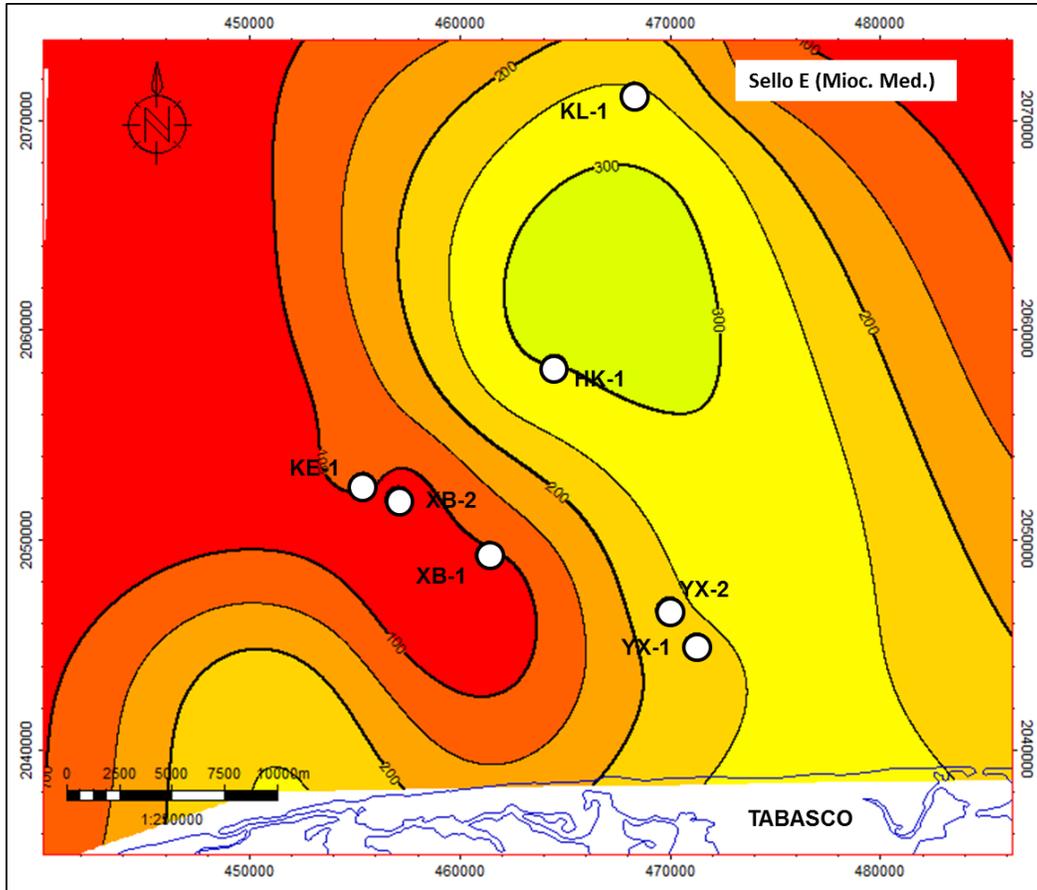


Figura II.17 Mapa de Isopacas del Sello E (Mioceno Medio)



II.2 Efectividad de la roca sello

Se analizó la información de la base de datos para la evaluación de la efectividad de la roca sello, dicha información está conformada por las porosidades efectivas, resultados de análisis petrofísicos de núcleos, registros geofísicos de pozos (GR, NPHI, RHOB, resistivo y sónico), velocidades de intervalo, pruebas de goteo, presión de yacimiento y curvas de densidad de lodos (Rotenco).

La evaluación se realizó obteniendo los datos de la porosidad efectiva promedio, la generación de X-Plot para obtener el contenido mineralógico (Torio y Potasio), así como el cálculo de potencial de sello mecánico (PTSELL), derivado este último, de la presión de poro y el gradiente de fractura en cada uno de los intervalos identificados como sellos potenciales de los diferentes plays analizados. Posteriormente se construyeron los mapas de distribución de estos parámetros y finalmente, los mapas de riesgo de efectividad del sello.

II.2.1 Porosidad efectiva promedio

La determinación de la porosidad efectiva promedio, para los sellos del Mioceno Medio (sello E), Mioceno Superior (sello D), Plioceno Inferior (sello C) y Plioceno Medio (sello B); se basó en el análisis estadístico de los valores de porosidad efectiva de la curva PIGN, tomada de la evaluación petrofísica de cada uno de los pozos analizados en este estudio.

POZO	SELLO B	SELLO C	SELLO D	SELLO E
	ϕ_e	ϕ_e	ϕ_e	ϕ_e
HK-1	0.007	0.002	0.003	0.001
KL-1	0.002	0.003	0.008	0.007
KE-1	0.034	0.001	0.001	0.001
XB-1	0.027	0.002	0.007	0.002
XB-2	0.005	0.001	0.001	0.009
YX-1	0.014	0.024	0.003	
YX-2	0.022	0.001	0.011	0.001

Tabla II.3 Porosidades efectivas promedio



Con base a los datos de la tabla II.3, se procesaron los mapas de porosidad efectiva promedio para cada horizonte estratigráfico.

En el mapa de porosidad efectiva promedio para el sello potencial del Plioceno medio (sello B) Figura II.18, se definen dos zonas representativas con datos de pozos, cuyos valores de porosidad son menores al 4 %, ubicadas estas, del centro hacia el norte del área de estudio, donde se encuentran los pozos Xb-2, Yx-1, Yx-2, Hk-1 y Kl-1; la segunda zona corresponde a la parte central-sur del área, localizándose los pozos Ke-1 y Xb-1. Las zonas con porosidades mayores al 4% son debidas a la interpretación de la tendencia extrapolada.

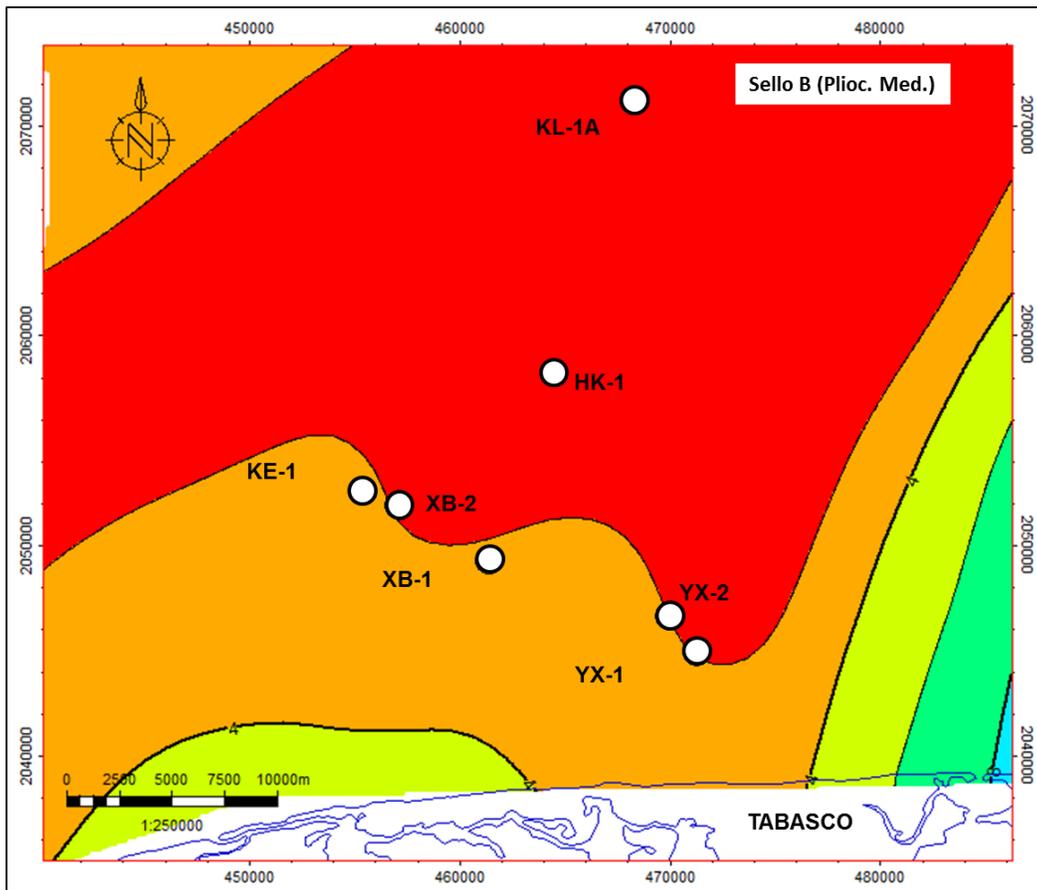


Figura II.18 Mapa de porosidad efectiva promedio del Sello B (Plioceno Medio)



La distribución de porosidad efectiva promedio del potencial sello del Plioceno Inferior (sello C), muestra que las porosidades más alta son del 2% en la parte sur del área, la cual está dada por el dato del pozo Yx-1; en la mayor parte del área se observa una porosidad menor al 1%. Estos datos fueron obtenidos de los pozos Yx-2, Xb-1, Xb-2, Ke-1, Hk-1 y Kl-1; como se observa en la figura II.19.

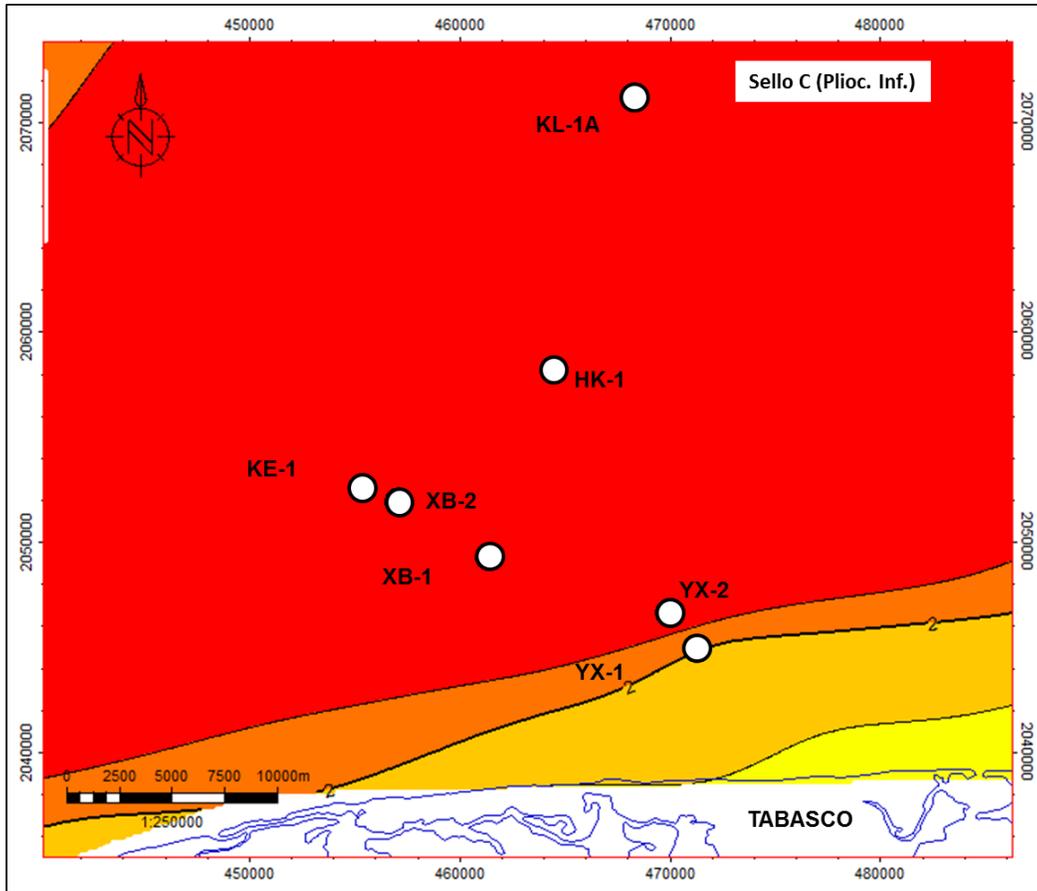


Figura II.19 Mapa de porosidad efectiva promedio del Sello C (Plioceno Inferior)



El mapa de distribución de la porosidad efectiva promedio del sello potencial del Mioceno Superior (sello D) se ilustra en la figura II.20, y tiene el mismo comportamiento del mapa antes descrito, en el cual se observa que las porosidades más altas del 2% se observan en la parte sur del área de estudio. Estos datos fueron calculados en el pozo Yx-2. Por otro lado, en la parte central del área, las porosidades son menores o igual al 1% y presentan una dirección Oeste-Noreste.

