



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“DESARROLLO DEL FILOSILICATO CAOLINITA EN EL RESERVORIO
HOLLÍN DEL CAMPO PALO AZUL”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentado por:

Jessica Estefanía Rivadeneira García

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A Dios por ser mi Luz y fortaleza.

A mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida, por su confianza y amor infinito.

A mi motor, mi mayor motivación e inspiración, mi huracán en la vida Jordy Ariel.

AGRADECIMIENTOS

A mi Hermana mi primera amiga, quien me ha respaldado en mis derrotas y ha celebrado junto a mí, mis victorias.

A mí cuñado Roberto a quien le agradezco su apoyo y cariño.

A mis compañeros de carrera y grandes amigos Jonathan y Cristhian.

A la pequeña que siempre me motivó a seguir Karina y a quien sembró en mí el mejor ejemplo de perseverancia Denisse.

Al Ing. Lenin Restrepo por permitirme desarrollar este proyecto en las instalaciones del Campo Palo Azul, por sus enseñanzas y valiosas palabras.

Al Ing. Pablo Pila quien con su apoyo y dedicación logró sembrar en mí valiosos conocimientos, sin duda alguna sin él, este proyecto no fuese posible.

A los Ingenieros Diego Mayalica, José Bolaños y Gloria Uguña por estar siempre prestos a resolver mis inquietudes y hacer cada día dentro de la oficina muy ameno.

A quien estaré eternamente agradecida por cada palabra de apoyo, por cada consejo y por cada conocimiento impartido, mi tutor y amigo Msc. Kenny Escobar.

A Hugo gracias infinitas por todo su amor, apoyo, cariño y paciencia. ¡Lo logramos!

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jéssica Estefanía Rivadeneira García* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Jéssica Rivadeneira

EVALUADORES

.....
Msc. Daniel Garcés

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Msc. Kenny Escobar

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El Campo Palo Azul se encuentra ubicado en el “Play Central Corredor Sacha Shushufindi”, su principal reservorio es la Formación Hollín y sus reservorios secundarios son la Arenisca “Basal Tena”, “U”, “T” y la “Formación Napo”, este campo cuenta actualmente con 57 pozos perforados, y un volumen de producción de 67.377,13 BFPD, 6.723,77 BPPD y 60,653.36 BAPD con un corte de agua del 90%.

Este proyecto se enfoca en identificar la presencia de Caolinita en el Reservorio Hollín del Campo, a través del análisis de la información geológica disponible (Registros eléctricos, master logs y núcleos), para la realización de un mapa que represente el espesor del sello ya que este proporciona condiciones benéficas para la realización de procesos operativos, con el fin de determinar pozos candidatos para optimizar la producción.

La identificación de este sello diagenético se lo realizó en el software Petrel versión 2015, disponible para la empresa PETROAMAZONAS EP., donde se determinó el espesor del sello a lo largo del Reservorio, para posteriormente interpolar los datos obtenidos y generar un mapa que represente los valores del espesor del sello.

Finalmente se determinó que existe una mayor concentración de Caolinita dentro de las arenas en la zona sur-este y nor-oeste; y se propusieron 7 pozos candidatos para la realización de procesos operativos que optimicen la producción, y 2 pozos prospectos para perforación.

Palabras Clave: Sello diagenético, Caolinita, Optimizar.

ABSTRACT

Palo Azul Field is located in the "Play Central Corridor Sacha Shushufindi", its main reservoir is the Hollín Formation and its secondary reservoirs are the "Basal Tena" Sandstone, "U", "T" and the "Napo Formation", this field currently has 57 wells drilled, and a production volume of 67,377.13 BFPD, 6,723.77 BPPD and 60,653.36 BAPD with a 90% water cut.

This project focuses on identifying the presence of Kaolinite in the Hollín Reservoir, through the analysis of available geological information (electrical registers, master logs and cores), for the realization of a map that represents the thickness of the seal because it provides beneficial conditions for the realization of operational processes, in order to determine possible wells to optimize production.

The identification of this diagenetic seal was made in Petrel software version 2015, available for the company PETROAMAZONAS EP., Where the thickness of the seal was determined along the Reservoir, after that data is interpolated to obtain and generate a map with seal thickness values.

Finally, greater concentration of kaolinite was determined within the sands in the south-east and north-west zones; and 7 possible wells were proposed to carry out operational processes that optimize production, and 2 prospective wells for drilling.

Keywords: Diagenetic seal, Kaolinite, Optimize.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
GLOSARIO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2 Factibilidad y Accesibilidad.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.2.1 Ubicación Geográfica Regional.....	2
1.2.2 Ubicación Geográfica Local	3
1.2.3 Historia del Campo Palo Azul	3
1.2.4 Geología Regional	4
1.2.5 Geología Estructural	6
1.2.6 Litoestratigrafía de la Cuenca Oriente.	7
1.2.7 Morfología de la Cuenca Oriente	13
1.2.8 Geología del Reservorio “HOLLÍN” del Campo Palo Azul.....	14
1.2.9 Análisis litológico del Campo Palo Azul	14
1.2.10 Geología Estructural asociada al reservorio “Hollín” del campo Palo Azul	17
1.2.11 Parámetros Petrofísicos del Reservorio “Hollín”	18
1.2.12 Minerales de Arcilla	18

1.2.13	Formación de la caolinita.....	18
2	Metodología.....	22
2.1	Fase de Recopilación.....	24
2.1.1	Recopilación de información geológica información:	24
2.1.2	Recopilación y selección de información técnica específica disponible:	24
2.2	Fase II: Procesamiento e Interpretación de Datos	24
2.2.1	Cargar Registros eléctricos en un software especializado.....	24
2.2.2	Interpretación de Registros de pozos	25
2.2.3	Interpretación de Master Logs	25
2.2.4	Análisis de Presiones PIP del Reservoirio Hollín.....	28
2.3	Fase III: Diseño de Mapa	30
2.3.1	Construcción de mapa de espesor	30
2.4	Fase IV: Evaluación y Análisis de Resultados.....	31
2.4.1	Evaluación de pozos.....	31
3	SEDIMENTOLOGÍA, ESTRATIGRAFÍA Y AMBIENTES DE DEPÓSITO DEL RESERVORIO “HOLLÍN”	32
3.1	Análisis sedimentológico del reservorio hollín	32
3.1.1	Parámetros de porosidad utilizados.....	33
3.1.2	Ubicación de las secciones delgadas	34
3.1.3	Síntesis petrográfica y descripción litológica de ripios	34
3.1.4	Análisis de Ripios de la Formación Hollín	35
3.1.5	Interpretación Ambiental realizada a partir del pozo Palo Azul-25 (11358-11376) 35	
3.1.6	Interpretación Ambiental realizada a partir del pozo Palo Azul-2 y Palo Azul-4 36	
3.1.7	Núcleos disponibles en el Campo Palo Azul.....	39
3.1.8	Superficies de inundación	46
3.2	Secuencia Tipo Formación Hollín.....	49
3.3	Análisis Estratigráfico y Estructural del Reservoirio Hollín”	52
3.3.1	Correlaciones Estratigráficas	52
3.3.2	Correlaciones Estructurales.....	58
3.3.3	Correlación estructural # 2.....	61

4	RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	64
4.1	Procedimiento para la construcción del mapa de espesor caolinítico	64
4.2	Resultados	65
4.3	Análisis de Resultados	73
4.3.1	Análisis de resultados de optimización de producción	73
4.3.2	Análisis de resultados de trabajos de workover	80
4.3.3	RESULTADOS DE PERFORACIÓN	82
5	CONCLUSIONES	85
6	RECOMENDACIONES	86
7	BIBLIOGRAFÍA	87

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral.

HST Cortejo de alto nivel (High Systems Tract).

LST Cortejo de bajo nivel (Lowstand Systems Tract).

TST Cortejo transgresivo (Transgressive Systems Tract).

RST Cortejo regresivo (Regressive systems tract).

BDPP Barriles de petróleo por día.

BDFP Barriles de fluidos por día.

BAPD Barriles de agua por día.

BSW Contenido de agua libre.

GLOSARIO

Bioturbación: Son aquellas alteraciones en los sedimentos que se producen por la actividad de seres vivos (desplazamiento de organismos vivos).

Autigénico: Mineral o roca formada en el propio medio y lugar que se encuentra.

Untuoso: Que es graso al tacto.

Caolinitizar: Reemplazamiento de un mineral (generalmente feldespatos), roca o sedimento por minerales pertenecientes al grupo de caolines

Detrítico: Partículas sólidas arrastradas y depositadas, las cuales proceden del exterior de una cuenca.

Desalcalinizar: Reducción de la alcalinidad, como parte de un proceso de neutralización.

Desilicificar: Proceso en el cual las rocas o minerales disminuyen su contenido de sílice.

Diagénesis: Conjunto de cambios físicos y químicos en un depósito sedimentario, formando una roca consolidada.

Lixiviación: Consiste en la extracción de materia soluble a partir de la acción de un fluido disolvente.

Lignito: Carbón natural formado por la compresión de la turba.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.3 Mapa tectónico sintético de la Cuenca Oriente (Baby et al., 1999)	3
Figura 1.4 Mapa de Ubicación del Bloque 18, campo Palo Azul (PETROAMAZONAS E.P., 2017)	4
Figura 1.1 Columna tectóno-estratigráfica de la Cuenca Oriente (Baby, et al., 2004)	5
Figura 1.2 Mapa tectónico estructural de la Cuenca Oriente, con sus dominios estructurales petrolíferos (Baby, et al.,1999)	6
Figura 1.5 Mapa Morfoestructural de la Cuenca Oriente (Baby, et al.,1999)	14
Figura 1.6 Columna litológica generalizada del Campo Palo Azul- Bloque 18	16
Figura 1.7 Mapa Estructural de Hollín Principal.....	17
Figura 1.8 Reacciones de la formación de la caolinita (Besoain, 1985)	20
Figura 1.9 Modelo de la estructura de la caolinita y su relación 1:1 entre capa de tetraedros y octaedros y el puente de hidrogeno (Besoain,1985)	21
Figura 2.1 Metodología de Investigación	22
Figura 2.2 Topes de las formaciones existentes en el pozo PLAA-001.....	26
Figura 2.3 Master Log Palo Azul-28H. (Petroamazonas EP. ,2018.....	27
Figura 3.1 Láminas delgadas generadas a partir de ripios pertenecientes a la formación Hollín (LVC, 2014).....	36
Figura 3.2 Representación esquemática d un estuario según Darrymple et al., 1992 y Pritchard, 1967.....	38
Figura 3.3 Modelos de estuarios modificado de Dalrymphe et al., 1192 en Archie, 2010	39
Figura 3.4 Núcleos del Pozo PA-2 (LVC del Ecuador)	42
Figura 3.5 Núcleos del Pozo PA-4 (LVC, 2014)	45
Figura 3.6 Superficies de Inundación (LVC,2014)	47
Figura 3.7 Superficie de Inundación 2 (LVC,2014).....	48
Figura 3.8 Secuencia sedimentaria tipo para el Campo Palo Azul modificada de EcuadorTLC, 2004	50
Figura 3.9 Mapa de Ubicación correlación estratigráfica #1	53
Figura 3.10 Correlación estratigráfica # 1	54
Figura 3.11 Mapa de ubicación de la correlación - estratigráfica # 2.....	56
Figura 3.12 Correlación - estratigráfica # 2.....	57
Figura 3.13 Mapa de Ubicación correlación estructural #1	59

Figura 3.14 Correlación estructural #1	60
Figura 3.15 Mapa de ubicación de la correlación estructural # 2.....	61
Figura 3.16 Correlación Estructural #2	62
Figura 4.1 Mapa de espesor del sello Caolinítico	67
Figura 4.2 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma A.....	68
Figura 4.3 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma B.....	69
Figura 4.4 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma C	70
Figura 4.5 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma D	71
Figura 4.6 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma Norte	72
Figura 4.7 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-005	73
Figura 4.8 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-008	74
Figura 4.9 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-013	75
Figura 4.10 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-040	76
Figura 4.11 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-046	77
Figura 4.12 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-032	78
Figura 4.13 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-024	79
Figura 4.14 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-059	80
Figura 4.15 Prospectos de pozo para perforaciones.....	82
Figura 4.16 Resultados de perforación.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Parámetros petrofísicos del Reservorio Hollín (Petroamazonas EP., 2018)..	18
Tabla 1.2 Propiedades físicas de la Caolinita (Dana, 1982)	21
Tabla 2.1 Presiones Intake del Reservorio Hollín y Zonas abiertas	28
Tabla 3.1 Intervalos analizados a partir de muestras de ripios.....	32
Tabla 3.2 Intervalos correspondientes a núcleos.	33
Tabla 3.3 Límites utilizados para la clasificación de la porosidad.....	33
Tabla 3.4 Intervalo de ubicación de las secciones delgadas	34
Tabla 3.5 Intervalos correspondientes a las muestras analizadas petrográficamente...	36
Tabla 3.8 Descripción de unidades de Flujo del pozo PA-2	40
Tabla 3.9 Núcleos del Pozo PA-2 (LVC del Ecuador)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.10 Descripción de Facies y subfacies del pozo PA-4	43
Tabla 3.12 Comparación entre los pozos palo azul-2 y palo azul-4	46
Tabla 4.1 Espeso del sello Caolinítico para cada uno de los pozos analizados	65

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En enero del año 1999, fue descubierto el Campo Palo Azul ubicado en el “Play Central” Corredor Sacha Shushufindi, por medio de la Contratista conformada por las empresas CAYMAN INTERNATIONAL EXPLORATION COMPANY S.A. y PETROMANABI S.A., quienes perforaron “Palo Azul-01” y en el año 2000 se perforó “Palo Azul-02” para comprobar la continuidad del reservorio Hollín y la estructura fuera de los límites del Bloque 18.

El principal reservorio del Campo Palo Azul es la “Formación Hollín” y los reservorios secundarios corresponden a la arenisca “Basal Tena”, “U”, “T” y la “Formación Napo” donde existen acumulaciones de hidrocarburo (Baby P. Barragán R., 2004).

El campo Palo Azul actualmente cuenta con 57 pozos perforados de los cuales 38 se encuentran en producción, 2 en workover, 7 cerrados, 3 abandonados y 7 pozos reinyectores. Su producción es de un volumen de 67.377, 13 BFPD, 6723,77 BPPD con un corte de agua del 90% y un grado api de 26. (Petroamazonas EP, 2018).