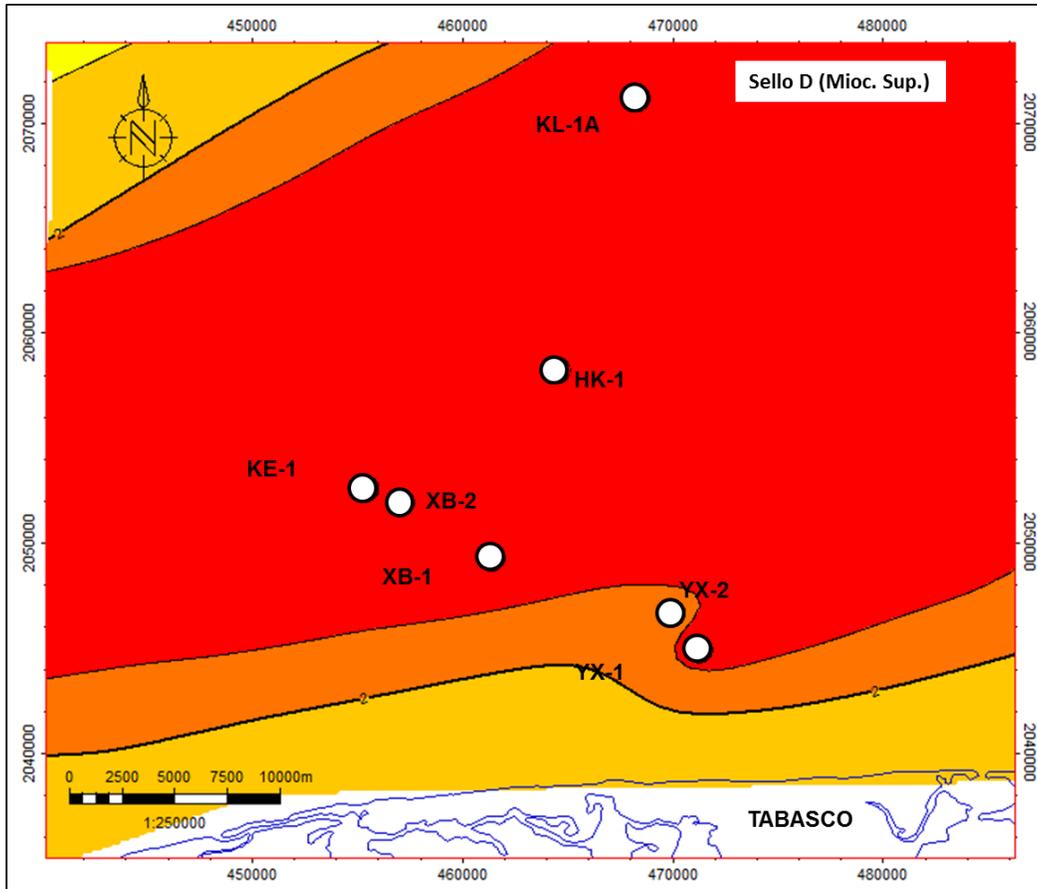


Figura II.20 Mapa de porosidad efectiva promedio del Sello D (Mioceno Superior)



En la figura II.21, se muestra la distribución del sello potencial del Mioceno Medio (sello E) como una franja en la parte norte del área de estudio con valores menores al 1%; estos datos indican que en este nivel predominan los horizontes arcillosos y compactos, el consecuente resultado de bajas o nulas porosidades.

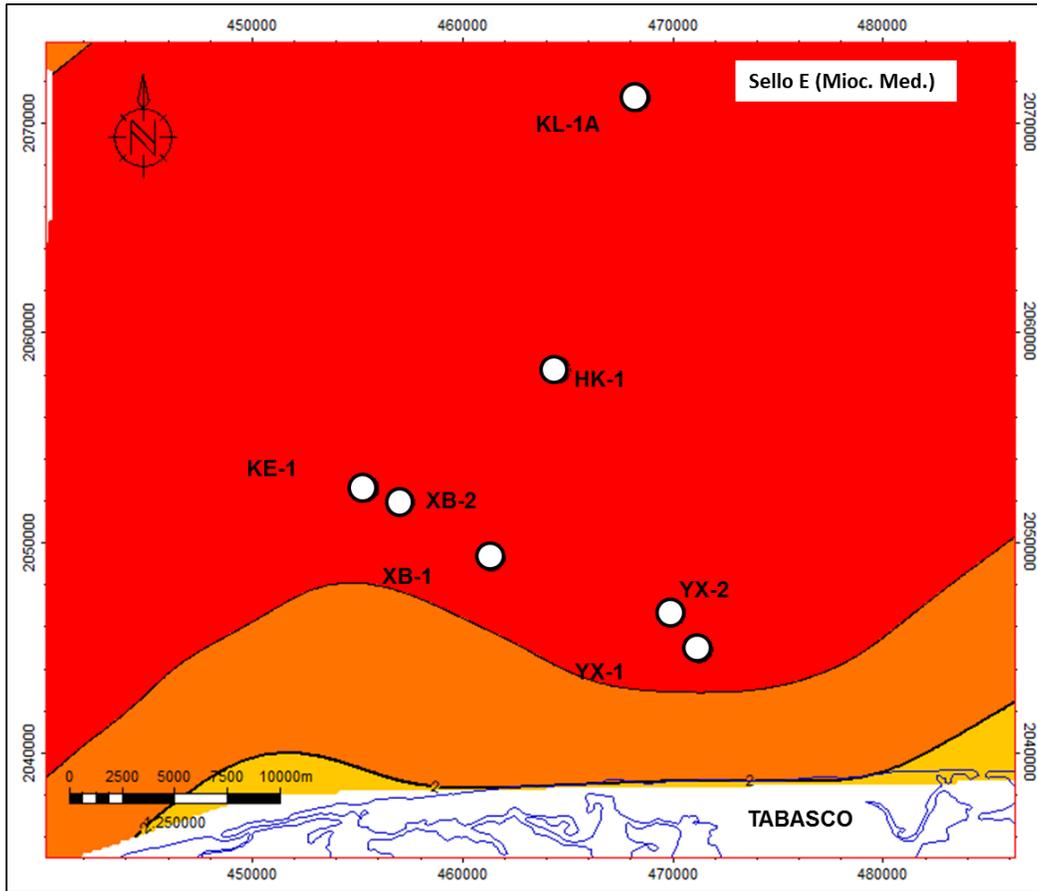


Figura II.21 Mapa de porosidad efectiva promedio del Sello E (Mioceno Medio)



II.2.2 Análisis y contenido mineralógico

Se analizaron muestras seleccionadas de los pozos Hk-1, Xb-1 y Yx-2, a una resolución de 10 y 50 micrones.

Las muestras fueron limpiadas, colocadas en un bloque de resina, pulidas y recubiertas con carbón. Inicialmente se miden los electrones retrodispersados y esto corresponde a las detecciones de la superficie de peso atómico, y la brillantez de la imagen refleja la composición química. Posteriormente se usa un corte de retrodispersión para identificar los fragmentos de roca y luego se analizan estos mediante detectores, lo que brinda un mapa mineralógico de cada muestra. Estos datos se pueden manipular mediante el programa para producir un análisis del contenido mineralógico de la roca, la litotipificación y la información sobre textura como el tamaño de los granos. Además de los datos elementales también se pueden cuantificar las mediciones para cada punto analizado.

A continuación se presenta un resumen de la mineralogía obtenida de las muestras analizadas con una visualización para reconocer las litologías dominantes presentes en los pozos, los datos de la abundancia mineralógica y los datos de minerales pesados en los pozos (Hki-1, Xb-1, Yx-2).



Pozo Hk-1, Intervalo de muestreo 1815m a 1823m (Mioceno Superior-Sello D)

El análisis indica que los minerales más abundantes a través de la sección analizada son los minerales arcillosos illita/moscovita, clorita, esmectita y caolinita (14% a 40% del volumen). La illita es el más abundante de los minerales arcillosos con un promedio de 50.5% del total de las arcillas, seguido de la caolinita con un 43.5%. Los carbonatos incluyen calcita, dolomita y sus variedades ferrosas son menos abundantes (0.5% - 19% del volumen). La calcita es el más dominante y se presenta tanto en granos detríticos así como en cementante. La pirita está presente a través de la sección analizada en baja abundancia con valores que van en un rango de 0.06% al 3.9% del volumen. La alta proporción de feldespatos sugieren un sedimento inmaduro cercano a la fuente con un menor grado de alteración por medio de diagénesis.

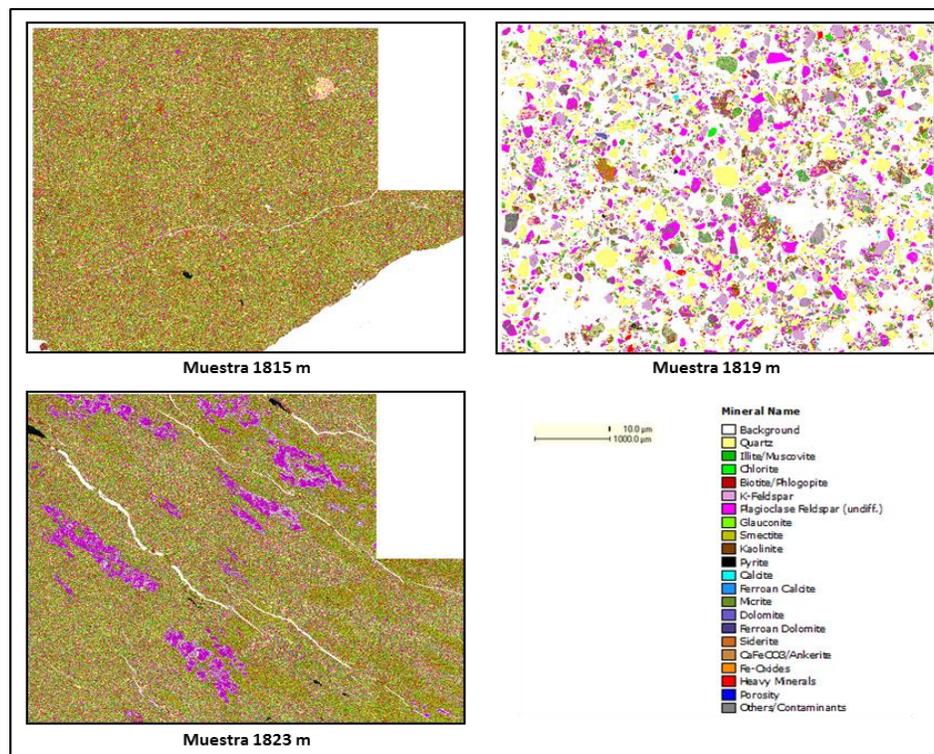


Figura II.22 Láminas del contenido mineralógico que muestra algunos intervalos del Sello D (Mioceno Superior)



La sección superior del pozo Hk-1, es una mezcla de material de cuarzo mal clasificado y una alta pero variable entrada de arcillas que se incrementa hacia abajo (24.36% del volumen). La illita y la caolinita son las arcillas dominantes y existe una menor presencia de clorita y esmectita. Los contenidos de cuarzo varían entre el 18% y el 53% decreciendo hacia abajo, los carbonatos y la micrita son bajos en abundancia promediando 1.69% y 1.57% respectivamente. La halita tiene una notable presencia en este intervalo, así como la glauconita. Dos tipos de muestra están presentes a través de este horizonte, una que presenta arcillas finas con buena clasificación y otra más feldespática con mala clasificación y granos con más alta angulosidad. Estas también pueden estar y pueden sugerir variados y rápidos cambios en las condiciones del flujo de la corriente, con posible flujo de escombros representados por unidades más gruesas, separados por periodos más tranquilos de sedimentación, permitiendo así que el material arcilloso se acumule. Esto es más común en un escenario marino somero de plataforma continental (figura II.22 y II.23).

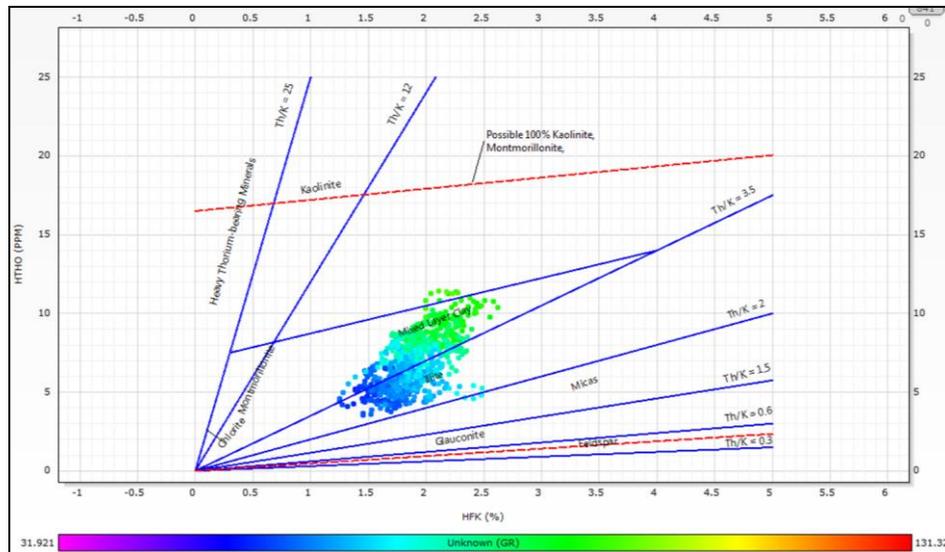


Figura II.23 Cross-Plot del contenido mineralógico del Sello D (Mioceno Superior)

Pozo Hk-1, Intervalo de muestreo 2536m a 2544 m (Mioceno Medio-Sello)



E)

En este intervalo muestra un retorno similar en la mineralogía al intervalo del sello C (Plioceno inferior) con un contenido de material arcilloso. La illita sigue siendo el mineral arcilloso dominante aportando el 54% del total de las arcillas del horizonte, la caolinita (media de 40%) es un poco menor que en el resto del pozo y la clorita y la esmectita se mantienen. Los feldespatos son consistentes con el resto del pozo (28% del volumen) con las plagioclasas como las más abundantes aportando 61% del total de los feldespatos en promedio. La contribución de los carbonatos sigue siendo similar al horizonte medio (3.3% del volumen) siendo la calcita el carbonato con mayor contribución con un 60% del total de los carbonatos, la dolomita aporta un 30% y las variedades ferrosas contribuyendo con la parte restante. La micrita sigue contribuyendo poco en el intervalo (1.8% del volumen). La glauconita muestra un ligero incremento (3.2% del volumen). Las muestras en este horizonte son predominantemente grauvacas arcosas (muestras 2541 m y 2542 m). Las tendencias y texturas mineralógicas sugieren un ambiente de depósito que es similar a la zona superior, con flujos de escombros en pendientes de alto relieve seguido por condiciones de flujos más tranquilos y rápidas variaciones temporales (figura II.24 y II.25).

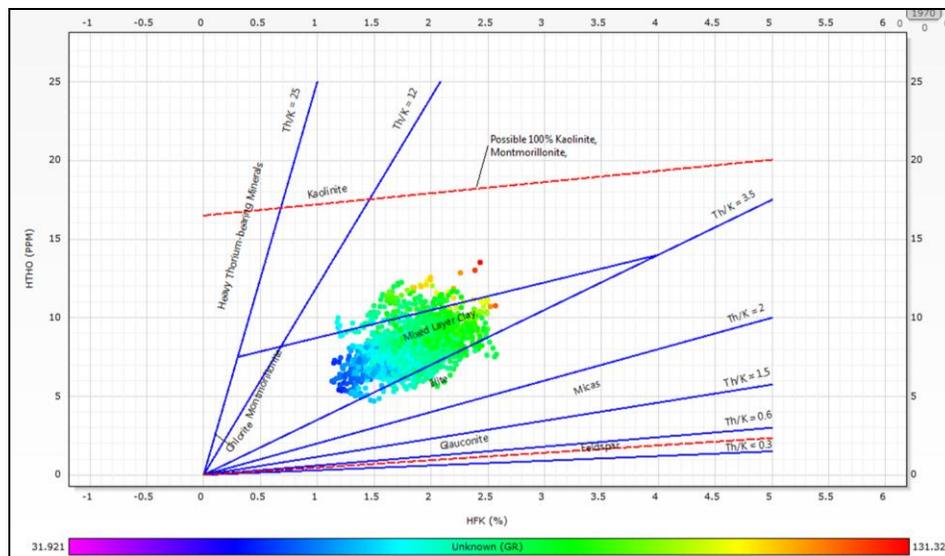


Figura II.24 Cross-Plot del contenido mineralógico del Sello E (Mioceno Medio)

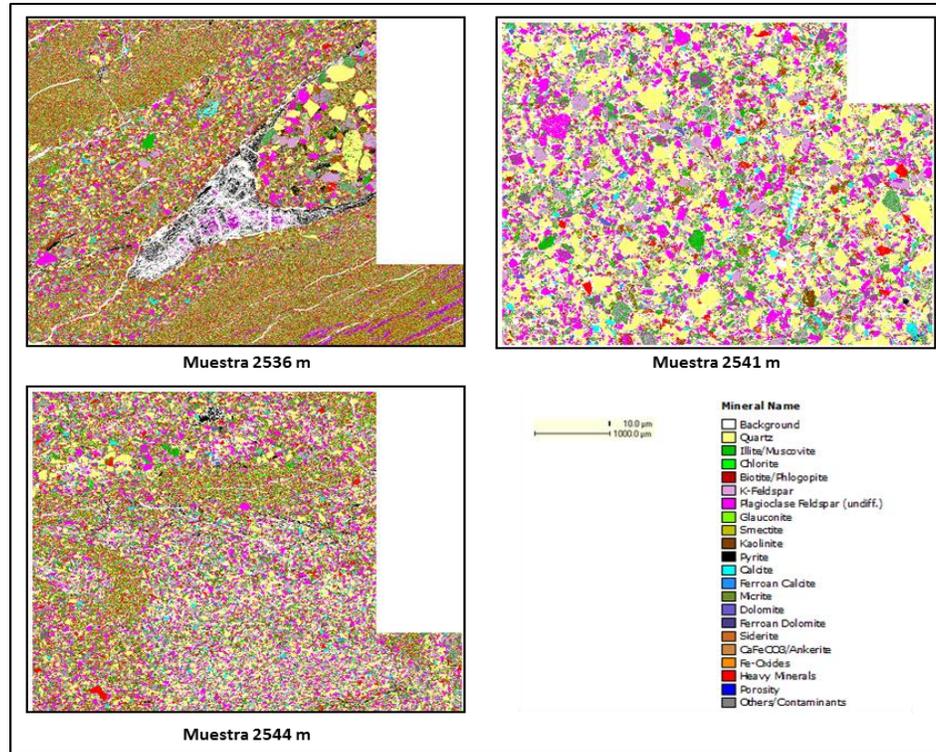


Figura II.25 Láminas del contenido mineralógico que muestra algunos intervalos del Sello E (Mioceno Medio)

Pozo Xb-1, Intervalo de muestreo 3492m a 3500m (Mioceno Superior-Sello D)

El análisis del pozo Xb-1 muestra que los minerales más abundantes a través de la sección estudiada son el cuarzo (11.51% - 38.76%), plagioclasas (5.41% - 38.08%) y la illita/moscovita (6.58% 36.67%). Junto con la illita/moscovita, otros minerales arcillosos son relativamente altos en abundancia como la caolinita (en un rango de 1.96% a 19.16%). La esmectita presenta variaciones a lo largo de la sección (0.01% y 17.04%). Los carbonatos están relativamente en baja proporción, todos con menores al 10%. El carbonato más abundante es la micrita con un 7.5%.



La unidad más alta estudiada en el intervalo (3492m a 3500m) se compone principalmente de material arcilloso, con un contenido total de arcillas de 58% del total de la muestra. También se presentan granos finos de cuarzo (14.31% en promedio) y feldespatos plagioclasas (15.73% en promedio), la parte superior de la unidad de Xb-1 sugiere un ambiente de depósito de baja energía con algunas entradas de clastos (figura II.26).

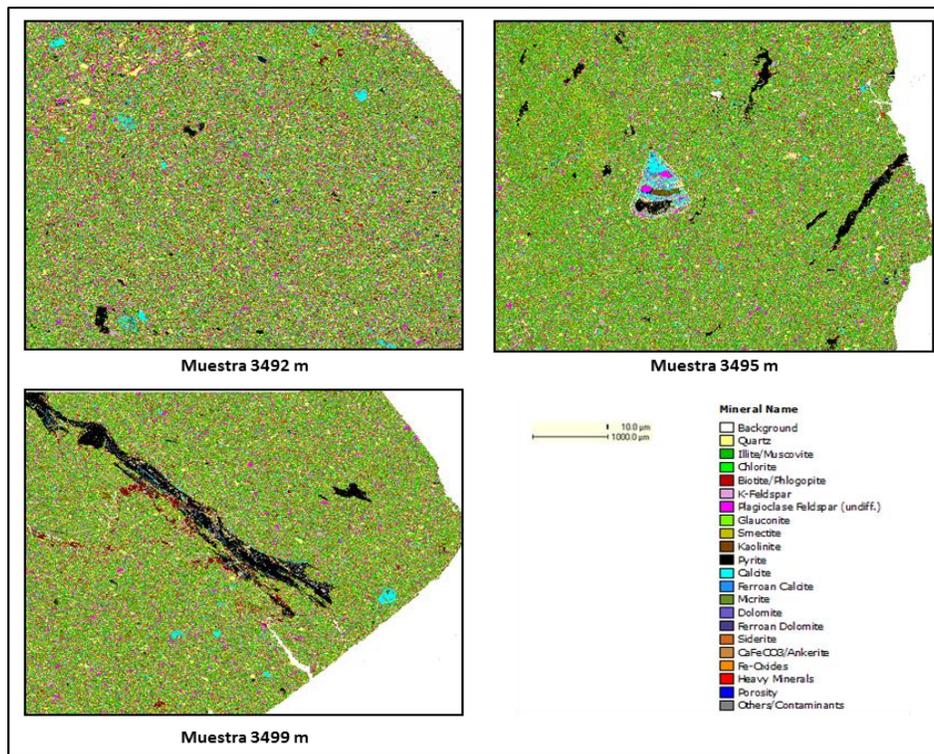


Figura II.26 Láminas del contenido mineralógico que muestra algunos intervalos del Sello D (Mioceno Superior)



Pozo Xb-1, Intervalo de muestreo 3785m a 4391m (Mioceno Medio-Sello E)

En el intervalo de 3785m y 4370 m, el contenido mineralógico sugiere un cambio en el ambiente de depósito. El incremento en la abundancia de cuarzo que pasa de un 14.31% en la sección suprayacente a 27.85% en esta sección, lo hace ser el mineral más dominante. El material arcilloso disminuye drásticamente a los 3500m para presentar un promedio de 32.62%. Los feldespatos muestran un ligero incremento representando un 18.80% a lo largo de esta sección. Junto con esto, los datos muestran un incremento en los carbonatos en la parte inferior del pozo, pasando de una abundancia de 3.48% en la sección suprayacente a 8.02% entre los 3785m y los 4370m.

Existe un aumento significativo en el contenido de minerales pesados entre los 3960m y los 3990m incrementando la abundancia de estos para tener 12.76%. La hornblenda es el mineral pesado más abundante en este intervalo con un 10.19% entre los 3785m y los 4370m incluyendo piroxeno (1.64% en promedio) y rutilo/anatasa (1.49% en promedio).

Entre 3785m y 4370m el ambiente de depósito se sugiere que es de mayor energía debido al decremento en el material arcilloso y el dramático incremento del cuarzo.

La unidad inferior estudiada en el intervalo (4383m – 4391m) muestra un cambio marcado en la mineralogía, tanto los minerales carbonatados como minerales arcillosos decrecen a 3.49% y 20.66% respectivamente. El total de contenido de feldespatos se incrementa de 18.80% en la sección suprayacente a 42.71% en la parte inferior de la unidad, haciendo que los sedimentos sean de naturaleza más arcósica. También existe un incremento en la cantidad de minerales pesados pasando de tener un promedio de 8.67% en la sección suprayacente a 9.37% en la unidad inferior. La asociación mineral pesada comprende mayormente a los piroxenos (6.49% en promedio). Debido al dramático incremento de feldespatos y piroxenos que se presenta en este intervalo, se sugiere que el ambiente de depósito



en la parte inferior de la unidad se encuentra localizado más cercano a una fuente volcánica que las unidades depositadas posteriormente (figura II.27).