1.1 Descripción del problema

La presencia de un sello diagenético Caolinítico en el Reservorio Hollín del Campo Palo Azul proporciona condiciones adversas para el desarrollo del campo ya que ocupa el volumen poroso que en condiciones ideales debería estar saturado por hidrocarburo y genera zonas desfavorables para procesos operativos.

1.2 Justificación del problema

El presente estudio proporcionara información necesaria para la evaluación de pozos mediante el análisis de Registros eléctricos, Master logs, Núcleos (testigos litológicos de la zona de interés), parámetros petrofísicos, información de producción y de operaciones correspondientes al Campo Palo Azul, con el fin de optimizar la producción por medio de la identificación de Caolinita en el reservorio Hollín que proporciona condiciones benéficas durante procesos operativos ya que la presencia de este evita el avance del agua del contacto (CAP).

La importancia de este estudio radica en proporcionar información para optimizar la producción de los pozos y establecer mediante este análisis si es posible realizar trabajos de fracturación, estimulación y aumento de frecuencia con el fin incrementar la producción del Campo Palo Azul.

1.3 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Identificar el sello Diagenético “Caolinita” en el Reservorio Hollín del Campo Palo Azul-Bloque18 a través del análisis de la información geológica disponible con el fin de realizar trabajos para la optimización de producción.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Analizar información de condiciones de fondo de los pozos y geología obtenida a través de: Registros eléctricos, Master logs y Núcleos (testigos litológicos de la zona de interés) para la identificación de electrofacies, además de la realización de correlaciones.
2. Definir un mapa de espesores del sello Caolinítico mediante la interpretación de la información geológica obtenida del análisis técnico de los pozos.
3. Identificar pozos candidatos a reacondicionamientos y otros procesos operativos en función del sello Caolinítico identificado para cada uno de ellos.

1.2 Factibilidad y Accesibilidad

Este estudio será factible ya que contará con la asesoría académica necesaria mediante la designación del tutor asignado por la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. De igual forma con la asesoría técnica brindada por el tutor designado por la Empresa PETROAMAZONAS EP., quien proporcionara la información requerida para este proyecto.

1.4 Marco teórico

1.2.1 Ubicación Geográfica Regional

La Cuenca Oriente abarca aproximadamente un área total de 100,000km². Se encuentra limitada al Norte por la Cuenca Putumayo, al sur por la Cuenca Marañón, al Oeste por los Andes y al Este por el Escudo Guayanés (Marksteniner & Alemán, 1997).

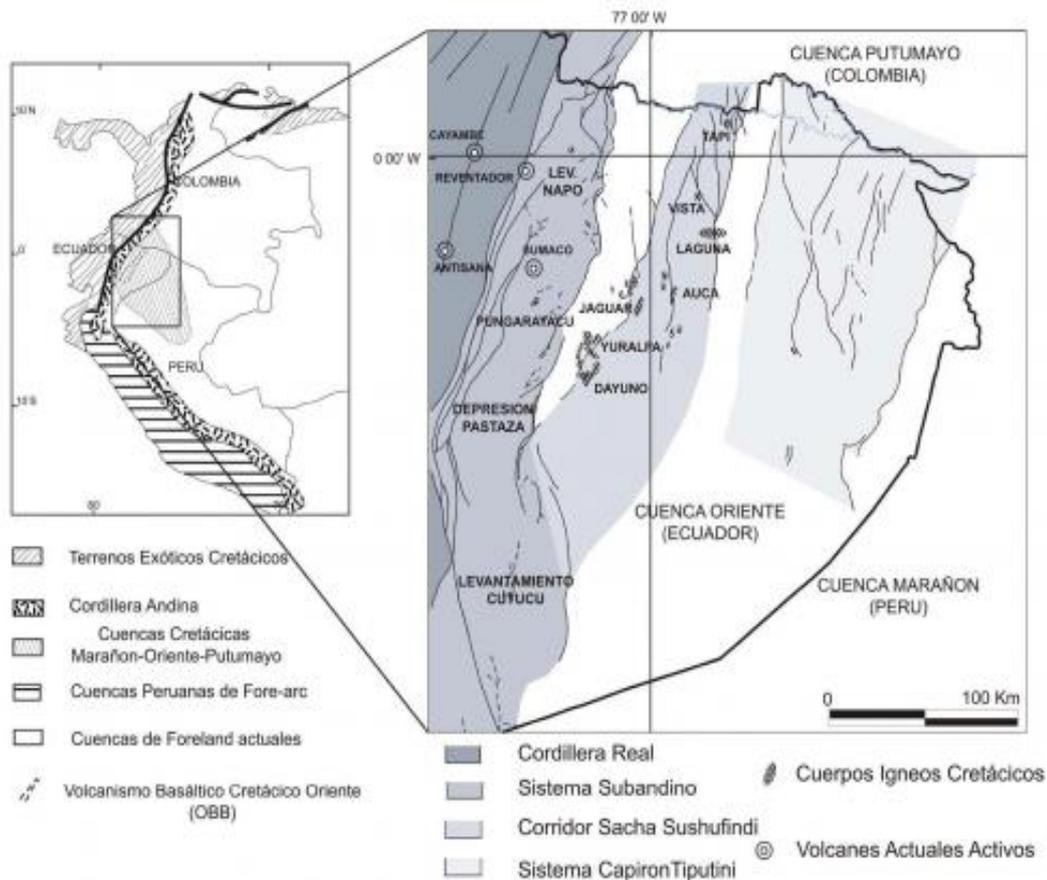


Figura 1.1 Mapa tectónico sintético de la Cuenca Oriente (Baby et al., 1999)

1.2.2 Ubicación Geográfica Local

El Campo Palo Azul está ubicado en la zona oeste del Bloque 18, en la Provincia Francisco de Orellana de la Región Amazónica del Ecuador, como se observa en la Figura 1.4.

1.2.3 Historia del Campo Palo Azul

El Campo Palo Azul fue descubierto en el año 1999 por medio de la perforación exploratoria del pozo Palo Azul-01. En el 2000 se perforó el pozo Palo Azul-02 y comenzó su producción en octubre del 2001.

A inicios de enero y hasta diciembre del año 2017, se perforo 1 pozo en parte Norte del campo: Palo Azul-N59 el cual atravesó los reservorios presentando propiedades suficientes para su explotación económica rentable en las condiciones actuales.

Se encuentran perforados un total de 60 pozos, de los cuales 38 pozos están en producción, 4 pozos esperando workover, 11 pozos cerrados, 2 pozos abandonados. La producción registrada al 31 de octubre del 2017 fue de 7568.80 BPPD de un promedio de 25,1° API. El campo cuenta con 5 pozos reinyectores de agua: Palo Azul reinjector

03, 11, 27, 35 y 37RE; actualmente el agua producida se reinyecta por cinco pozos sin inconveniente. (PETROAMAZONAS E.P., 2017)

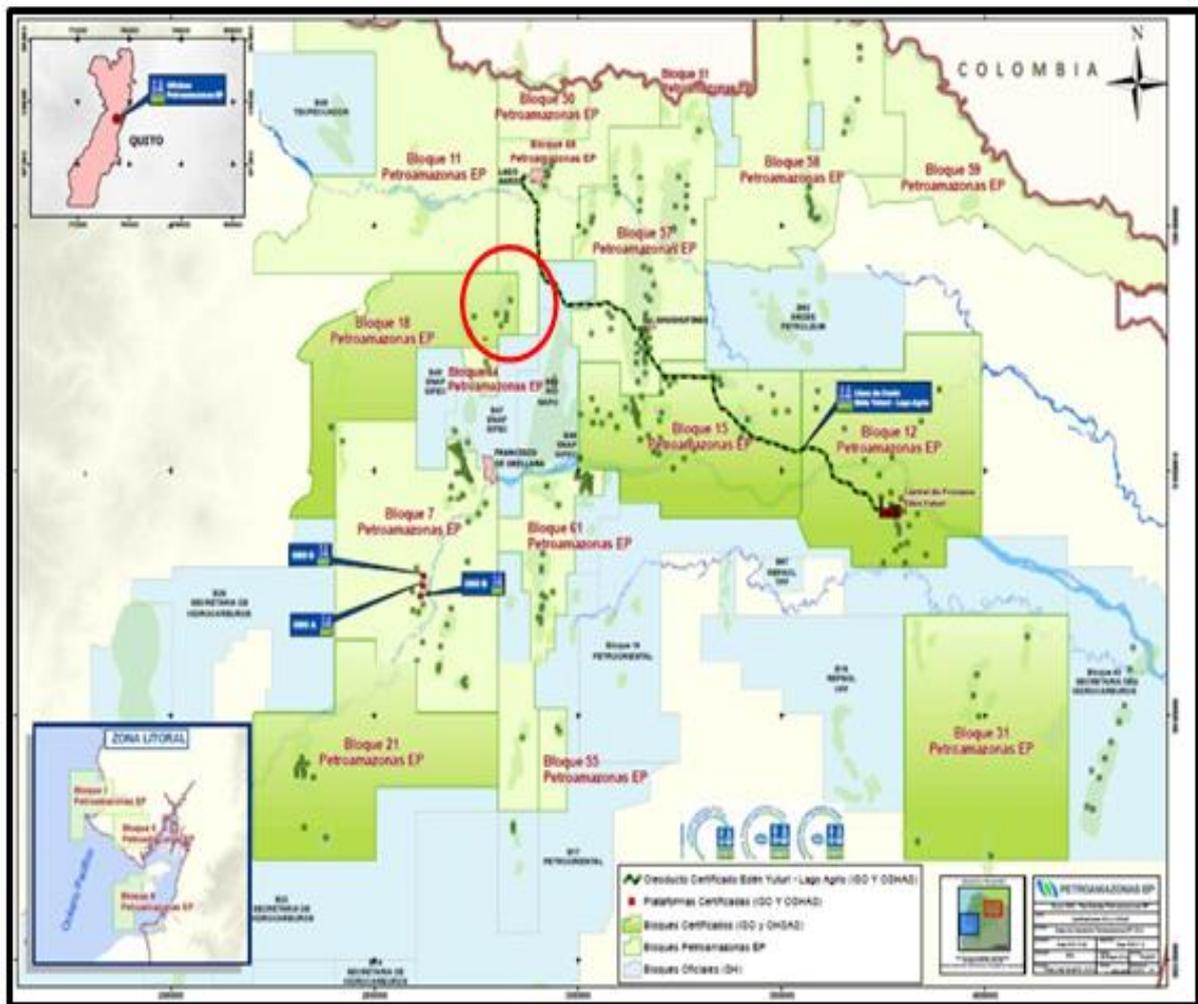


Figura 1.2 Mapa de Ubicación del Bloque 18, campo Palo Azul (PETROAMAZONAS E.P., 2017)

1.2.4 Geología Regional

La Cuenca Oriente forma parte del sistema subandino de cuencas de ante país (Marksteiner & Alemán, 1997) su extensión va desde Colombia hasta Argentina, de manera general la estratigrafía del relleno cretácico de la Cuenca Oriente se basa en tres formaciones: Hollín, Napo y la arenisca Basal correspondiente a la formación Tena. Es asimétrica hacia el oeste, su depocentro está localizado en Perú con espesores de hasta 5000m en sedimentos del Terciario y Cretácico. (Young, R. & Harás, J., 1996). La Cuenca Oriente está estructurada como resultado de esfuerzos transpresivos, que generaron la inversión tectónica de antiguas fallas normales asociadas a un sistema de rift de edad Triásico o Jurásico inferior (Baby et al., 1997; Baby et al., 1999), lo cual generó su deformación y la estructuración de los principales campos petrolíferos del país.

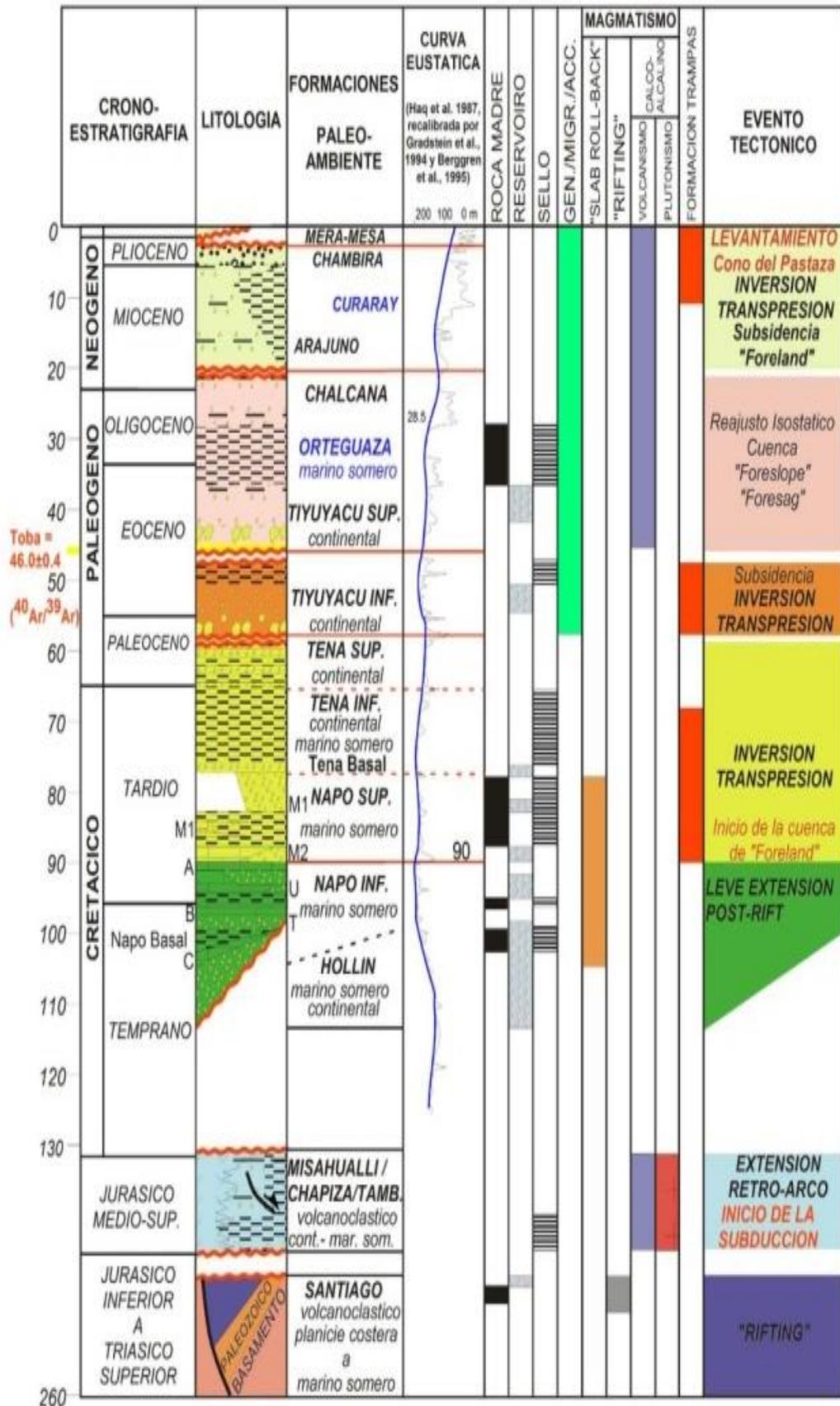


Figura 1.3 Columna tectono-estratigráfica de la Cuenca Oriente (Baby, et al., 2004)

1.2.5 Geología Estructural

La cuenca Oriente posee 3 dominios tectónicos (Baby, et al.,1999): El Dominio Occidental o Sistema Subandino, el Dominio Central o Corredor Sacha Shushufindi y el Dominio Oriental o Sistema Capirón- Tiputini.