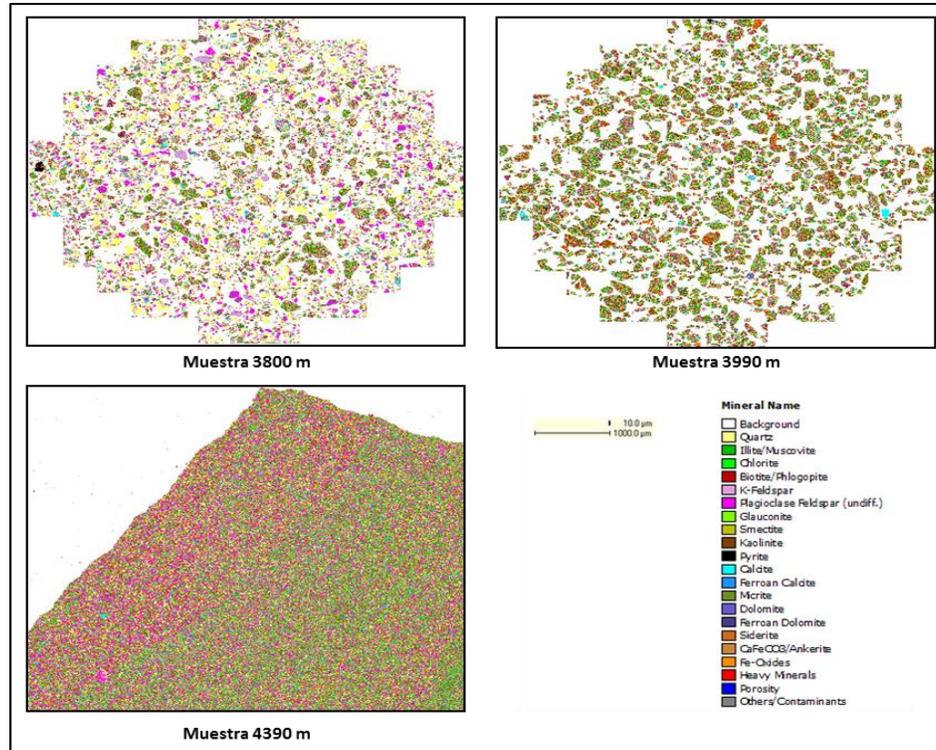


Figura II.27 Láminas del contenido mineralógico que muestra algunos intervalos del Sello E (Mioceno Medio)

Pozo Yx-2, Intervalo de muestreo 3500m a 4195m (Mioceno Superior-Sello D)

El intervalo de la muestra se puede dividir en tres distintas zonas de acuerdo a su mineralogía.

La zona superior (3500m – 3510m) comprende muestras que tienen una relativa baja abundancia de cuarzo (22.6% del volumen), valores de bajos a intermedios de feldespatos (11.7%) y altas proporciones de material de matriz arcillosa con un promedio total de arcillas de 36.8% del volumen. Los carbonatos son relativamente bajos en abundancia comparados con la zona inferior (3%). Otros contribuyentes



líticos incluyen la glauconita (5.4%), la micrita (3.9%) y la pirita (2.6%). La plagioclasas es ligeramente menos abundante que los feldespatos potásicos (58%) y la caolinita domina en la categoría de las arcillas (52%), la illita es ligeramente menos abundante (43.6%) con el porcentaje restante compartido entre la clorita y la esmectita. Los minerales pesados son distintivamente más abundantes en este intervalo (10%) con la hornblenda siendo el más dominante (6.82% del volumen), seguido de los piroxenos (1.89%) y el rutilo (0.85%) (figura II.28).

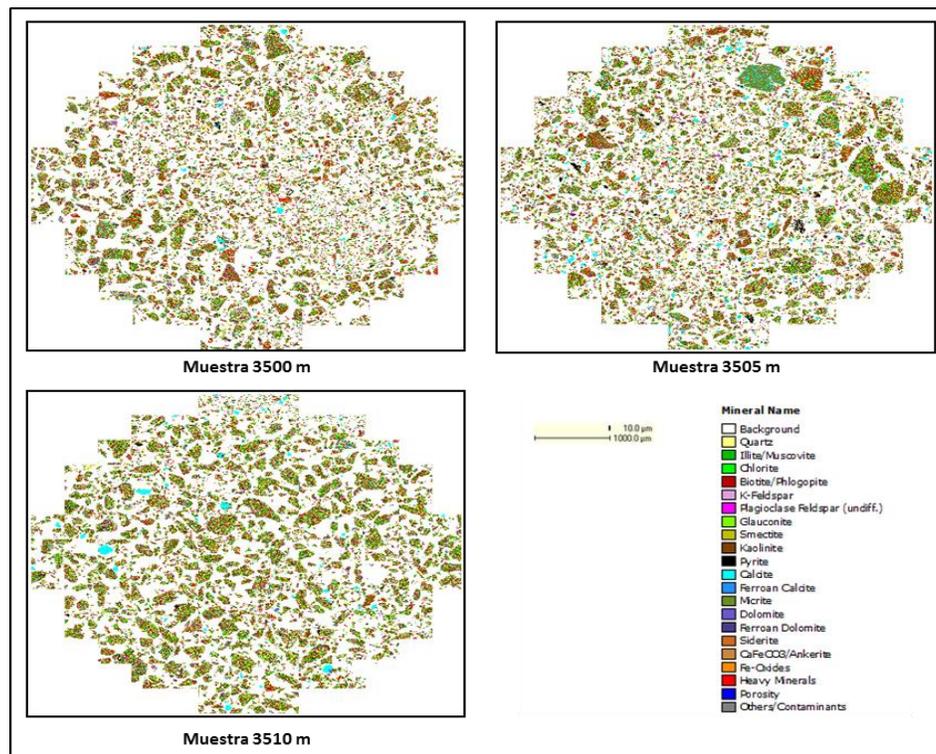


Figura II.28 Láminas del contenido mineralógico que muestra algunos intervalos del Sello D (Mioceno Superior)



La zona media (3990m – 4055m) es notablemente menos rica en cuarzo (40% del volumen) y en feldespatos (24% volumen medio), las arcillas se reducen (22% volumen medio) y los carbonatos muestran una discreta reducción (1.72%). La illita es el más abundante a través de este intervalo y la caolinita se reduce ligeramente (49.9% y 45.1% de los minerales arcillosos respectivamente). La plagioclasas se mantiene como el más abundante de los feldespatos y muestra un notable incremento (64.3% del volumen de feldespatos). Otros contribuyentes líticos incluyen la micrita que se reduce ligeramente (2.10% volumen medio), glauconita reducida relativamente (1.78% volumen medio) y la pirita reducida relativamente (0.75% volumen medio). Los minerales pesados en esta zona se han reducido notablemente (3.78% volumen medio) mientras que el rutilo se incrementó súbitamente (1.12% volumen medio), otros contribuyentes son los piroxenos (1.05% volumen medio) y la apatita (0.16% volumen medio) figura II.29.

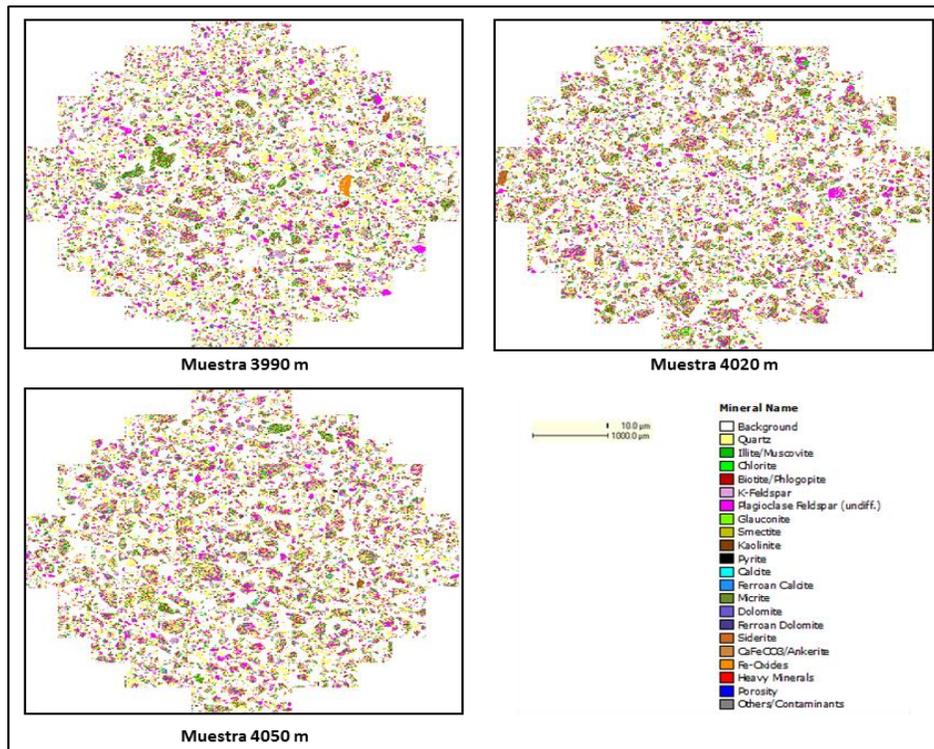


Figura II.29 Láminas del contenido mineralógico que muestra algunos intervalos del Sello D (Mioceno Superior)



La zona inferior (intervalo 4175m – 4195m) es menos abundante en cuarzo de forma similar a la zona superior (21% volumen medio). Las arcillas son consistentes con la zona media reducidas ligeramente (21% volumen medio) y los feldespatos son notablemente reducidos (2.3% volumen medio). Las muestras en la zona inferior son notablemente ricas en micrita (38% volumen medio), otros componentes líticos incluyen glauconita y pirita que presentan niveles consistentemente bajos que en las otras dos zonas. Los minerales pesados se incrementaron respecto a la zona media pero siguen siendo menores que en la zona superior (5.20% volumen medio). La hornblenda se incrementó ligeramente causando un relativo incremento de los minerales pesados (4.12 volumen medio), los otros contribuyentes de minerales pesados son los piroxenos, el Rutilio y la apatita (figura II.30).

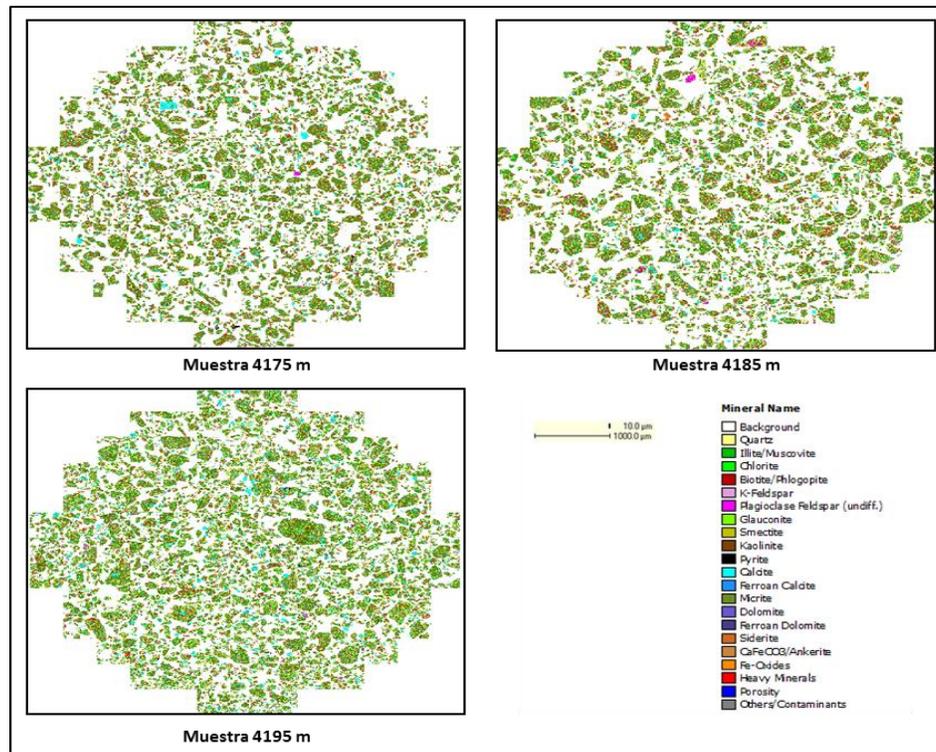


Figura II.30 Láminas del contenido mineralógico que muestra algunos intervalos del Sello D (Mioceno superior)



II.2.3 Presión de poro y gradiente de fractura y potencial del sello mecánico

El análisis del sello mecánico se basa en la estimación de la resistencia de la roca sello al fracturamiento, con el propósito de determinar la máxima columna de hidrocarburos que el sello superior puede soportar antes de fracturarse; obviamente esto depende del tipo de hidrocarburo presente en la trampa.

El fracturamiento ocurre cuando la presión de flotabilidad ejercida de manera natural por el yacimiento en la interface yacimiento-sello, es igual o mayor a la presión del esfuerzo mínimo de la roca sello; esta presión es conocida como Presión de Fractura, la cual se obtiene mediante las pruebas de goteo o pruebas de admisión realizadas después de cada etapa de cementación de tubería de revestimiento (TR).