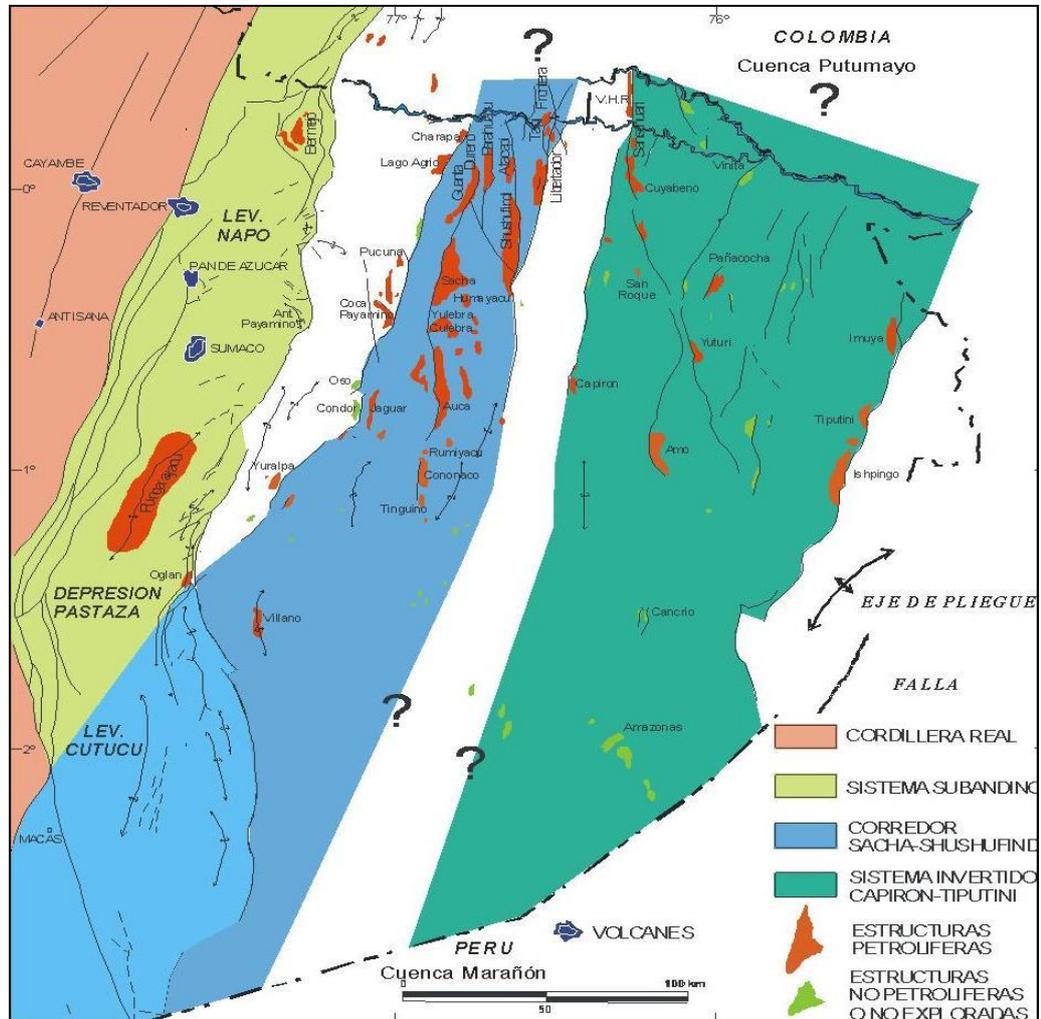


Figura 1.4 Mapa tectónico estructural de la Cuenca Oriente, con sus dominios estructurales petrolíferos (Baby, et al.,1999)

El Dominio Occidental o Sistema Subandino. (Baby, et al., 1999)

Este dominio en sentido Norte a Sur presenta 3 zonas morfoestructurales que son:

Levantamiento Napo: Corresponde a un gran Domo alargado con orientación NNE-SSO, acotado en sus flancos por fallas transpresivas, en esta estructura afloran rocas tipo sedimentarias de edad cretácicas y terciarias pertenecientes a la Cuenca Oriente.

Depresión Pastaza: Estructuralmente está conformado por fallas cabalgantes y litológicamente corresponde a sedimentos neógenos-cuaternarios y se encuentra ubicada en la zona de transición entre los levantamientos Napo y Cutucú.

Cordillera Cutucú: Esta cordillera es interpretada como una estructural en flor (Baby, et al 1998) y con una variación en la orientación de sus estructuras en sentido NNO_SSE, y afloran formaciones de edad triásica, jurásica y paleozoica.

El Dominio Central o Corredor Sacha Shushufindi

En este dominio se encuentran los campos de mayor importancia de la Cuenca Oriente (Sacha, Shushufindi, Libertador) y estructuralmente se encuentra afectado por fallas de rumbo con sentido NNE-SSO (Baby, et al., 1999).

El Dominio Oriental o Sistema Capirón- Tiputini

El dominio Oriental corresponde a una cuenca extensiva, actualmente invertida, estructurada por fallas de tipo lístricas y litológicamente conformado por rocas de edad Permo-Triásico (Bakwill, et al., 1995; Baby, et al., 1999), posee grandes campos petrolíferos como: Tiputini, Tambacocha, Imuya e Ishipingo.

1.2.6 Litoestratigrafía de la Cuenca Oriente.

Precámbrico

El basamento de la Cuenca Oriente se encuentra localizado en la parte oriental de la misma, litológicamente está conformado por rocas ígneas y metamórficas (esquistos y granitos) correspondientes al escudo de Guayano-Brasileño, datadas en algunos pozos con una edad de 1600 millones de años (Texeira et al., 1989).

Paleozoico

Formación Pumbuiza (Silúrico-Devónico)

Se encuentra constituida litológicamente por pizarras arcillosas de color gris a negro (Dozy, 1940). en ciertas ocasiones gráficas, areniscas cuarcíticas de grano fino, las arcillas se encuentran fuertemente falladas y plegadas, por lo cual su potencia es desconocida, su ambiente de depositación es marino de plataforma (Goldschmid, 1941).

Formación Macuma (Carbonífero – Pérmico)

Está constituida litológicamente por estratos de calizas bioclásticas, dolomitas intercaladas con margas, pizarras, lutitas y areniscas finas en ciertas ocasiones glauconíticas, su ambiente de formación es marino profundo. (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Esta formación se encuentra subdividida en dos miembros (Tshopp, 1953):

- Macuma Inferior: Posee una potencia de 150-200 m. de calizas silíceas con gran contenido fosilífero de tonalidad azul-gris oscuro con alternaciones de pizarras y esquistos arcillosos.

- Macuma Superior: Posee una potencia aproximada de 1250m. de calizas de color gris oscuro intercaladas con arcillas pizarrosas, y hacia el tope las calizas pasan a marga, arcillolitas y areniscas.

Mesozoico

Formación Santiago (Triásico superior – Jurásico inferior):

Litológicamente se encuentra constituida por sedimentos marinos ricos en contenido orgánico, volcano-sedimentos, capas delgadas de calizas silíceas de color gris oscuro a negro, areniscas calcáreas de grano fino a grueso de color gris e intercalaciones de lutitas negras, arenas bituminosas, hacia el oeste de la formación las facies de tornan volcánicas pasando a tobas arenosas de color verde, con un ambiente de depositación marino transgresivo (Rivadeneira & Sánchez, 1989).

Formación Chapiza (Jurásico medio – Cretácico temprano):

Posee un color rojo predominante debido a los sedimentos clásticos continentales que presenta, su potencia varía entre 600-4500m. Conformada litológicamente por capas delgadas de areniscas de grano fino a grueso de color rojo alternadas con lutitas abigarradas y presentan laminaciones de yeso y sal (Tschopp, 1953), además existen intrusiones de porfirita y diabasa. La parte superior presenta volcano sedimentos. Su ambiente de depositación es continental.

Formación Misahuallí (Jurásico medio – Jurásico superior):

Se encuentra constituida por una serie de lavas y piroclásticos (acumulaciones volcánicas), en la parte inferior basaltos de color verde a pardo, rocas extrusivas con interstratificadas con sedimentos, y en la parte superior tobas de color gris y rosada, posee acumulaciones volcánicas masivas y gruesas que corresponde al gran arco magmático (Perú-Colombia) relacionado con la actividad magmática tectónica Jurásica en los cuales se han identificado los intrusivos de los batolitos de Abitagua Rosa Florida y Azafrán. (Aspend & Litherland, 1992; Eguez & Aspden, 1993). Su ambiente de depositación es continental,

Cretácico

Formación Hollín (Aptiano superior - Albiano tardío):

Está caracterizada por una sucesión de depósitos de ríos entrelazados progradantes y diacrónicos correspondientes a planicies aluviales. Constituida por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso de tonalidad blanca, con presencia de estratificación cruzada, delgadas capas de guijarros con intercalaciones de lutitas arenosas de color oscuro, lutitas carbonatadas negras e impregnaciones de asfalto. Posee una potencia

aproximada de 150m. y su ambiente de depositación es marino somero y de playa-plataforma marina abierta.

Esta formación está dividida en dos miembros litológicos: (Villagómez, 1995)

Hollín Inferior: (Aptiano Inferior) Está constituido por areniscas conglomeráticas, ubicada en el relleno sedimentario de varios valles incisos. Su ambiente deposicional es distal de planicie aluvial costera (Write et al., 1995 & Jordan et al., 1997).

Hollín principal (Aptiano Superior) (Tschopp, 1953; Bristol & Hoffstetter, 1977): Está constituido por areniscas cuarzosas de depósitos de llanura de inundación aluvial, planicie costera y plataforma marina poco profunda. (Tschopp, 1953; Bristol & Hoffstetter, 1977)

Formación Napo (Albiano medio – Coniaciano inferior):

El grupo Napo consiste en una intercalación de lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas calcáreas con una potencia aproximada de 200m. Y se encuentra dividido en las siguientes formaciones:

- Napo Basal (Albiano inferior-superior): Esta formación se subdivide en cuatro miembros (Jaiallard, 1997):
- Caliza C (Albiano medio temprano-Albiano medio tardío): Está compuesto por calizas masivas y lutitas de color negro con trazas de glauconita y fosfatos, su ambiente de depositación es marino somero. (Jaiallard, 1997).
- Lutita Napo Basal (Albiano medio-superior): Litológicamente está conformado por lutitas laminadas de color negra con un gran contenido fosilífero que se degrada hacia la parte superior, su ambiente de depositación es de plataforma marina abierta (Jaiallard, 1997).
- Caliza T (Albiano superior): Consiste en una intercalación de margas, calizas arenosas (glauconíticas, fosilífera, bioturbadas) y lutitas de ambiente de formación marino (Jaiallard, 1997).
- Arenisca T (Albiano superior tardío): (Haq *et al.*, 1987) Se divide en dos niveles y aparecen en la mayor parte de la Cuenca Oriente, la arenisca T inferior litológicamente está compuesta por areniscas de grano grueso degradándose hacia el oeste, con petróleo liviano con un ambiente de depositación de canales fluviales, canales de marea y deltas. la arenisca T superior por arenas glauconíticas y calcáreas intercaladas con lutitas, con un ambiente de

deposición de plataforma de marina somera, estuarino y canales de marea. (Baby *et al.*, 2004).

- Caliza B (Albiano superior): Consiste litológicamente en lutitas y limolitas de color negro no bioturbadas, calizas margosas negras laminadas y con un alto contenido de pirita, las microfacies de la base esta comprendidas por mudstones y wackstones con un gran contenido de materia orgánica y fosilífero. Su ambiente de deposición marino anóxico de baja energía (Jaillard, 1997).
- Lutitas Napo Medio U (Cenomaniano medio): Está compuesta litológicamente por lutitas de color negro con un bajo contenido calcáreo, de la base al tope el contenido de microfauna disminuye notablemente (Jaillard, E 1997). Su ambiente de deposición marino anóxico de baja energía (Baby *et al.*, 2004).
- Caliza U (Cenomaniano medio): Consiste litológicamente en mudstones de color gris claro, de baja cohesión, porosidad no visible y ausencia de hidrocarburo. (PETROAMAZONAS E.P., 2014).
- Arenisca U (Cenomaniano medio a superior): Se encuentra dividida en dos miembros: Arenisca U principal o inferior conformada litológicamente por areniscas cuarzosas con estratificación cruzada y laminación planar de grano grueso decreciente hacia el oeste, con un ambiente de deposición deltaico y fluvial. Arenisca U superior consiste en areniscas glauconíticas de grano fino, con presencia de bioturbación y cemento calcáreo intercaladas con calizas y lutitas, su ambiente de deposición es de plataforma marina estuarina y planicie costera (Ramírez, *et al.*, 2005.).
- Caliza A (Turoriano inferior-medio): Se divide en dos niveles (White H *et al.*, 1995), Caliza A inferior compuesta litológicamente por calizas micríticas masivas y con laminación, con un gran contenido de cherts de color negro, fósiles y pirita, su ambiente de deposición es submareal de baja energía (White *et al.*, 1995). La Caliza A superior corresponde a calizas masivas y margas con abundante presencia de bioturbación, fósiles y dolomitizada en fragmentos, se vuelve arenosa hacia el tope y glauconíticas, con un ambiente de deposición de mar abierto y baja energía (Jaillard, 1997).
- Arenisca M2 (Turoniano superior): (Haq *et al.* 1987) Está compuesta litológicamente por areniscas de grano muy fino intercaladas con lutitas

calcáreas con variaciones del contenido de glauconita hacia al este de la cuenca. Su ambiente de depositación plataforma carbonatada abierta somera de baja energía. (Jaillard, 1997).