Dentro de la metodología del análisis del sello (*Manual Técnico de Procedimientos para el Análisis de Trampa y Sello, SCTER, 2006*); el sello mecánico se evalúa cualitativamente mediante la comparación entre la presión de flotabilidad en la interface yacimiento-sello con la presión de fractura, obtenida mediante el graficado de las densidades de lodo equivalentes provenientes de las pruebas de goteo, de manera que, a mayor separación entre las presiones, el sello mecánico será más efectivo

En estudios regionales, se asume que la presión de poro (PP) y el gradiente de fractura (GF) calculados mediante registros geofísicos de pozos, equivalen a la presión de flotabilidad y a la presión de fractura de los pozos, en la interface sello-yacimiento; por lo que, la diferencia entre los datos calculados (PP y GF) corresponde al parámetro denominado potencial de sello mecánico (PTSELL); por tal motivo, a mayor PTSELL mejor efectividad de sello mecánico (figura II.28). Los datos calculados (PP y GF) implican cierta incertidumbre por ser obtenidos de manera indirecta, por lo cual, deben calibrarse con datos duros de pozo.

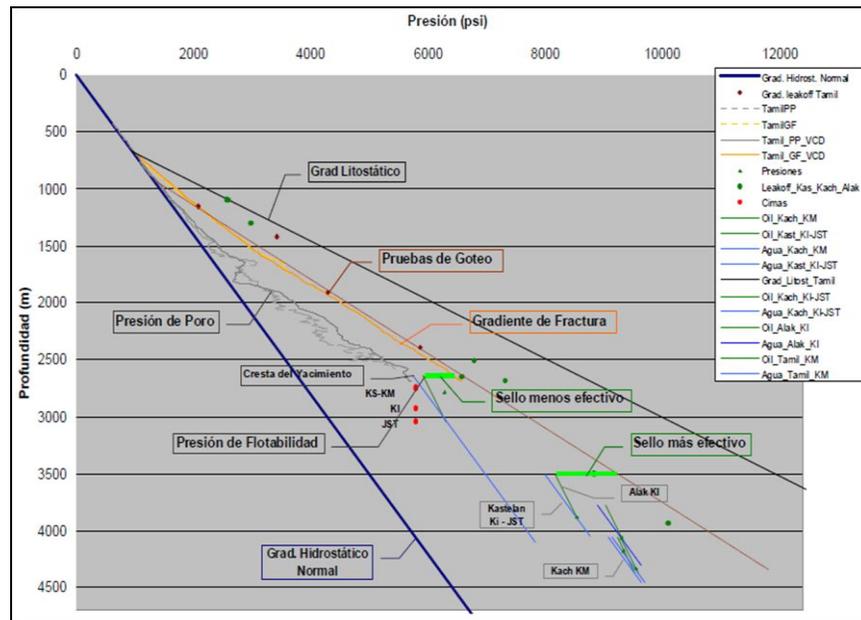


Figura II.31 Gráfico de presión contra profundidad que muestra un ejemplo del cálculo de Potencial de Sello Mecánico

II.2.3.1 Cálculo de PP, GF y PTSELL

Los cálculos de presión de poro, gradiente de fractura y potencial de sello, se obtuvieron mediante el uso del software PresGraf y del módulo Prizm de GeoGraphix. Para ello se utilizaron los registros geofísicos rayos gama, resistivo, sísmico, densidad y porosidad de los siete pozos incluidos en el estudio.

Para calibrar los cálculos de presión de poro y gradiente de fractura, se utilizaron datos duros de pozo y datos sísmicos tales como: densidad equivalente de las pruebas de goteo, presión de fondo, contactos de fluidos y velocidades de intervalo.

Adicionalmente se consideró la información relativa a manifestaciones y/o producción de aceite o gas en niveles estratigráficos más someros, columnas de aceite y contactos de fluidos de los principales campos productores de los plays



analizados. Sin embargo, la incertidumbre de este tipo de datos es alta, por lo que, fue difícil determinar el establecimiento de la efectividad de los potenciales sellos.

La evaluación del parámetro PTSELL se realizó considerando únicamente al sello mecánico, debido a que no existe información suficiente para evaluar el sello capilar (presiones capilares por inyección de mercurio). Adicionalmente el sello lateral por falla geológica, se consideró en el presente estudio, debido a que éste es puntual y característico de cada trampa.

La figura II.32 muestra el cálculo de los parámetros de Gradiente de Fractura (GF), Presión de Poro (PP) y Potencial de Sello Mecánico; los cuales y como ya se había comentado en capítulos anteriores, se calcularon en el módulo Prizm a partir de los registros: rayos gama, sísmico, resistividad, RHOB, NPHI y cimas geológicas del pozo.

El cálculo de estos parámetros se realizó con base a 3 templates: el primero denominado Curvas_de_Entrada, que a partir de los valores del registro de rayos gama se obtuvo la curva de volumen de arcilla (Vshale)

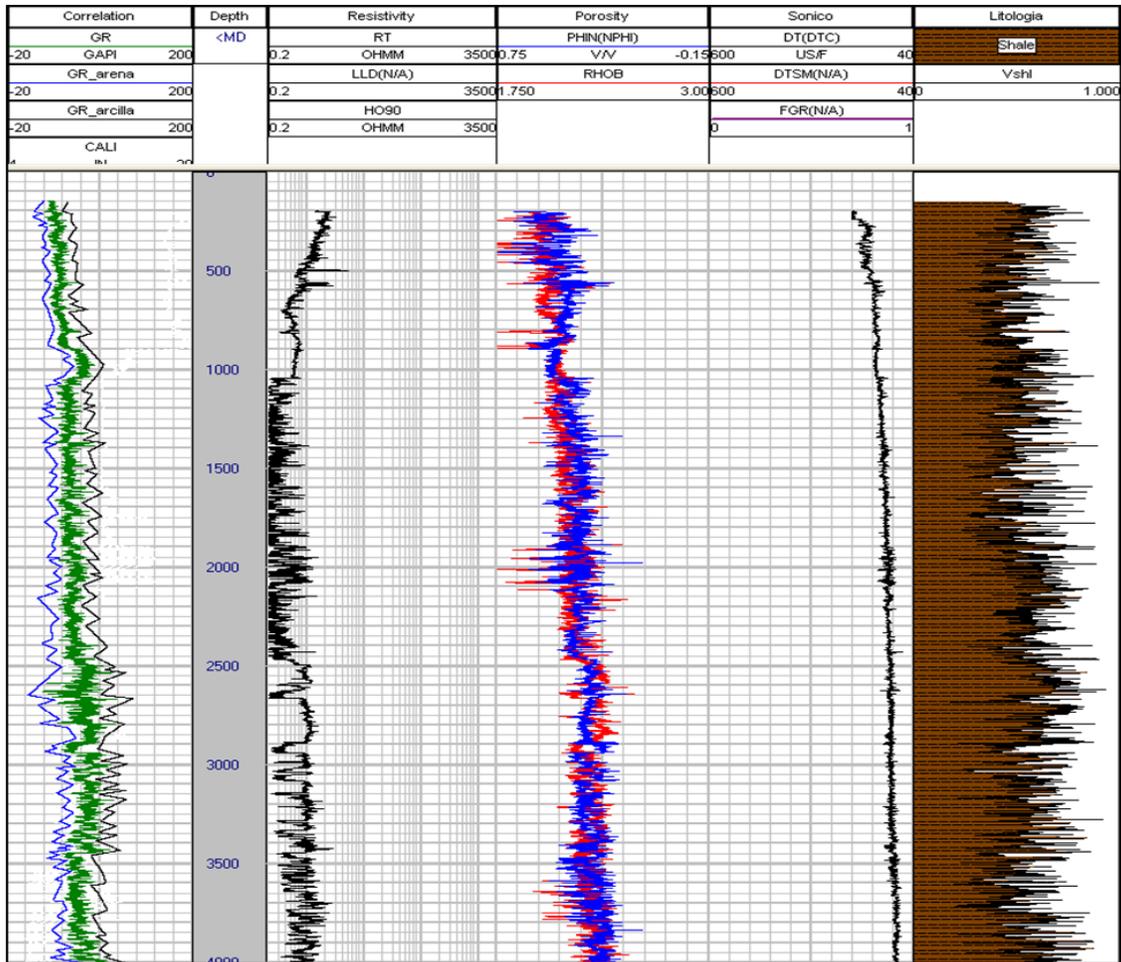


Figura II.32 Template de Datos de Entrada, utilizado para obtener de la curva VShale, que sirve de base en el cálculo de PP y GF.

El segundo Template denominado Pore_Pressure_Eaton_Analysis, en el cual mediante la asignación de un valor de corte (cutoff) sobre la curva VShale, se seleccionaron las zonas donde se efectuaron los cálculos para generar las curvas de compactación o sobrecarga, presión de poro y gradiente de fractura.

Con los datos duros de producción en los yacimientos: presión de fondo de las pruebas de producción, presiones del registro MDT y pruebas de goteo; obtenidos de la base de datos integrada en la etapa inicial del estudio, se calibraron las curvas resultantes de PP, GF y PTSELL, tal como se ilustra en la figura II.33, esto se realizó para determinar el grado de confiabilidad de las curvas calculadas.

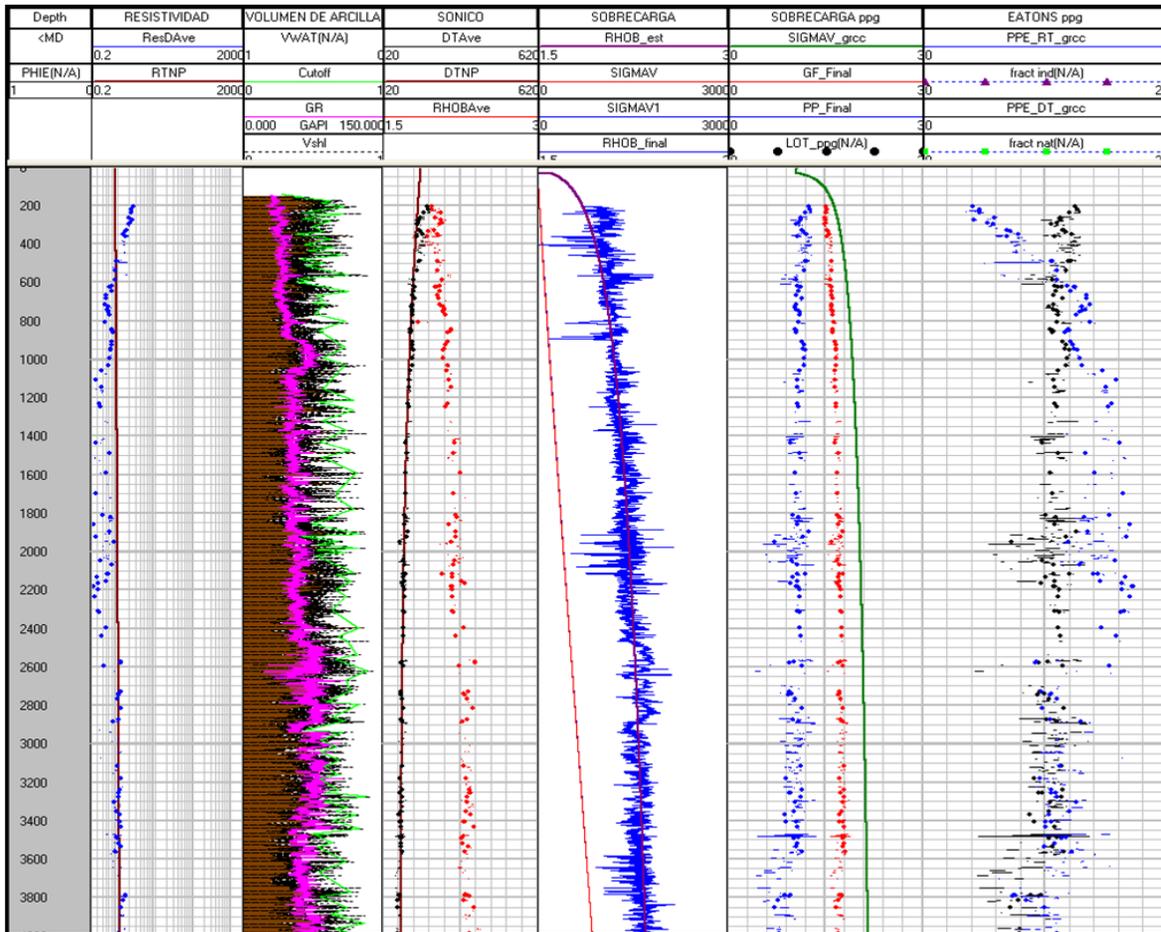


Figura II.33 Template *Pore_Pressure_Eaton_Analysis*, utilizado para efectuar los cálculos y ajustes de las curvas de compactación. PP y GF,

En el tercer template *PP_Res_Sello*, se filtraron y suavizaron las curvas PP y GF y se calculó la curva *PTSELL* (figura II.34).

Para calibrar los valores calculados de PP y GF, se compararon éstos con los valores de datos duros de presión de fondo (pruebas de producción) y de pruebas de goteo. Esta comparación se realizó en diferencia numérica y grafica.