- Caliza M2 (Turoniano superior-Coniaciano inferior): Está compuesta litológicamente por calizas con abundante contenido fosilífero interestratificadas con lutitas y margas (White H. et al, 1995), Su ambiente de depositación es marino profundo de baja energía hacia la base pasando a un medio más abierto y somero al tope. (Jaillard, 1997).
- Caliza M1 (Coniaciano inferior): Está conformado por una sucesión de calizas, margas y lutitas (Jaillard, 1997). Su ambiente de depositación es de plataforma anóxica carbonatada.
- Lutitas Napo Superior (Santoniano tardío- Campaniano temprano): litológicamente está conformado por lutitas de color negro con alto contenido en materia orgánico, su ambiente de depositación es de plataforma marina somera (Baby et al., 2004).
- Arenisca M1 (Campaniano medio): se encuentra dividida en dos niveles Arenisca M1 inferior que corresponde a areniscas masivas de grano grueso, microconglomeráticas hacia la base, su ambiente de depositación es fluvial y canales de marea en un ambiente estuarino (Rivadeneira M. et al, 1995). La areniscas M2 superior está conformada por areniscas glauconíticas intercaladas con lutitas, sobreyacidas por sedimentos pantanosos que generan capas de carbón, su ambiente de depositación es estuarino (Baby et al., 2004).

Formación Tena (Maastrichtiano-Paleoceno):

La formación Tena está caracterizada por los eventos deposicionales más jóvenes del sistema sedimentario Hollín-Napo-Basal Tena. (Baby et al., 2004) y se encuentra subdivida en tres miembros:

- Arenisca Basal Tena (Maastrichtiano-inferior): Está conformado por areniscas arkósicas que pasando hacia el este se convierten areniscas cuarzosas, areniscas calcáreas en la parte norte y la parte central de la cuenca, brechas, microconglomerados. Su ambiente de depositación es marino somero-continental (Baby et al., 2004).

- Tena Inferior (Maastrichtiano): Está conformada por limolitas y areniscas de grano fino y color rojo (Jaillard, 1997), debido a su ambiente de depositación continental.
- Tena Superior (Paleoceno)_ Consiste en limolitas y areniscas de grano grueso (Jaillard, 1997), su ambiente de depositación es continental

Formación Tiyuyacu (Eoceno inferior – superior):

Por medio del análisis sísmico del Oriente Ecuatoriano se identificaron dos miembros (Marocco *et al.*, 1996; Baby *et al* 1999a; 1999c):

- Tiyuyacu Inferior (Eoceno inferior- medio): Está constituido por conglomerados, areniscas de grano grueso, lutitas, y arcillas rojas, los conglomerados compuestos por cherts rojizos, angulosos, cuarzos lechosos y rocas metamórficas. La base de este miembro presenta una notable erosión que es el marcador de un importante evento tectónico, su ambiente de depositación es fluvial con incursiones marinas (Marocco *et al.*, 1996).
- Tiyuyacu Superior (Eoceno medio-superior): Está conformado por conglomerados hacia la base en mayor proporción, lutitas y areniscas en el tope. Su ambiente de depósito es continental (Baby *et al*, 1997).
- Formación Orterguaza: (Oligoceno inferior) Esta formación está conformada por areniscas de color verde, lutitas gris verdosas a negras y limolitas, la presencia de pirita es un indicador notable de un ambiente reductor de plataforma marina (Zambrano *et al.*,1996).

Formación Chalcana (Oligoceno superior a Mioceno):

Esta formación está constituida por sedimentos continentales de color rojizo formados por lutitas abigarradas con laminaciones de yeso. (Baldock, 1982; Berrones, 1994). Su ambiente de formación es fluvial continental (Rivadeneira, Frederic, Baby *et al.*, 1998).

Formación Arajuno (Mioceno superior):

Está conformada por areniscas de grano fino a grueso, conglomerados intercalados con arcillolitas rojas y limolitas, arcillas con presencia de carbón y yeso. Se consideran tres niveles: El inferior corresponde a areniscas con lentes de guijarros y conglomerados. El nivel medio está conformado por arcillolitas de color rojo con presencia de yeso en la base y tobas hacia arriba. EL nivel superior litológicamente está conformado por arenas con arcillas ligníticas y vetillas de carbón, su ambiente de formación es continental (Baby *et al.*, 2004).

Formación Chambira (Mioceno superior – Plioceno inferior):

Se encuentra constituida por una alternancia entre conglomerados, troncos silíceos y niveles de areniscas tobáceas intercalada con arcillas. Su ambiente de formación corresponde a un abanico aluvial continental (Baby *et al.*, 2004).

Formación Curaray (Mioceno superior – Plioceno):

Está conformada por arcillas de color rojo verdoso y azuladas con una estratificación bien definida, yeso, con una alternancia de horizontes de arenas de grano fino, horizontes tobáceos y carbonáceos (Bristow & Hoffstetter, 1977). Su ambiente de formación es marino marginal a continental.

Formación Mesa (Plio-Pleistoceno):

Litológicamente está conformada por terrazas imbricadas, erosionadas compuestas por arcillas y areniscas tobáceas generadas por la erosión de la Cordillera de los Andes, su ambiente de depositación es continental. (Baby P. *et al.*, 1997).

Formación Mera (Pleistoceno):

Esta formación consiste en un abanico de piedemonte estructurado en terrazas, conglomerados intercalados con piroclastos, y depósitos del sistema volcánico del Sumaco y el Reventador. Su ambiente de formación es continental. (Baby P. *et al.*, 1997).

1.2.7 Morfología de la Cuenca Oriente

Morfológicamente la cuenca oriente está caracterizada por relieves importantes a comparación con otra cuenca de tipo antepaís andinas. Entre los importantes relieves subandinos del Levantamiento Napo al noreste y de la Cordillera Cutucú al suroeste, desemboca el mega cono aluvial de Pastaza que se desarrolla hasta el Sur.

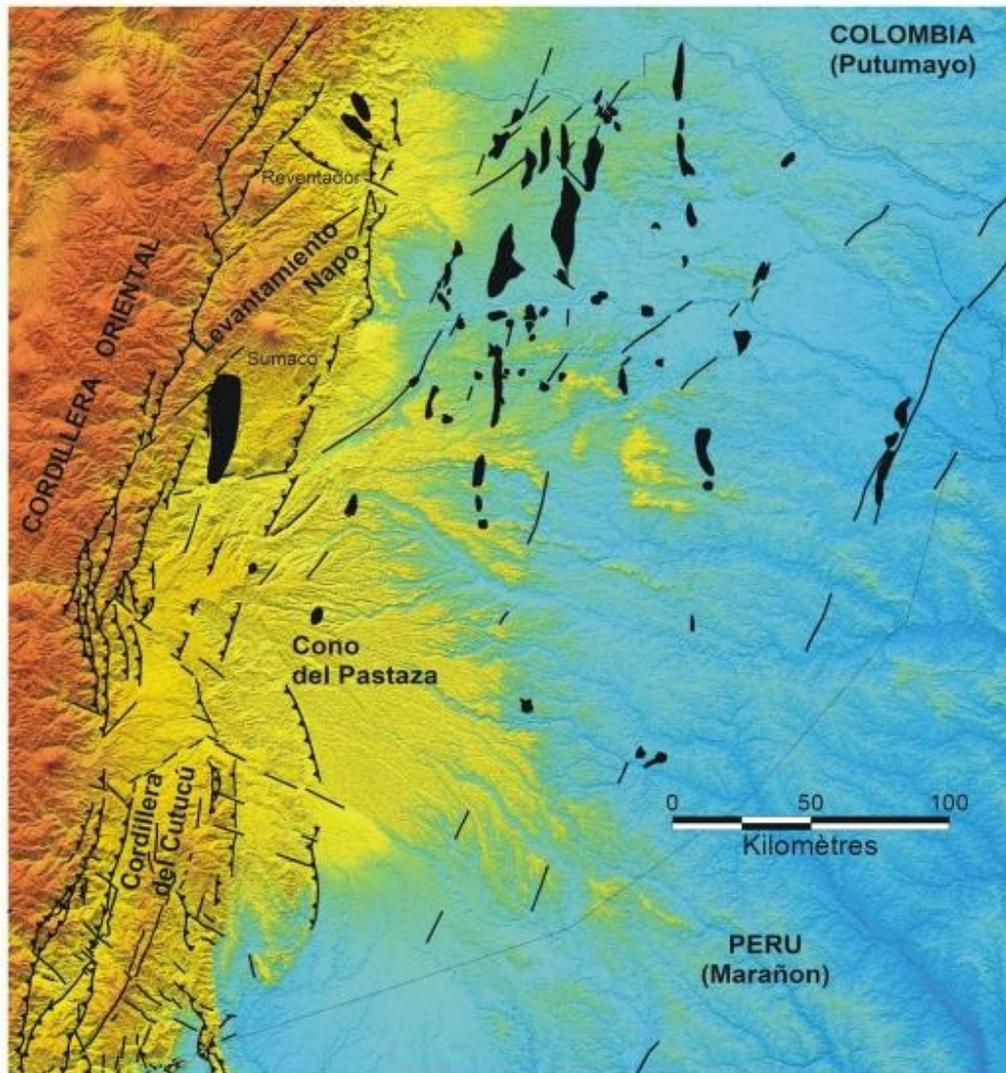


Figura 1.5 Mapa Morfoestructural de la Cuenca Oriente (Baby, et al., 1999)

1.2.8 Geología del Reservorio “HOLLÍN” del Campo Palo Azul

Geológicamente el campo Palo Azul perteneciente al bloque 18 de Petroamazonas E.P. se encuentra ubicado al Oeste del eje axial de la subcuenca cretácica Napo, el yacimiento Hollín es el principal reservorio del campo y se caracteriza por ser una trampa estructural (anticlinal asimétrico). (PETROAMAZONAS E.P., 2017)

Su mecanismo de drenaje regional es generado mediante un acuífero activo de fondo con un efecto lateral generado por las intercalaciones lutíticas existentes alrededor de los pozos.

1.2.9 Análisis litológico del Campo Palo Azul

La Formación Hollín se ha dividido en cuatro zonas según sus características litológicas que se muestran en la Figura 1.6.

Zona 1.- Caliza: Se presenta en bloques de color gris, crema de textura moteada, suave a moderadamente dura, no presenta porosidad ni hidrocarburo.

Zona 2.- Arenas glauconíticas: Arenas cuarcíticas de color verdoso de grano medio a fino con clastos redondeados a subredondeados, sorteo moderado y poca porosidad con abundantes inclusiones de glauconita.

Arenas costaneras: Arenas cuarcíticas de color café claro, hialinas, friables y deleznales de grano medio a fino con clastos redondeados a subredondeados, sorteo moderado, poca porosidad y presenta baja presencia de hidrocarburo.

Zona 3.- Arenas estuarinas: Arena cuarcítica de color café claro, hialina, friable y deleznable de grano medio con clastos subangulares a subredondeados, sorteo moderado, matriz y cemento no visible con inclusiones de glauconita, baja porosidad y presenta poco hidrocarburo.

Zona 4.- Arenas fluviales: Arena cuarcítica de color amarillo claro, friable y deleznable de grano grueso a medio con clastos subangulares a subredondeados, sorteo moderado, matriz y cemento no visible, inclusiones de glauconita, poca porosidad y no presenta hidrocarburo.

Se presenta en los anexos los análisis litológicos respectivos de los siguientes pozos correspondientes a distintas plataformas del Campo Palo Azul.

Tabla 1.1 Análisis Litológicos de los pozos seleccionados del Campo Palo Azul

PLATAFORMA	POZO
PLAB	PLAB-21RE
	PLAB-36HST1
PLAC	PLAC-45ST
PLAD	PLAD-28H
	PLAD-34H
PLAN	PLAN-52RE
	PLAN-54

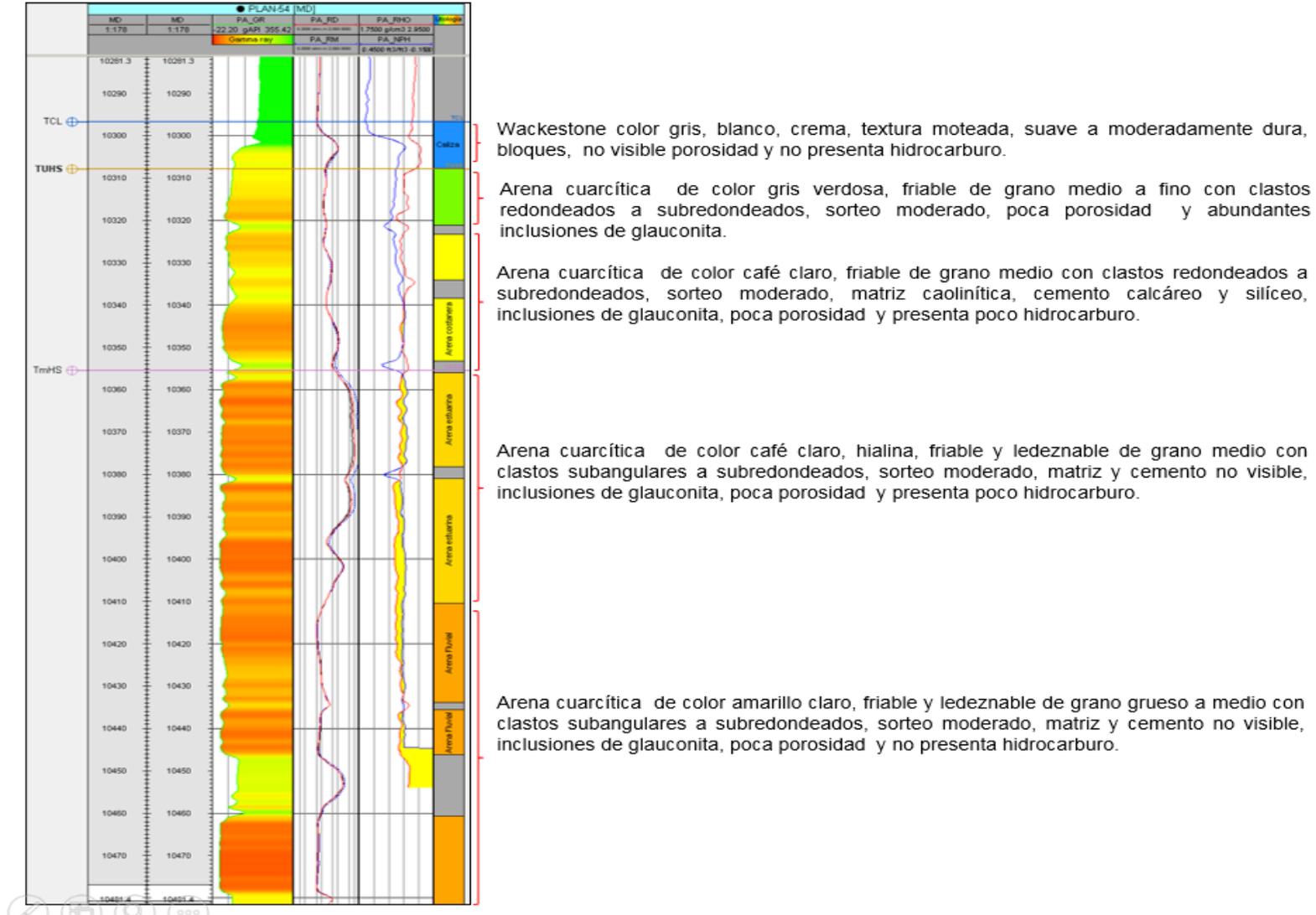


Figura 1.6 Columna litológica generalizada del Campo Palo Azul- Bloque 18

1.2.10 Geología Estructural asociada al reservorio "Hollín" del campo Palo Azul

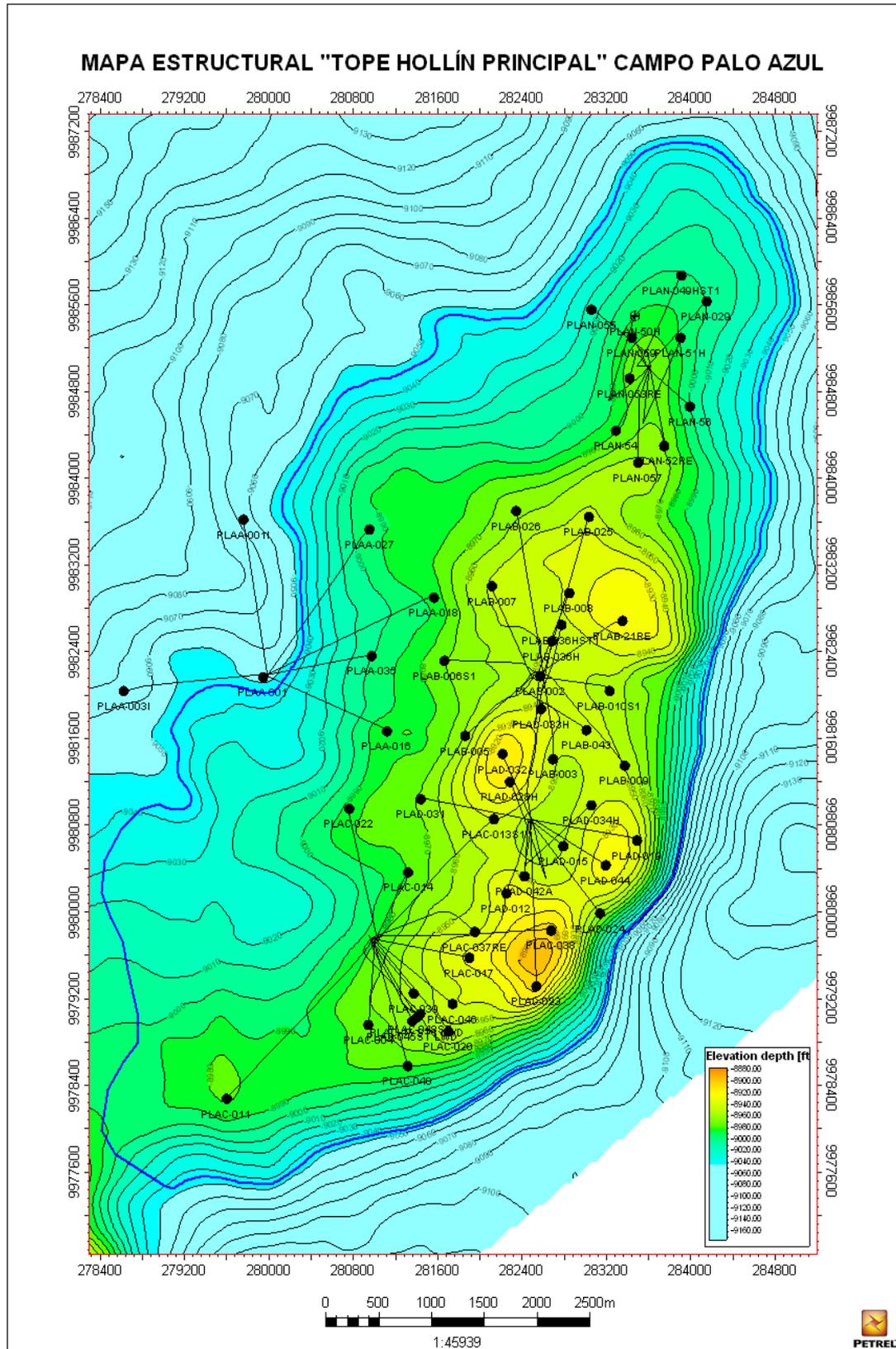


Figura 1.7 Mapa Estructural de Hollín Principal

La estructura Palo Azul es característico de un anticlinal asimétrico con un eje mayor de dirección preferencial Noreste-Suroeste, posee unas dimensiones aproximadas de 5 km de ancho y 10 km de largo. El cierre estructural definido a la cota de -9045 TVDSS abarca un área aproximada de 33.26 Km². El Campo se encuentra limitado contra una falla inversa de alto ángulo hacia el Sur y otra hacia el Este, las cuales se originan desde el basamento. Figura 1.8

1.2.11 Parámetros Petrofísicos del Reservorio “Hollín”

En la siguiente tabla1 se presentan las características petrofísicas del reservorio Hollín, tomadas a partir de coronas tomadas del mismo.

Tabla 1.2 Parámetros petrofísicos del Reservorio Hollín (Petroamazonas EP., 2018)

Presión Inicial	Espesor Neto de Petróleo	Porosidad	Saturación de Agua	Saturación de Petróleo	Permeabilidad
Pi	Ho	φ	Sw	So	K
Psi	Ft	%	%	%	mD
4340	70	15.2	19	81	800

1.2.12 Minerales de Arcilla

Los minerales de arcillas son minerales secundarios que pertenecen al grupo de los filossilicatos, con un tamaño de partícula menor a 2 μm. Se originan de la alteración química y estructural de minerales primarios:

- En condiciones exógenas mediante hidrólisis.
- En condiciones endógenas mediante alteración hidrotermal.

Mineralogía del Mineral Caolinita

La Caolinita es un mineral de arcilla (silicato de aluminio hidratado) formado a partir de productos solubles de minerales primarios (descomposición de feldespatos y otros silicatos de aluminio), cuya composición química es $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, el cual presenta un sistema cristalino triclinico (Besoain, 1985).

Su composición centesimal corresponde a (Dana, 1982):

$SiO_2=46,50\%$

$Al_2O_3=39,50\%$

$H_2O=14,00\%$

1.2.13 Formación de la caolinita

El origen de los minerales de caolín está controlado por un ambiente que facilita la transformación de los silicatos ricos en alúmina (feldespatos), formándose a partir de

rocas como: granitos, gneises, pizarras alumínicas, volcánicas ácidas, areniscas grauváquicas, arcosas, micaesquistos.

La Caolinita se forma a partir de diversos orígenes, que pueden ser tanto como producto de la meteorización o como producto de la alteración hidrotermal de rocas magmáticas ácidas o volcánicas.

La clasificación de los depósitos de Caolín es la siguiente (Bartolomé, 1997):

- **Caolines Primarios:** Se forman a partir de depósitos producidos por alteración in situ de otros minerales (feldespatos o silicatos alumínicos), los cuales mantienen una relación con la roca madre conservando sus características de textura y estructura. Se pueden clasificar en:
 - **Caolines Residuales:** Corresponden a rocas meteorizadas en la superficie formadas por ciclos de erosión y luego fueron selladas por formaciones geológicas recientes, en la mayoría de los casos estas se presentan en masas irregular y tabulares.
 - **Caolines Hidrotermales:** Se originan por la circulación de fluidos calientes que alteran las rocas, este calentamiento puede ser generado por el ascenso de una masa intrusiva, por la circulación de agua profundas y la presencia de elementos radiogénicos.
- **Caolines Secundarios:** En la formación de este tipo de caolín la diagénesis es fundamental, se pueden generar a partir de la alteración in situ de feldespatos en arenas arkósicas por circulación de fluidos superficiales (masas que han sido desplazadas por agua y luego depositadas) y se pueden clasificar en:
 - **Caolines Sedimentarios:** Se presentan de manera lenticular en sucesiones de areniscas (Patterson & Murray, 1984), este tipo de depósitos se encuentran principalmente en la Amazonía donde existen extensiones de arcillas correspondientes al Terciario tardío. Todo depósito caolinífero en rocas de tipo sedimentario es considerado un caolín secundario ya que es casi imposible distinguir entre caolinita detrítica y la alteración postdiagenética (Bartolomé, 1997).
 - **Arcillas Caoliníferas:** Se clasifican en:
 - Ball clays: Se depositan en lagos, ríos y se encuentran asociados con lignitos.

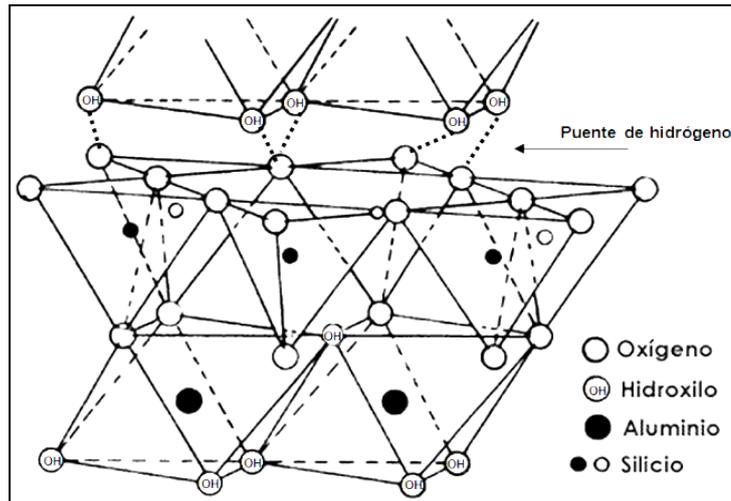


Figura 1.9 Modelo de la estructura de la caolinita y su relación 1:1 entre capa de tetraedros y octaedros y el puente de hidrogeno (Besoin,1985)

Sistema de Cristalización

Su sistema cristalográfico es triclinico, en general se forma en láminas pequeñas, delgadas, rómbicas o hexagonales (Dana, 1982).

Propiedades físicas:

Tabla 1.3 Propiedades físicas de la Caolinita (Dana, 1982)

Color:	Blanco, crema, gris o amarillento
Aspecto:	Untuoso al tacto
Raya:	Blanca
Brillo:	Terroso a mate o nacarado
Dureza:	2 a 2.5
Densidad:	2,40-2.64 g/cm ³
Transparencia:	Traslúcida a opaca

Usos de la Caolinita

Dependiendo de su pureza y propiedades se define su uso. En la industria petrolera la caolinita es usada para elaborar lechadas cementantes como aislar la zona entre la tubería y la formación geológica (Smith, 1990), además controla la migración de gases y fluidos hacia la superficie actuando como un sello, en construcción es usado como aditivo en el cemento aumentando su durabilidad, en la mayoría de los usos industriales la caolinita debe presentar una pureza química mayor al 50%.

.....

CAPITULO 2

2 Metodología

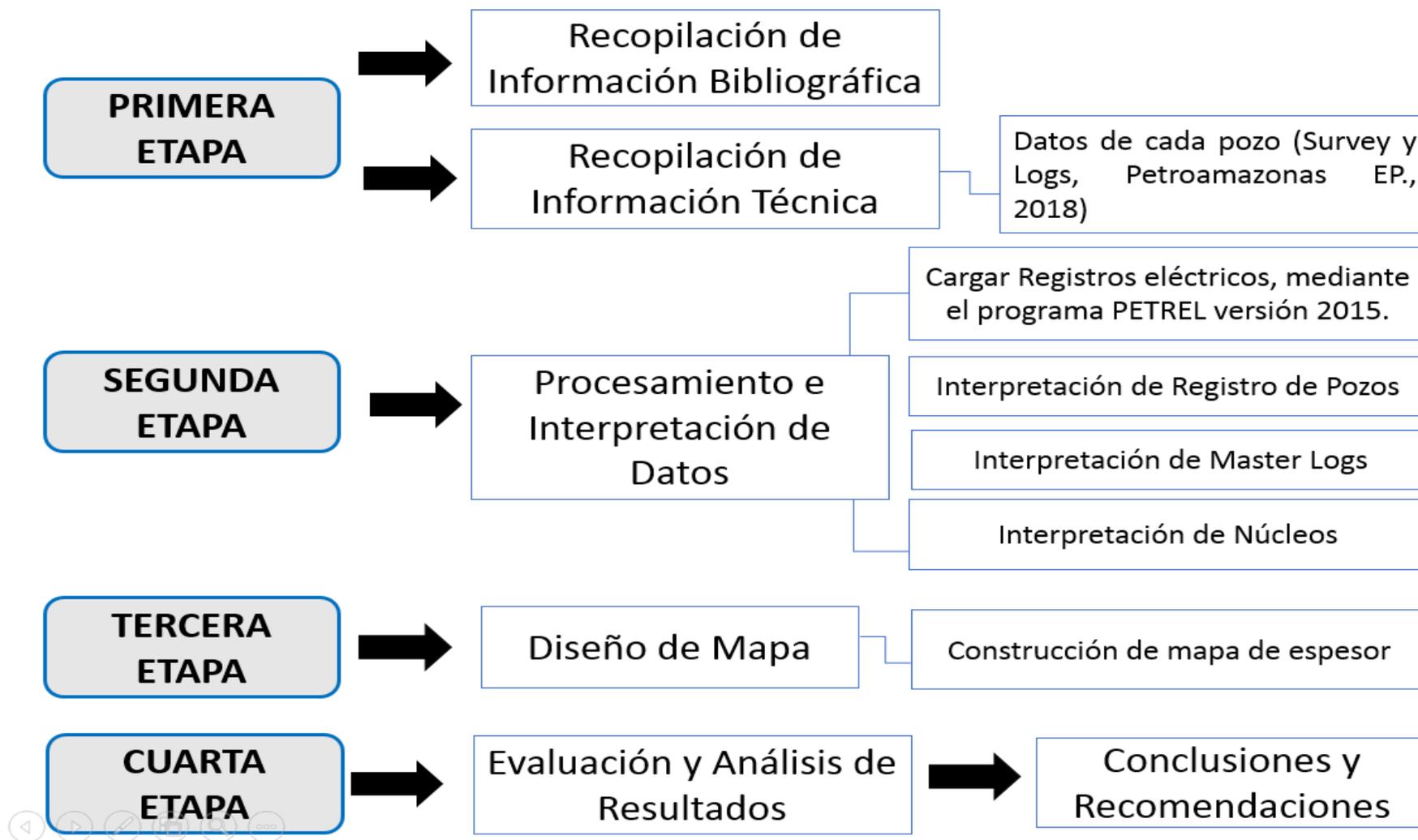


Figura 2.1 Metodología de Investigación

2.1 Fase de Recopilación

2.1.1 Recopilación de información geológica información:

Se recopila toda la información geológica disponible en informes técnicos, reportes, publicaciones, etc. La mayor parte de esta información fue consultada en informes técnicos en las instalaciones de PETROAMAZONAS E.P.