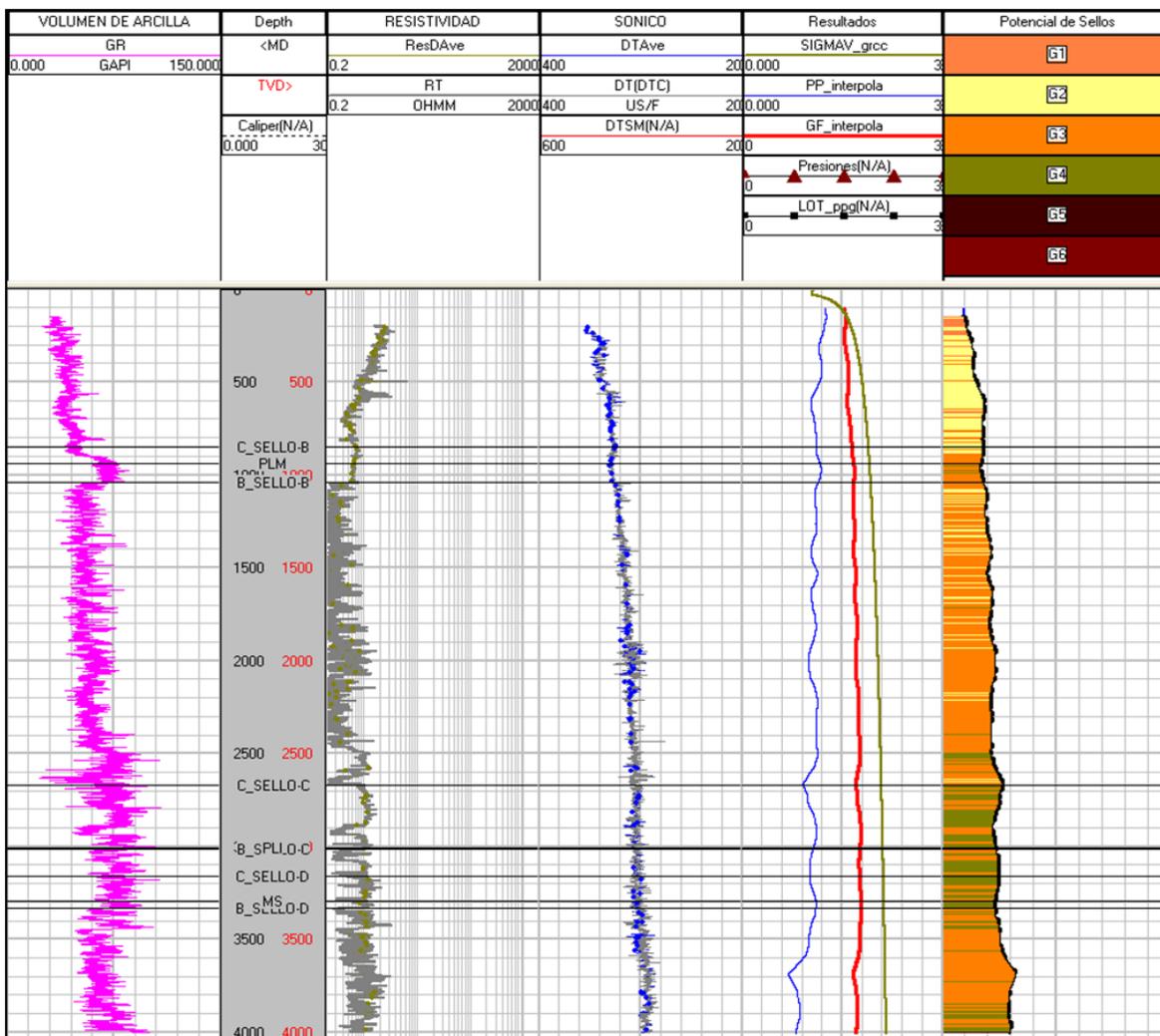


Figura II.34 Template *PP_Res_Sello*, que muestra las curvas de PP y GF resultantes de los cálculos, el carril de la derecha muestra la curva PTSELL producto de la diferencia entre las curvas PP y GF.



La diferencia entre los valores finales calculados de PP y GF, determina la curva denominada potencial de sello mecánico (PTSELL) que se utiliza en la estimación de la efectividad del sello. En la Tabla II.4 se muestra un ejemplo de los resultados finales de los cálculos de PP, GF y PTSELL.

POZO	PTSELL (gr/cm ³)			
	SELLO B	SELLO C	SELLO D	SELLO E
HK-1	0.6050	0.5473	0.4971	0.4561
KL-1A	0.5715	0.4801	0.5371	0.5528
KE-1	0.7173	0.7863	0.7147	0.6310
XB-1	0.6366	0.7468	0.5628	0.5233
XB-2	0.5324	0.5834	0.5209	0.7628
YX-1	0.3959	0.5953	0.6505	
YX-101	0.5758	0.6630	0.5982	0.6526

Tabla II.4 Resultados numéricos de los parámetros de PTSELL.



II.2.3.2 Mapa del potencial de sello mecánico (PTSELL)

Los mapas del potencial de sello mecánico (PTSELL) se obtuvieron a partir del promedio estadístico de la diferencia entre la presión de poro y el gradiente de fractura, calculado en cada uno de los intervalos correspondientes a los sellos potenciales del Plioceno Medio, Plioceno Inferior, Mioceno Superior y Mioceno Medio, en los pozos de este estudio. El valor de PTSELL alto indica una mayor diferencia y consecuentemente un sello mecánico más eficiente, que aquellos valores de PTSELL bajos.



El sello del Plioceno Medio (Figura II.35) se caracteriza por presentar valores altos de PTSELL observándose una franja con dirección noreste-suroeste de color amarillo, gradando a color rojo hacia el centro del área de estudio; sus valores son de 0.55 a 0.7 gr/cm³, que son indicativos de un sello mecánico efectivo.

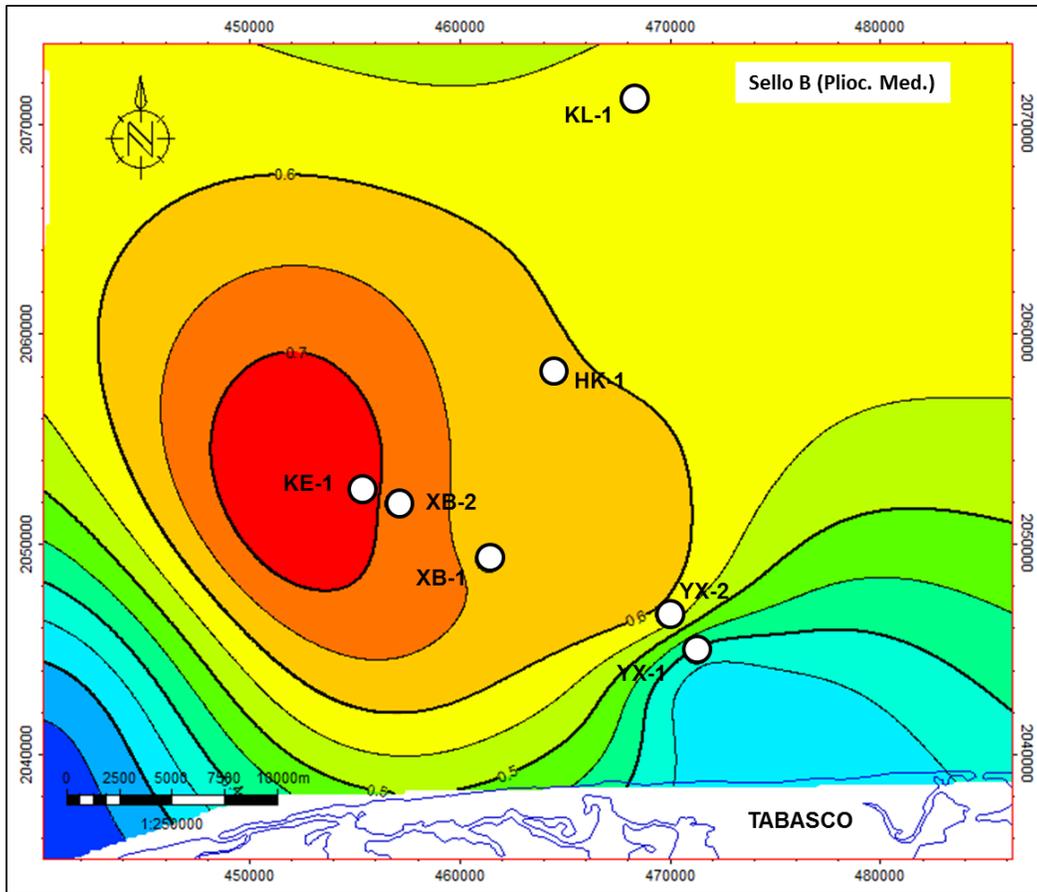


Figura II.35 Mapa de PTSELL del Sello B (Plioceno Medio)



En la Figura II.36, se muestra el sello del Plioceno Inferior, en el cual se observa una zona que se degrada de color rojo a color amarillo, ésta presenta una dirección sur – noroeste y sus valores de PTSELL varían de 0.6 a 0.8 gr/cm³; considerados de un sello resistente. En la parte central norte del área los valores aparentemente son bajos, los cuales oscilan entre 0.45 a 0.55 gr/cm³. Estos valores son considerados de igual manera como sellos resistentes.

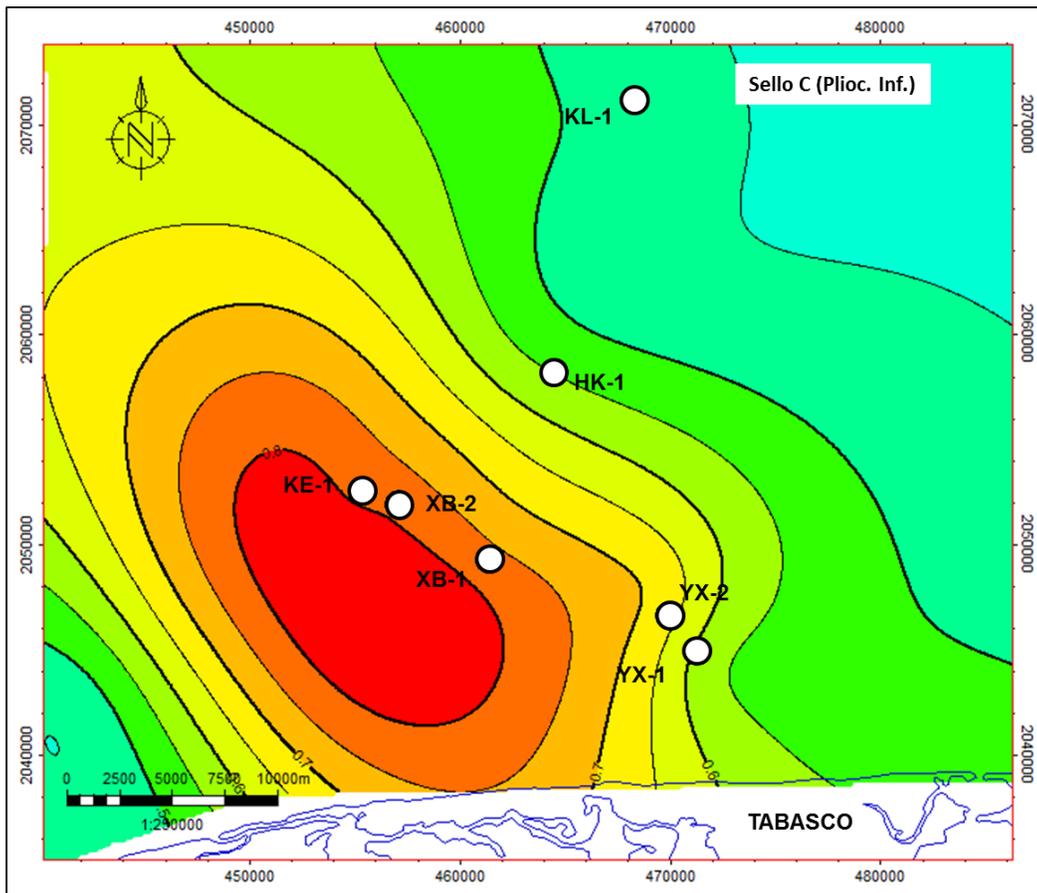


Figura II.36 Mapa de PTSELL del Sello C (Plioceno Inferior)



En el mapa del sello del Mioceno Superior se observó una franja amarilla y verde, la cual tiene una dirección Este-Oeste, los valores de PTSELL aquí identificados, son altos cuyo rango varia de 0.5 a 0.65 gr/cm³ (figura II.37); considerados como un sello potencial y resistente al fracturamiento debido a la presión de los fluidos presentes en este nivel.

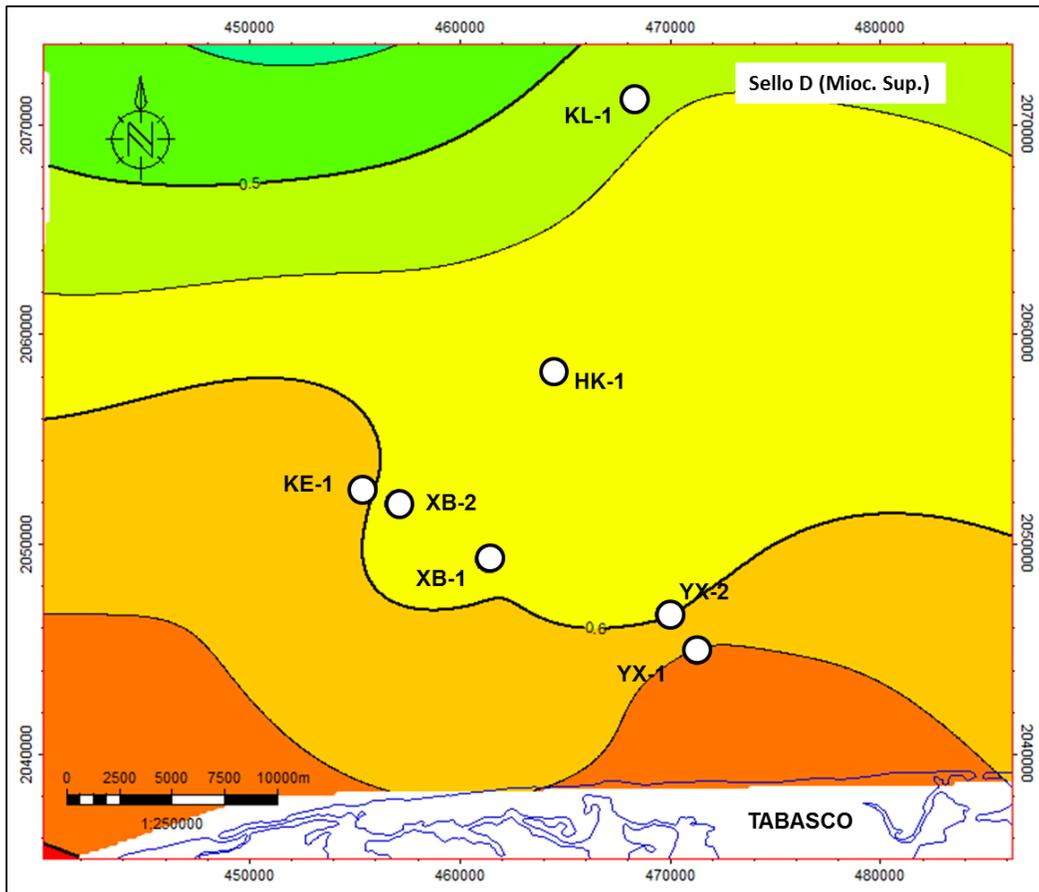


Figura II.37 Mapa de PTSELL del Sello D (Mioceno Superior)



La figura II.38 muestra el sello potencial del Mioceno Medio, cuyos valores de PTSELL varían entre 0.55 a 0.75 gr/cm³ considerados altos y por lo tanto, para este nivel el sello potencial efectivo es resistente para soportar las presiones ejercidas por los fluidos presentes.

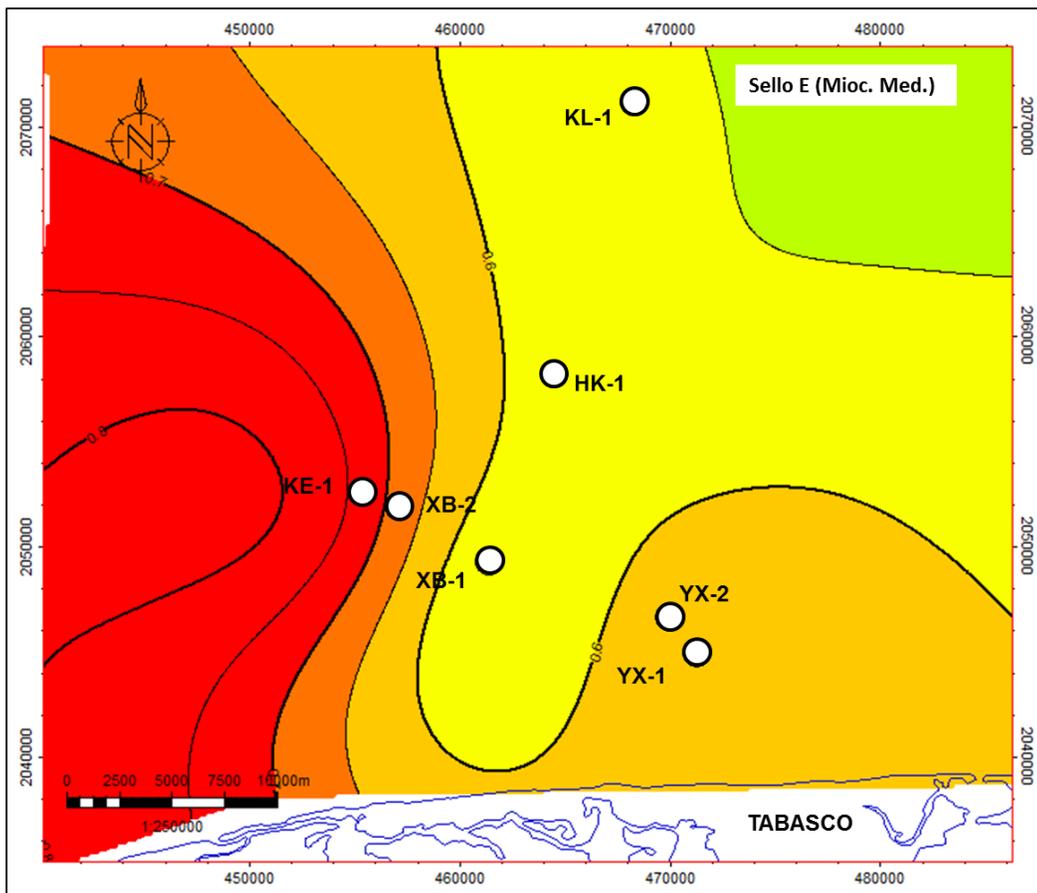


Figura II.38 Mapa de PTSELL del Sello E (Mioceno Medio)



III. EVALUACIÓN DE LA ROCA SELLO

De acuerdo a la metodología del análisis “Play Fairway”, en los estudios de Plays, debe evaluarse tanto la presencia como la efectividad de los principales elementos del sistema petrolero. En el presente estudio se evaluaron los potenciales sellos identificados en el Plioceno medio e inferior así como en el Mioceno Superior y Medio. La construcción del mapa de riesgo combinado de la roca sello, se realizó mediante la conjunción de los mapas de riesgo de presencia y efectividad, construidos en cada uno de los potenciales sellos, con el propósito fundamental de identificar las áreas donde los sellos sean efectivos o con menor riesgo.

Los mapas representan la evaluación del riesgo relativo tanto de la presencia como de la efectividad de la roca sello. La metodología define la predominancia del color amarillo sobre el color verde y la predominancia del color rojo sobre el amarillo como se observa en el mapa final del riesgo común combinado de la roca sello (RCS).

III.1 Mapa de riesgo de la presencia de la roca sello

Para la generación del mapa de riesgo de presencia de la roca sello se utilizó la combinación de los tres mapas generados para este análisis (isopacas, litofacies y ambientes).

Para el mapa de isopacas se consideró como zona de bajo riesgo en las áreas que presentaban valores mayores a los 100 m de espesor, para las áreas de riesgo medio fue considerada las zonas con valores menores de 100 m de espesor.

Es importante mencionar que se ha comprobado que existen yacimientos que contienen la roca sello con espesores menores a los 100 m; pero para este caso se consideró el corte antes indicado.

Con respecto a los mapas de Litofacies no se consideró toda el área de bajo riesgo, esto debido a que solo se observó una litología que favorece a la roca sello; tal es el



caso para los mapas de ambientes en los cuales favorece a los sistemas de depósito, en la cual estaría presente la roca sello.

Realizando el análisis de los tres parámetros anteriores se obtiene como resultado de manera general que toda el área de estudio son de riesgo bajo a medio, considerando que el riego medio no dejaría de funcionar como sellos (figura III.1).

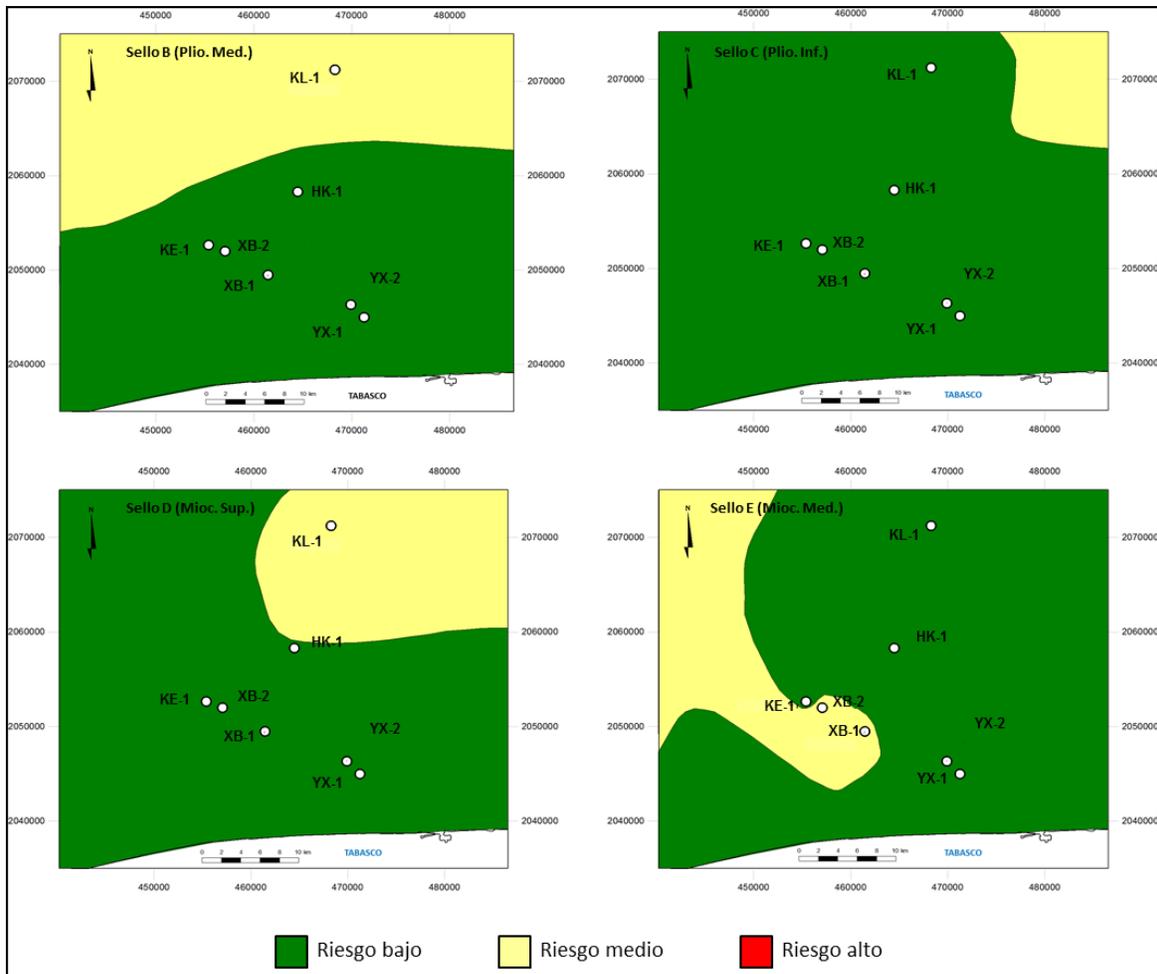


Figura III.1 Mapas de riesgo de presencia de la roca sello



III.2 Mapa de riesgo de la efectividad de la roca sello

Para la generación de los mapas de efectividad de la roca sello se realizaron con la combinación de los mapas de porosidad efectiva promedio y del potencial del sello mecánico, complementado con el análisis del contenido mineralógico, el cual nos proporcionó información detallada de la calidad de la roca ya que se observó que esta se constituía en su mayor parte por minerales arcillosos; así mismo se analizaron datos de yacimientos.

Para el caso de los mapas de porosidad efectiva se consideró toda el área de estudio como riesgo bajo, lo anterior fue a que sus valores presentes son menores al tres por ciento.