2.1.2 Recopilación y selección de información técnica específica disponible:

Revisión, selección y análisis de los datos obtenidos de cada pozo y verificación de la calidad de los datos proporcionados de cada pozo:

Surveys: Incluyen información correspondiente a la orientación del pozo y ángulos de inclinación a diferentes profundidades.

Registros eléctricos: Suministra información correspondiente a:

- Gamma Ray (GR)
- Caliper (CAL)
- Net pay (PAY)
- Porosidad (PHI)
- Permeabilidad (K)
- Resistividad (RES)
- Resistividad media (RM)
- Resistividad profunda (RD)
- Resistividad somera (RS)
- Densidad (RHO)
- Saturación de agua (SW)
- Saturación de petróleo (SXO)
- Vshale (VCL)
- Neutrón (NPH)
- Potencial Espontaneo (SP)

2.2 Fase II: Procesamiento e Interpretación de Datos

2.2.1 Cargar Registros eléctricos en un software especializado

El procedimiento de importar los datos correspondientes a cada pozo se realizó en el software Petrel versión 2015, los archivos correspondientes a los surveys se los carga en formato “txt.”, los datos correspondientes a registros eléctricos en formato “las.” La información fue añadida a un nuevo proyecto con sistema de coordenadas UTM/PSAD56

Zona 18S, este procedimiento es uno de los más importantes dentro de este trabajo ya que la carga correcta de los datos permite obtener resultados efímeros.

2.2.2 Interpretación de Registros de pozos

La interpretación de los registros de pozo se utiliza para la evaluación del reservorio, con el fin de caracterizar cada secuencia de manera estratigráfica identificando sus topes y bases.

- Topes litológicos: Se identificó cada uno de los topes de las formaciones existentes en los pozos a partir de los registros eléctricos Figura 2.2.

2.2.3 Interpretación de Master Logs

El análisis de Master logs proporciona información directa de litología, profundidad, mineralogía, ambiente de deposición, análisis cromatográfico de gases e información de registros eléctricos Figura 2.3.

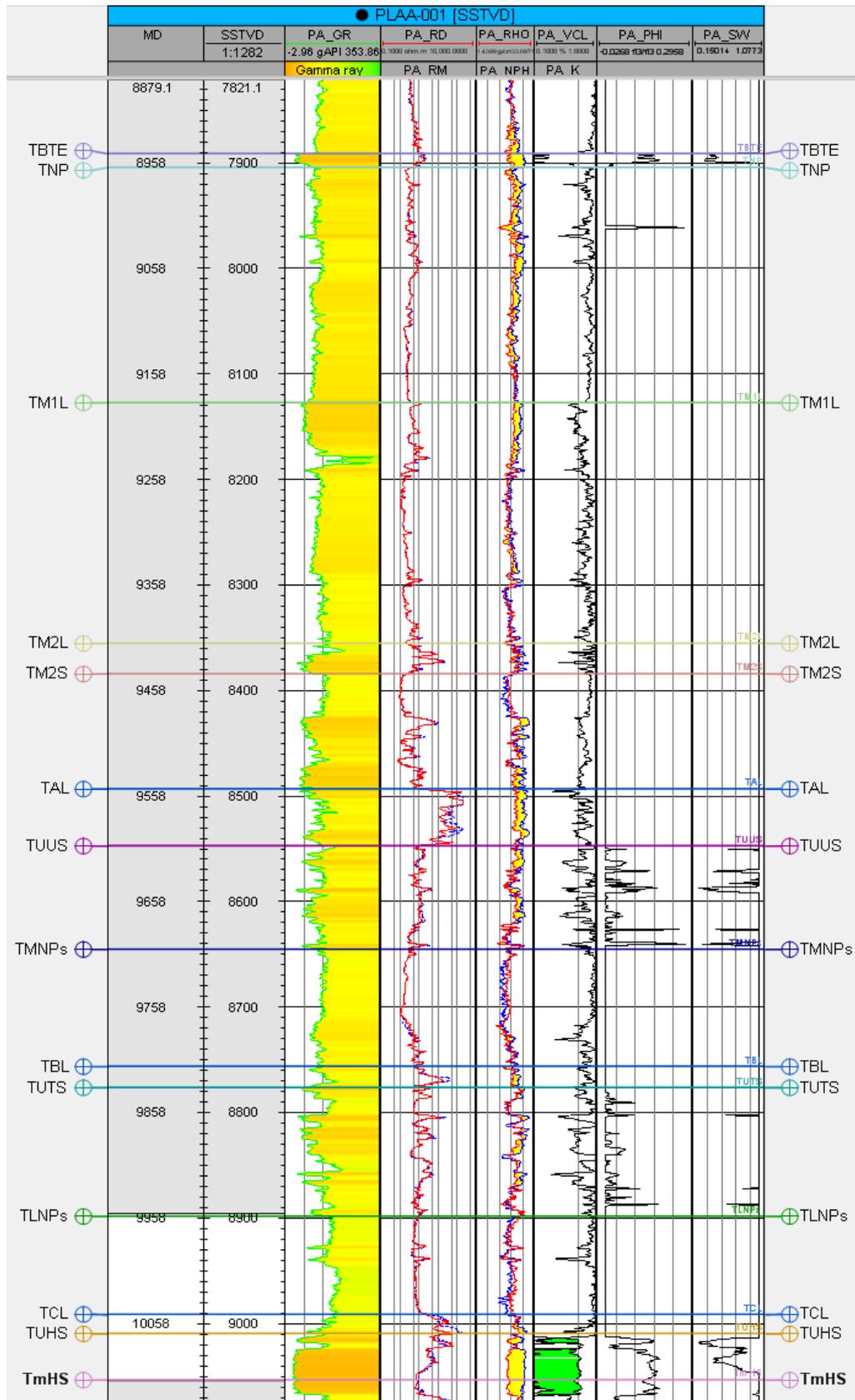


Figura 2.2 Topes de las formaciones existentes en el pozo PLAA-001



PETROAMAZONAS EP

FORMATION EVALUATION LOG (MD)

WELL - PALO AZUL B-021 RE



LITHOLOGY

<i>LC</i> Lost Circulation	<i>PP</i> Pump Pressure	<i>WOB</i> Weight On Bit
<i>PV</i> Plastic Viscosity	<i>IP</i> Yield point	<i>V</i> Viscosity
<i>RRB</i> Rerun Bit	<i>TB</i> Turbine	<i>MC</i> Mud Cake
<i>NB</i> New Bit	<i>CB</i> Core Bit	<i>DCB</i> Diamond Core Bit
<i>DB</i> Diamond Bit	<i>MW</i> Mud Weight	<i>RPM</i> Rotation per Minute

Claystone	Claystone Anhydrite	Claystone Foss	Gray Shale	Green Shale	Calcareous Shale
Clayey Marl	Siltstone	Sandstone	CEMENT	Glaucottic Sandstone	Conglomerate
Chert	Limestone	Dolomite	Coal	Extrusives	Intrusive Rock
K K K K					
K K K K					
Kaolinitic					

1:500

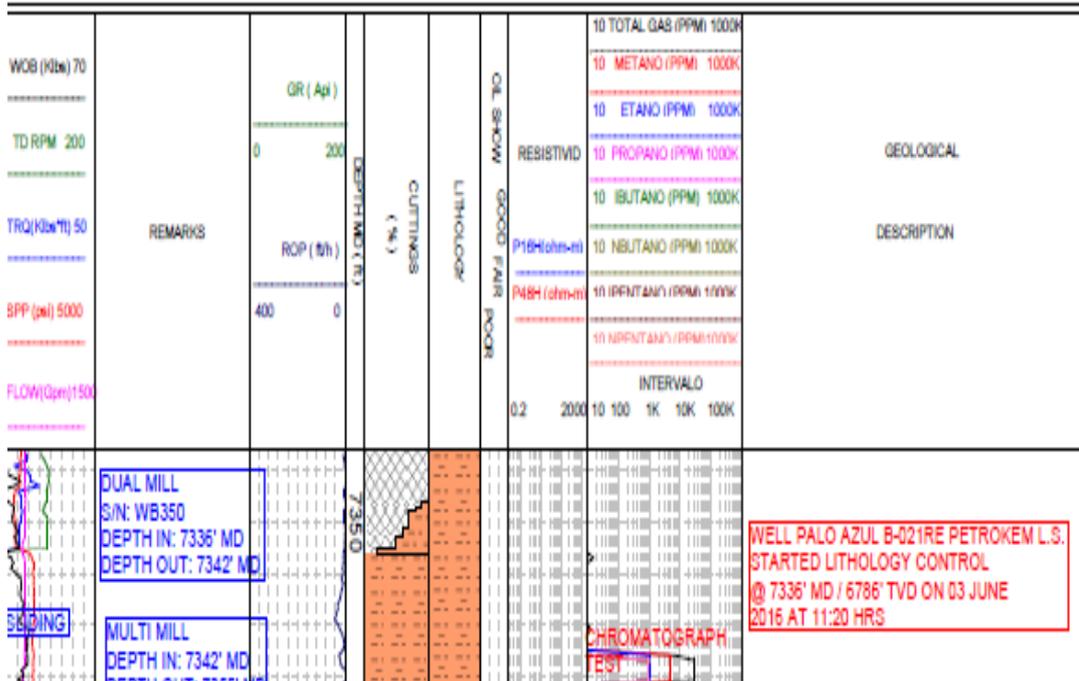


Figura 2.3 Master Log Palo Azul-28H. (Petroamazonas EP., 2018)

2.2.4 Análisis de Presiones PIP del Reservorio Hollín

Las concentraciones de caolinita en los pozos influyen el comportamiento de las presiones intake de los mismos, tomando en cuenta que existe una buena restauración de presión debido a la naturaleza del empuje que posee el reservorio Hollín, el cuál es un acuífero de fondo permitiendo así catalogar a este reservorio como un yacimiento no volumétrico y de empuje hidráulico.

Para el posterior análisis de la influencia de presiones dentro del reservorio Hollín se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Baja <600 PIP
- Media 600-1600 PIP
- Alta 1600-2600 PIP

Aquellos pozos que poseen una presión baja en condiciones ideales corresponderían a pozos con un espesor de sello considerable (<5ft), mientras que aquellos que poseen presiones altas deberían corresponder a pozos con espesor de sello caolinítico casi despreciable (>5ft), además se debe considerar que la PIP se ve influenciada por la posición estructural en la cual se encuentran ubicados los pozos y la continuidad lateral del mismo.

Tabla 2.1 Presiones Intake del Reservorio Hollín y Zonas abiertas

POZO	PRESION INTAKE	Zonas Abiertas	
		Hollín Inferior	Hollín Superior
PLAA-001	597		√
PLAA-001I		√	√
PLAA-003I		√	√
PLAA-016	1202	√	√
PLAA-018HI		√	√
PLAA-027HI		√	√
PLAA-035I		√	√
PLAB-002	1751	√	√
PLAB-003	1516	√	
PLAB-005	1383	√	√

POZO	PRESION INTAKE	Zonas Abiertas	
		Hollín Inferior	Hollín Superior
PLAB-007	873	√	
PLAB-008	1645	√	
PLAB-009	1268	√	√
PLAB-010S1	1200	√	√
PLAB-025	1064	√	√
PLAB-026	2057	√	√
PLAB-036H	715	√	√
PLAB-036HST1	674	√	√
PLAB-043	2955	√	
PLAB-21RE	2646	√	
PLAC-004	378		√
PLAC-011	855	√	
PLAC-013S1	783	√	
PLAC-014	1678	√	√
PLAC-017	877	√	√
PLAC-020	1020	√	√
PLAC-022I		√	√
PLAC-037REI		√	√
PLAC-038	786	√	
PLAC-039	1200		√
PLAC-040	706	√	√
PLAC-045ST1		√	
PLAC-046	2373	√	√
PLAC-048ST	2081	√	√
PLAC-47 ST1 LWD		√	√
PLAD-012	2063	√	√
PLAD-015	1846	√	√
PLAD-019	1817	√	√

POZO	PRESION INTAKE	Zonas Abiertas	
		Hollín Inferior	Hollín Superior
PLAD-023	648		√
PLAD-024	597		√
PLAD-028H	1233	√	√
PLAD-031	1961		√
PLAD-032	946	√	√
PLAD-033H	1657	√	
PLAD-034H	2113	√	√
PLAD-042 ^a	1043		√
PLAD-044	1773	√	
PLAN-029	1400	√	√
PLAN-049HST1	1075	√	√
PLAN-055	611		√
PLAN-057	209	√	√
PLAN-059	1664	√	√
PLAN-50H	620	√	√
PLAN-51H	942	√	√
PLAN-52RE	643	√	√
PLAN-053RE	289	√	√
PLAN-54	1026	√	√
PLAN-56	996	√	√

2.3 Fase III: Diseño de Mapa

2.3.1 Construcción de mapa de espesor

A partir de la identificación del tope y la base del sello litológico en los registros eléctricos mediante información geológica (Generación de Electrofacies: A partir cut-offs para identificación de sellos. Parámetros de sello: Densidad \geq 2.65 gr/cm³, Porosidad \leq 0.6%), análisis de los master logs y análisis de las presiones se obtuvo el espesor del sello Caolínico para la posterior construcción de un mapa de espesor.