Para los mapas de PTSELL se realizó el corte al valor de 0.3; considerando que para valores mayores se tomó como riesgo bajo y para valores menores como riesgo medio; este mapa fue el que le dio la pauta a los mapas de efectividad

Analizando los dos parámetros anteriores se obtiene como resultado que los mapas de Mioceno Medio y Superior son de riesgo bajo, para el mapa del Plioceno inferior el riesgo medio se encuentra en la parte noreste y sureste del área de estudio, mientras que para el mapa del Plioceno medio el riesgo medio se observa en la parte sureste y suroeste del área, considerando que el riesgo medio no deja de funcionar como sello tal y como se indica en la figura III.2.

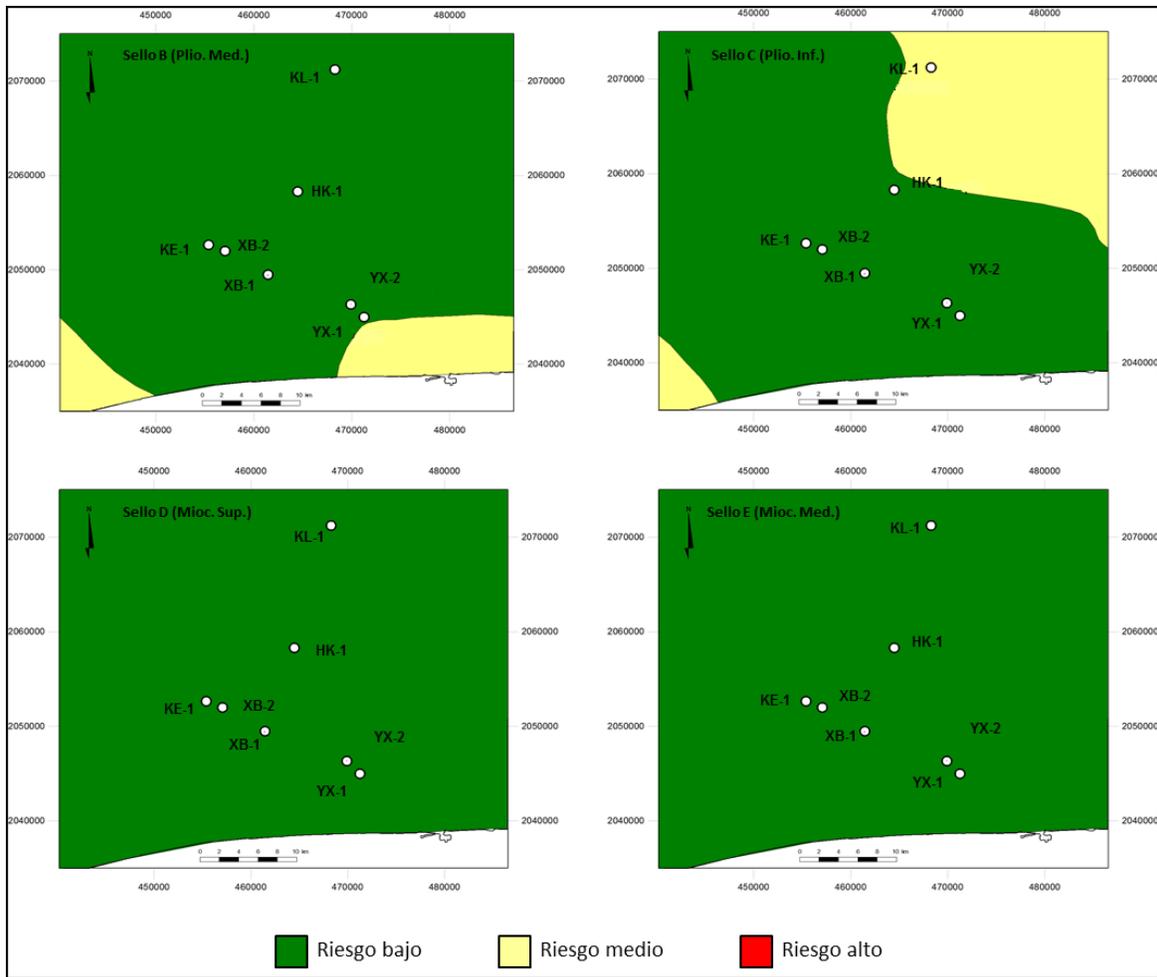


Figura III.2 Mapas de riesgo de efectividad de la roca sello



III.3 Riesgo Combinado de la Roca Sello, RCS

Para la generación del mapa de riesgo combinado de la roca sello (figura III.3) muestra claramente el dominio del riesgo bajo (color verde) en gran parte del área de estudio, este comportamiento obedece principalmente a que los espesores son más potentes, las porosidades efectivas promedio son bajas y los valores del PTSELL son altos; en menor proporción se encuentran las zonas de riesgo moderado, donde a pesar de la existencia de facies favorables, estas se reducen en cuanto a su espesor, los valores de porosidad efectiva son altas y los valores de PTSELL bajos; es necesario recordar que en esta zona la porosidad muestran incertidumbre por lo que es un área susceptible de revertir el riesgo al incorporar información que reduzca esta incertidumbre.

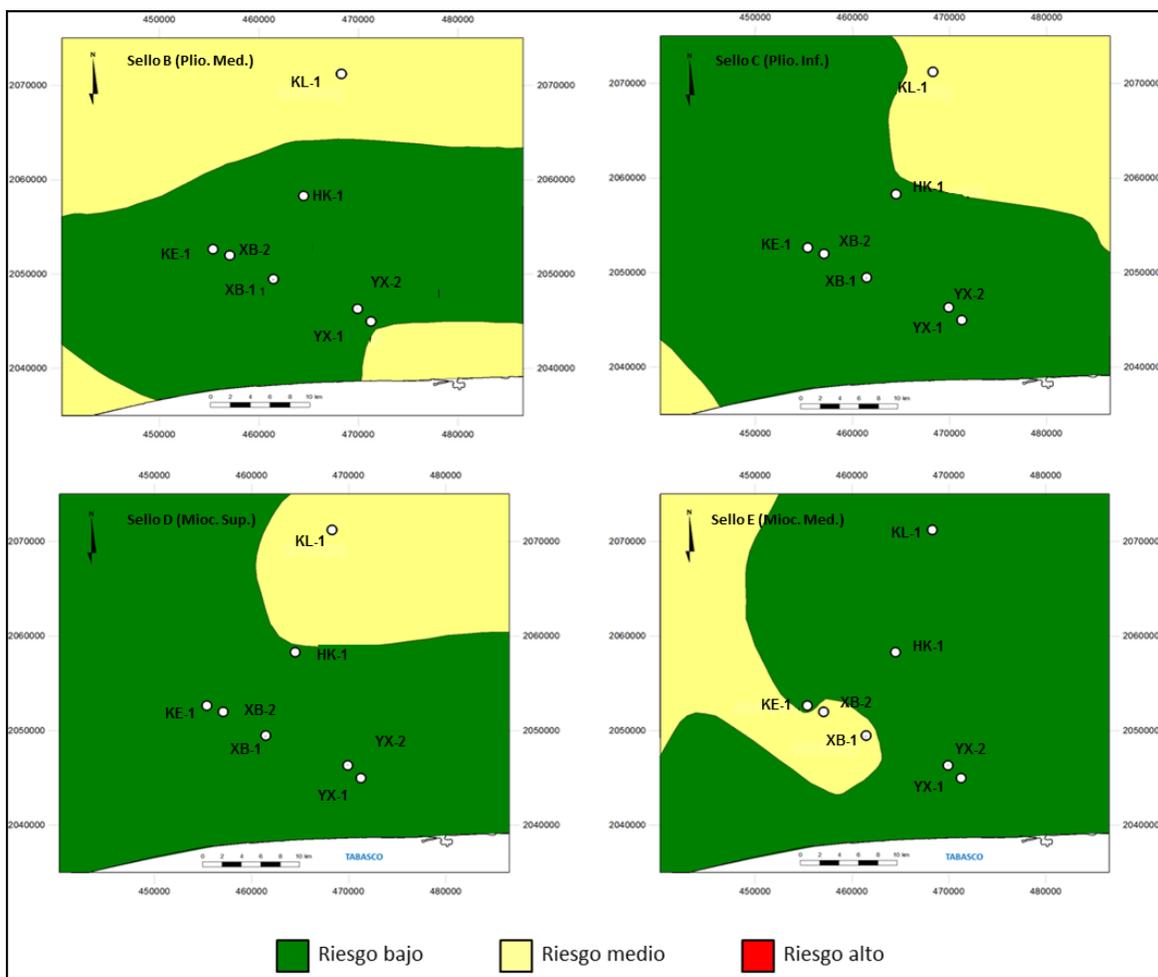


Figura III.3 Mapas de riesgo combinado de la roca sello



IV. CONCLUSIONES

1. La identificación de las superficies de máxima inundación en los registros geofísicos y el análisis de las muestras de canal de los siete pozos donde se identificó una litofacies, fueron indispensables para la delimitación y caracterización de los cuerpos arcillosos que se determinaron como sello en los plays Mioceno medio, Mioceno superior, Plioceno inferior y Plioceno Medio dentro del área de estudio.
2. Con la generación de las secciones estratigráficas en las cuales se correlacionaron los cuerpos arcillosos, se obtuvieron las cimas y bases que sirvió para la obtención de los mapas de espesores de los plays evaluados.
3. Los parámetros bases para la construcción de los mapas de riesgo de la presencia de la roca sello de los plays Mioceno medio, Mioceno superior, Plioceno inferior y Plioceno Medio, fueron los mapas de espesor y litofacies.
4. El dato de porosidad efectiva, se obtuvo de las evaluaciones petrofísicas realizadas en los pozos, obteniendo un dato promedio del intervalo considerado como sello para cada plays evaluado.



5. Se realizó el análisis del contenido mineralógico de los intervalos considerados como roca sello para cada plays, al mismo tiempo se generaron gráficos cruzados de los pozos Hk-1, Yx-2 y Xb-1, que nos ayudó a identificando la presencia de minerales arcillosos, sustentando la calidad de la roca sello de los diferentes plays analizados.

6. El uso del software PresGraf permitió reducir la incertidumbre del parámetro PTSELL al establecer un mejor ajuste entre los datos obtenidos de la diferencia entre la presión de poro y el gradiente fractura de los cuatro plays evaluados.

7. La obtención y evaluación de los mapas de efectividad de la roca sello se realizó con base a los parámetros de PTSELL y porosidad efectiva, considerando únicamente el sello mecánico, con el cual genera un grado de incertidumbre al no considerar el sello capilar ni el sello lateral.

8. Las zonas con riesgo medio de los mapas de riesgo combinado de la roca sello de cada uno de los plays analizados, se debe a la presencia de porosidades efectivas con valores altos, esto debido a la tendencia de la configuración, la cual genera una alta incertidumbre en las zonas donde no se cuenta con datos del pozos, pero que podrían revertirse al incorporar información que reduzca el riesgo.



VI. BIBLIOGRAFÍA

James W.R., Fairchild L.H., Nakayama G.P., Hippler S.J., and Vrolijk P.J., 2004, Fault-seal analysis using astochastic multifault approach.

Reid H.W. 1997, Evaluating Seal Facies Permeability and Fluid Content from Drill-Stem Test Data.

Heredia E., Vega J., Santiago C., Ordoñez D., y Tenorio J.L., 2008, Informe final de la roca sello de los plays carbonatos fracturados del Cretácico Medio e Inferior.

Knipe R.J., 1997, Juxtaposition and Seal Diagrams to Help Analyze Fault Seals in Hydrocarbon Reservoirs¹.

Castro J.A., Vega J., Mata M., y Santiago C., 2010, Análisis de trampa y sello realizado a Oportunidades y Localizaciones Exploratorias.

Lyon P.J., 2008, A Systematic assessment of fault seal risk to hydrocarbon exploration in the Penola Trough Otway Basin South Australia.

Davies R.K., and Handschy J.W., 2003, Bulletin thematic issue on fault seals.

Brown A., 2003, Capillary effects on fault-fill sealing.

Doughty P.T., 2003, Clay smear seals and fault sealing potential of an exhumed growth fault, Rio Grande rift, New Mexico.

Ruppel S.C., and Kane J., The Mississippian_Barnett Formation: A Source-Rock, Seal, and Reservoir Produced by Early Carboniferous Flooding of The Texas Craton.



Clennell M.B., 2002, Potential of Unconventional Petrophysical Methods Electrical, Electrokinetic and Nmr for estimation of flow properties of fault seals and other tight Rock.

Ingram G.M., Urai J.L., and Naylor M.A., 1997 Sealing-processes-top-seal-assessment.