2.4 Fase IV: Evaluación y Análisis de Resultados

2.4.1 Evaluación de pozos

Por medio de la elaboración de un mapa que proporciona el espesor del sello Caolínico en el reservorio Hollín se puede realizar la evaluación de los pozos con el fin de identificar de zonas donde es posible realizar trabajos de workover para optimizar la producción

CAPITULO 3

3 SEDIMENTOLOGÍA, ESTRATIGRAFÍA Y AMBIENTES DE DEPÓSITO DEL RESERVORIO “HOLLÍN”

3.1 Análisis sedimentológico del reservorio hollín

El análisis e interpretación de rípios de perforación y núcleos fue realizado por la empresa Argentina “LCV” especializada en estudios sedimentológicos, cuyos resultados fueron integrados con registros eléctricos.

Los intervalos estudiados a partir de muestras de rípios se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.1 Intervalos analizados a partir de muestras de rípios

Pozo	Profundidad del Intervalo		
	Techo(ft)	Base(ft)	Espesor(ft)
Palo Azul 8	9950	10700	750
Palo Azul 13 ST	10065	11625	1560
Palo Azul 25	10225	11725	1500
Palo Azul 5	9400	10775	1375
Palo Azul 13	Intervalo Hollín		
Palo Azul 22			
Palo Azul 10			
Palo Azul 3			
Palo Azul 7			
Palo Azul 9			
Palo Azul 14			
Palo Azul 35			
Palo Azul 23			
Palo Azul 26			
Palo Azul 15			
Palo Azul 6			
Palo Azul 4			
Palo Azul 2			
Palo Azul 1			

Ripios Estudiados: Hollín + Napo
 Hollín con secciones delgadas
 Hollín sin secciones delgadas

Pozos con Núcleos

Material completamente deficiente



Los siguientes intervalos corresponden a los núcleos analizados:

Tabla 3.2 Intervalos correspondientes a núcleos.

Profundidad perforación (ft)	Techo(ft)	Base(ft)
Palo Azul-4 Núcleos#1	10496	10554.55
Palo Azul-4 Núcleos#2	10555.7	10585.95
Palo Azul-4 Núcleos#3	10587	10629.1
Palo Azul-2 Núcleos#3y4	9935	10058

3.1.1 Parámetros de porosidad utilizados.

La porosidad fue descrita basada en los parámetros de clasificación de Schimidt V y McDonald D (1979) presentados en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Límites utilizados para la clasificación de la porosidad.

ABUNDANCIA
0-5% : Baja
5-10% : Moderada
10-15% : Buena
15-20% : Muy buena
>20% : Excelente
TAMAÑO μ - mm
Megaporo: 1000-4000 (1-4 mm)
Macroporo: 250-1000 (0,25-1 mm)
Mesoporo: 62-250 (0,062-0,25 mm)
Microporo: 4-62 (0,004-0,062 mm)
DISTRIBUCIÓN
Homogénea
Moderadamente homogénea
Heterogénea

3.1.2 Ubicación de las secciones delgadas

En la siguiente tabla se presenta los intervalos pertenecientes a las secciones delgadas analizadas:

Tabla 3.4 Intervalo de ubicación de las secciones delgadas

POZO	PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN (FT)	UNIDAD
PA-25	11466-11484	Hollín
	11520-11538	
PA-5	10494--10512	Hollín (Caliza C)
PA-14	10476-10488	Hollín
	1500-10508	
	10512-10518	
	10566-10572	
	10572-10578	
	10664-10650	
	10712-10722	

Los resultados de los análisis petrográficos se presentarán agrupados por pozos y las muestras se encuentran denominadas con profundidad de perforación (MD), cuando existen muestras que corresponden a más de una litología se describe la litología dominante y la subordinada.

3.1.3 Síntesis petrográfica y descripción litológica de ripios

A continuación, se presenta la caracterización litológica de los intervalos analizados, por medio de la descripción de ripios y características petrográficas (composición, textura, porosidad y diagénesis) de las muestras analizadas.

Se realizó la descripción sedimentológica ambiental de la unidad correspondiente, a partir de la información disponible (perfiles, núcleos, ripios).

3.1.4 Análisis de Ripios de la Formación Hollín

A continuación, se muestra la interpretación realizada de las muestras de ripios obtenidas por la empresa EcuadorTLC.

Caliza C

Los topes litoestratigráficos suministrados por la empresa EcuadorTLC indican que esta unidad varía entre 10 y 25 pies de espesor, resultados generados a partir del análisis de los pozos Palo Azul-13ST, Palo Azul-8, Palo Azul-5, Palo Azul-25.

3.1.5 Interpretación Ambiental realizada a partir del pozo Palo Azul-25 (11358-11376)

La Caliza C suprayace un ciclo sedimentario silicoclástico interpretado como marino somero, resultado de un ascenso relativo del nivel del mar que genera el ahogamiento del sistema y favorece los procesos diagenéticos. La base de la interpretación y correlación estos niveles calcáreos corresponden al “lag” transgresivo creado a partir de una nueva inundación marina sobre las facies infrayacentes.

Areniscas Cuarcíticas

Cuando se identifica glauconita en las areniscas cuarcíticas son asignadas a facies estuarinas (influenciadas por mareas).

Niveles Caolínicos

En casi la totalidad de los pozos se ha observado abundante material fino de color blanquecino y polvoriento “caolínico” asociado a clastos sueltos de cuarzo, estos niveles coinciden con los registros altos de gamma ray y alta resistividad.

Varias de las secciones delgadas de los ripios corresponden a fangolitas y arcillas con material carbonatado e intercalaciones de arenisca finas a limolitas. Estos niveles son interpretados como depósitos de baja energía asociados a facies fluvio-estuarinas (planicie de inundación/planicie costera).

Los niveles ricos en caolinita corresponden a areniscas cuarcíticas altamente alteradas posiblemente por procesos pedogenéticos.

Las muestras estudiadas petrográficamente se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.5 Intervalos correspondientes a las muestras analizadas petrográficamente.

POZO	Profundidad de perforación (ft)	CLASIFICACIÓN	
		Litología dominante	Litología subordinada
PA-2	11466-11484	Arena cuarcítica (G<10%)	Arena cuarcítica
	11520-11538	Arena cuarcítica con láminas carbonatadas	
PA-4	10476-10488	Fangolitas carbonatadas	Arena cuarcítica
	1500-10508	Arena Cuarcítica con láminas carbonatadas	
	10512-10518	Fangolitas/arcillas carbonatadas	
	10566-10572	Arena cuarcítica	Fangolitas carbonatadas
	10572-10578	Arena Cuarcítica	
	10664-10650	Arena cuarcítica	Fangolitas carbonatadas
	10712-10722	Fangolitas carbonatadas	

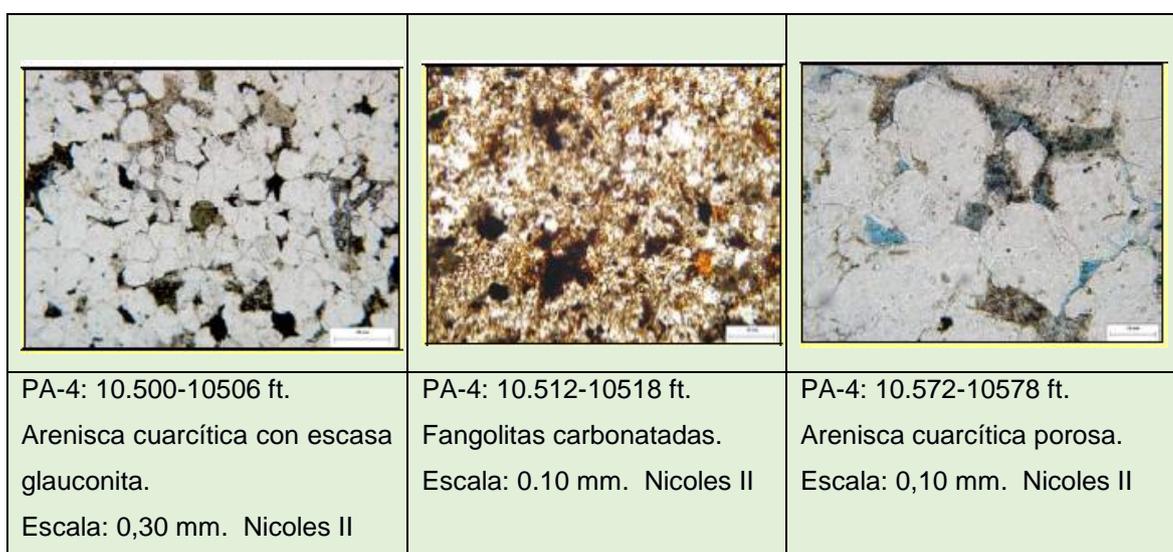


Figura 3.1 Láminas delgadas generadas a partir de ripios pertenecientes a la formación Hollín (LVC, 2014).

3.1.6 Interpretación Ambiental realizada a partir del pozo Palo Azul-2 y Palo Azul-4

Antecedentes:

Las Formaciones Hollín y Napo generalmente fueron interpretadas como depósitos fluviales y marinos marginales que progradaron durante el cretácico hacia el oeste, en un ambiente de plataforma (Macellari, 1988; White et al., 1995). Shanmugam et al. (2000) y Shanmugam & Pofferberger (2002) reanalizaron la formación Hollín y los miembros

Arenisca U y T correspondientes a la formación Napo como depósitos estuarinos dominados por mareas que generan facies reservorio paralelas a mareas. Higgs (2002) argumenta que la gran extensión de las facies pertenecientes a la formación Hollín y Napo son mayoritariamente compatibles a un ambiente de plataforma que a uno estuarino por la falta de valles incisos. La paleogeografía de la cuenca Oriente es más compleja que como se la ha caracterizada en los modelos deposicionales previos que muestran una zona de paleolínea de costa orientada drásticamente norte-sur con aporte sedimentario desde el este (Leet et al., 2007).

La formación Hollín incrementa de manera gradual su potencia de 0 m a lo largo del borde oriental de la cuenca Oriente hasta alrededor de 200m en la parte sur-centro de la cuenca, formando un manto arenoso (White et al., 1995), además tradicionalmente se ha subdividido en dos miembros litológicos: Hollín inferior interpretado como depósitos de relleno de valles, planicie fluvial trenzada y planicie costera, de base a techo y Hollín superior interpretada como depósitos costeros y manto abiertos, cubiertos por margas y calizas (White et al., 1995).

Consideraciones generales

Para los intervalos analizados por medio de los núcleos pertenecientes a la formación Hollín del campo Palo Azul, se interpreta un ambiente de sedimentación costero afectado por la acción de mareas, interpretándose de fondo a techo como un ambiente estuarino seguido por un ambiente marino abierto.

Para la clasificación de este estudio se consideran dos elementos determinantes: la dirección del movimiento relativo del nivel del mar, y la influencia relativa de los procesos físicos (ríos, mareas y olas) en la redistribución de los sedimentos registrando una migración del sistema deposicional hacia el continente conocido como un sistema deposicional transgresivo (Transgressive System Tract) generando estuarios sobre costas con bahías (embayments).

Estuarios

Es la porción hacia el mar de un valle ahogado que recibe aporte sedimentario desde el mar y desde el continente, influenciado por la acción de mareas, olas y ríos. Se extiende a partir del límite de las facies mareales hacia el continente y el límite de las facies costeras hacia su boca.

El modelo de sedimentación para un estuario considera la interacción de los procesos fluviales, olas y mareas. Los estuarios se dividen en:

- Estuarios influenciados por olas: Poseen una alta energía en la boca, mínima en la parte central y alta energía fluvial en la cabecera, la distribución de facies es de granulometría gruesa-fina-gruesa
- Estuarios influenciados por mareas: La energía de las corrientes de marea es superior a la del oleaje en la boca del estuario contrayendo barras mareales longitudinales que rompen con la energía del oleaje, dicha energía fluvial decrece aguas abajo.

En la figura 3.2 Se ilustra el modelo establecido por Darrymple et al. (1992) para los estuarios dominados por mareas.

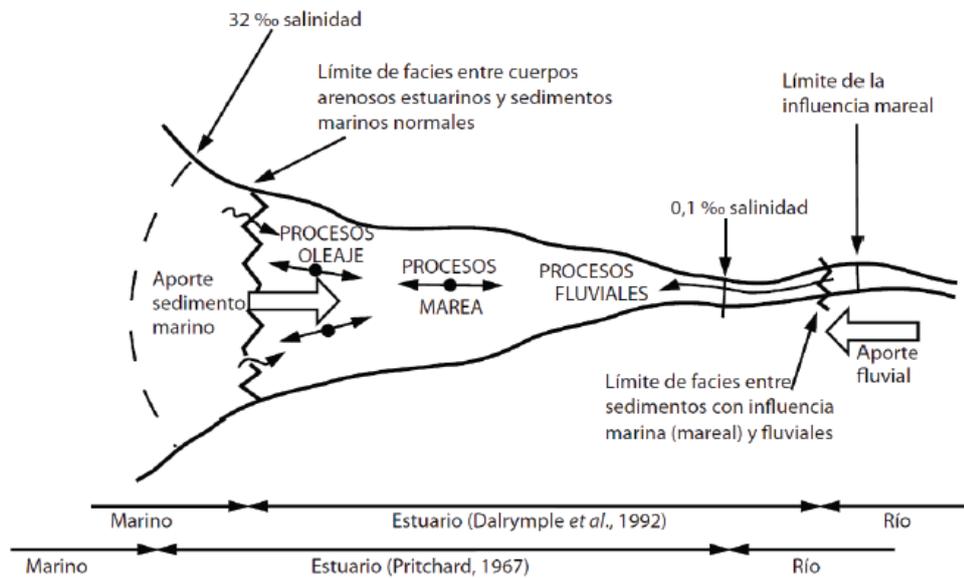


Figura 3.2 Representación esquemática d un estuario según Darrymple et al., 1992 y Pritchard, 1967

Los estuarios se encuentran caracterizados por dividirse en tres zonas (Arche, 2010):

- Zona exterior (distal o boca): Se encuentra dominada por procesos marinos (olas y marea) que introducen una sedimentación de grano grueso y el transporte neto de la carga de fondo va dirigido hacia el continente.
- Zona central: Se encuentra dominada por procesos fluviales influenciados por la acción de la marea, que introducen una sedimentación de grano grueso, donde el transporte de los sedimentos es hacia el mar.
- Zona interna: Se encuentra dominada por procesos fluviales influenciados por mareas, que introducen sedimentación gruesa, donde los sedimentos se transportan hacia el mar.

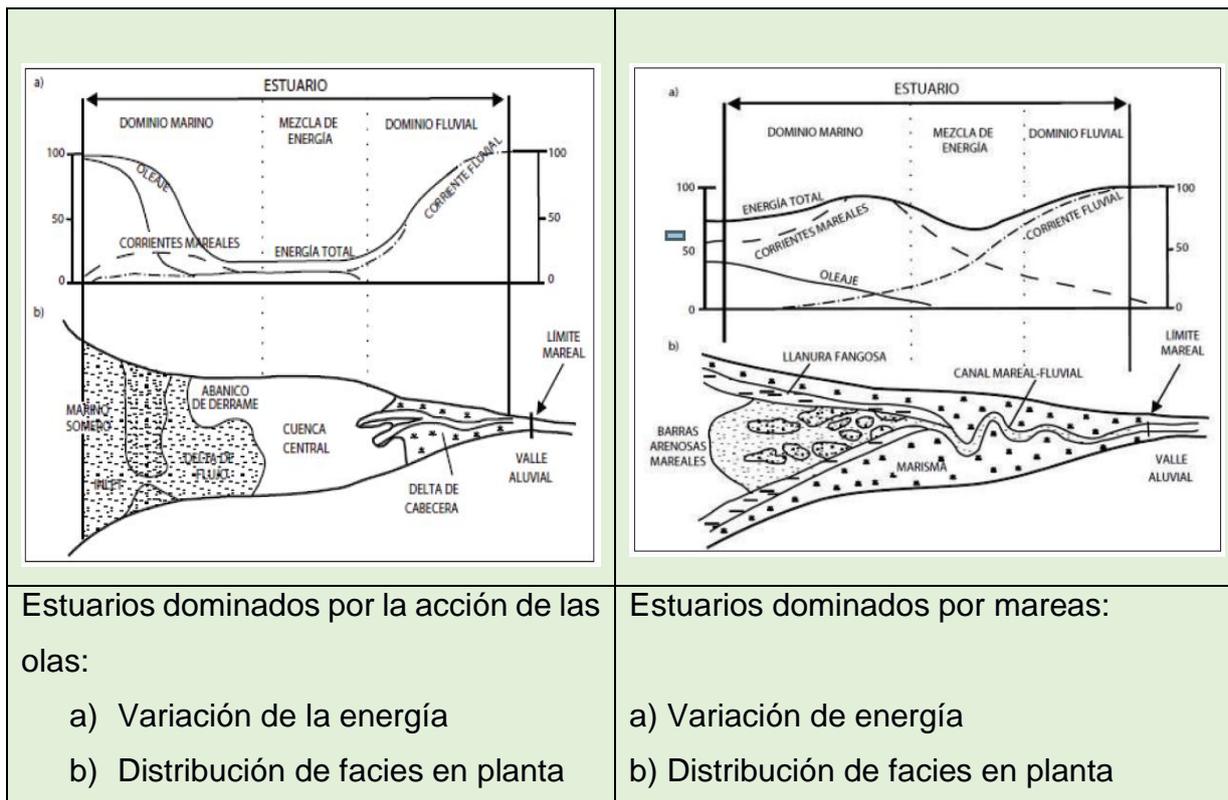


Figura 3.3 Modelos de estuarios modificado de Dalrymple et al., 1192 en Archie, 2010

3.1.7 Núcleos disponibles en el Campo Palo Azul

Para el análisis del intervalo Hollín se utilizaron todos los núcleos disponibles recuperados de los pozos Palo Azul-2, Palo Azul-4 (Core Lab, 2001 y LVC, 2004).

Modelo de ambiente de sedimentación para el Campo Palo Azul

Por medio del análisis realizado previamente por Core Lab y LVC para la formación Hollín del Campo Palo Azul se interpreta un ambiente de sedimentación afectado por mareas el cual se lo relaciona con los niveles de núcleos obtenidos del campo Sacha (Shanmmugan et al., 2002).

En la mayor parte de las estructuras sedimentarias analizadas de los núcleos de PA-4 y PA-2 se identifica la acción de mareas por medio de:

- Facies heterolíticas (alternancia entre arenas y pelitas)
- Ritmitas (alternancia rítmica entre arenas de grano grueso con arenas finas o arenas y pelitas)
- Estratificación cruzada con mud drapes en los foresets.
- Superficies de reactivación.
- Laminación rizada (crinckled), pseudoestiolítica.
- Clastos arcillosos "in situ".
- Estratificación flaser.

- Estratificación heterolítica inclinada (IHS= acreción lateral de point bars) (Thomas et al., 1987; Brownridge y Moslow, 1991).

La ausencia de estructuras biogénicas y restos faunísticos en la mayor parte del intervalo analizado se lo interpreta como producto de alta energía en el ambiente, según el trabajo de Gastaldo et al. (1995). La alternancia entre arena/arcilla y los mud drapes son estructuras que predominan en sucesiones sedimentarias de distributarios fluviales activos, conocidos como barras laterales de canales dominados por mareas, entre las estructuras que más predominan se encuentran las ondulitas asimétricas y estratificación cruzada, la ausencia de bioturbación está asociada a la salinidad a lo largo del fondo de canal y la tolerancia de salinidad de los organismos excavadores.

A partir del análisis de ripios, de núcleos y registros del Campo Palo Azul se analizó la formación Hollín, la información proporcionada por los perfiles FMS permiten establecer las direcciones de las paleocorrientes e identificar los tramos afectados por corrientes de marea, el análisis de FMS para los pozos PA-2 y 4 confirman la influencia de corrientes de mareas.

Descripción de Unidades de Flujo, Facies y subfacies de los pozos PA-2 y PA-4

A continuación se presentan las descripciones correspondientes a las facies (F), unidades de flujo (FU) y superficies de inundación (FS) de los pozos palo azul-2 y palo azul-4

Descripción de facies PA-2

Tabla 3.6 Descripción de unidades de Flujo del pozo PA-2

UNIDADES DE FLUJO	INTERPRETACIÓN
FU-5	Arenisca transgresiva
FU-4	Inundación estuarina-tidal Barra de canal-tidal
FU-3	Barra de marea estuarina
FU-2	Barras de canales meándricos
FU-1	Depósitos fluviales entrelazados

En la siguiente figura se muestran las facies identificadas en los núcleos del pozo Palo Azul-2:

	<p>FU-1: Se identifica como un depósito fluvial influenciado por mareas, asociado a una zona distal (Schumm, 1981) de un sistema fluvial en transición a un ambiente estuarino, mediante la ciclicidad interna de las capas se infiere la influencia mareal, la constante presencia de recubrimientos arcillosos (mud drapes) y pausas en la sedimentación sugieren interludios de slack waters causados por procesos mareales (Raaf & Boersma, 1971). Se evidencia variación en el régimen de flujo por la presencia de segregación en láminas acentuadamente bimodales, generadas por las fluctuaciones estacionales en las descargas de los ríos, acción de mareas que incorporan sedimentos a partir de corrientes fluviales.</p>
	<p>FU-2: Desarrollo de facies de tidal point bar que marcan la inundación del sistema fluvial, dichas facies pueden presentar variaciones laterales y verticales (Choi et al, 2004; Wightman & Pemberton, 1997).</p>

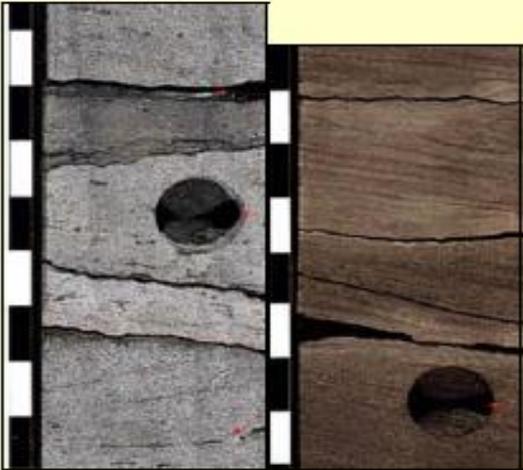
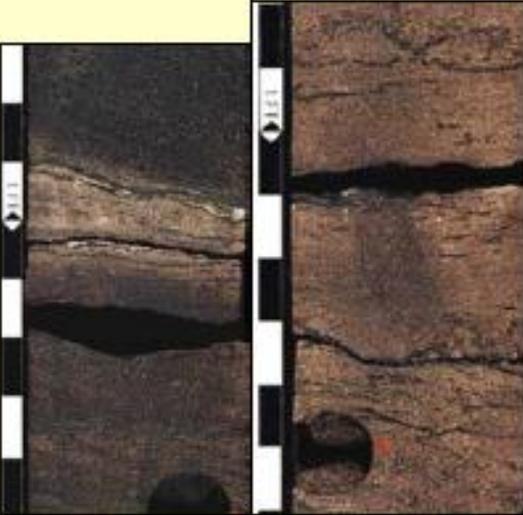
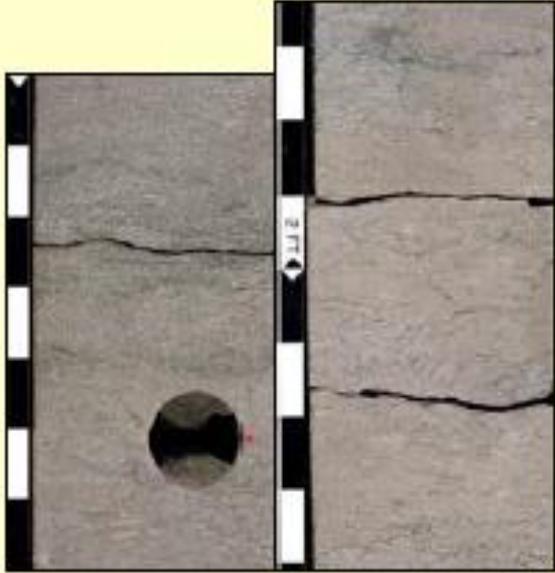
	<p>FU-3: Sistema de Barras de marea con tendencia transgresiva del sistema correspondiente a un depósito distal del estuario</p>
	<p>FU-4: Sistema de barra/canal generado por la corriente de entrada (flood), en dirección opuesta a las unidades infrayacentes, presenta morfología elongada en el sentido del eje del estuario, además suprayace un nivel pelítico que refleja otra superficie de inundación.</p>
	<p>FU-5: Sistema de barras offshore, esa unidad corresponde al mismo sistema marino abierto.</p>

Figura 3.4 Núcleos del Pozo PA-2 (LVC del Ecuador)

Descripción de facies PA-4

Tabla 3.7 Descripción de facies y subfacies del pozo PA-4

FACIES/ SUBFACIES	DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN
F-1	Predominan arenas de grano fino a muy fino, con estratificación cruzada sigmoidal y drapes arcillosos-carbonatados en el tope, escasa arenas de grano medio a muy grueso con abundante presencia de materia orgánica.	Sistema de barras y canales influenciados por mareas.
F-2	Predominan arenas de grano medio con láminas de mayor granulometría y estratificación cruzada sigmoidal de gran tamaño.	Amalgamación de cuerpos de barras de mareas.
F-2.1	Arenas de grano fino a muy fino con estratificación cruzada sigmoidal que evolucionan a ondulitas y flaser, con drapes arcillosos-carbonatados.	Barras de marea de pequeña escala
F-3,3.1,3.2	Fangolitas con presencia de materia orgánica y pirita, intercaladas con niveles de arenas de grano fino con estratificación lenticular, existe presencia de abundantes grietas de sinéresis.	Depósito de "tidal mud flat" a "brackish bay fill".
F-3.3	Fangolitas con intercalaciones finas de arenas o limolitas, varios niveles presentan clastos pelíticos y litoclastos de siderita en la base, en otros donde predominan arenas finas mal clasificadas, con presencia de estratificación lenticular a ondulada, estratificación cruzada y drapes arcillosos.	Depósito producto del relleno de canalizaciones en un medio de baja energía con influencia de mareas.
F-4	Predominan arenas de grano fino mal clasificados con presencia de estratificación cruzada sigmoidal, ondulitas y drapes arcillosos-carbonatados en el tope.	Planicie de mareas arenosas.
F-5	Arenas con glauconita de granulometría media a fina con mala clasificación. Bancos masivos producto de la bioturbación.	Depósito marino abierto.

En la siguiente figura se muestran las facies identificadas en los núcleos del pozo Palo Azul-4:

	<p>A: 10604.90 pies ϕ: 16.8% y K= 229.23 mD. B: 10627.15 pies ϕ= 14.5% y K= 575.11</p>	<p>F-1: Sistema de barras y canales con influencia de mareas.</p>
	<p>ϕ= 16.9% K= 519.45 mD. Arenitas con estratificación cruzada. Constituyen el cuerpo principal de barras de mareas (flecha).</p>	<p>F-2: Barras de mareas</p>
	<p>Arenitas con estratificación sigmoidal. Drapes arcillosos - carbonosos, con frecuencia dobles (flecha).</p>	<p>F-2.1: Barras de mareas</p>

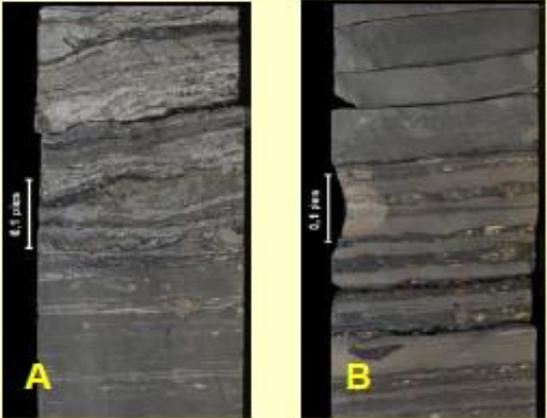
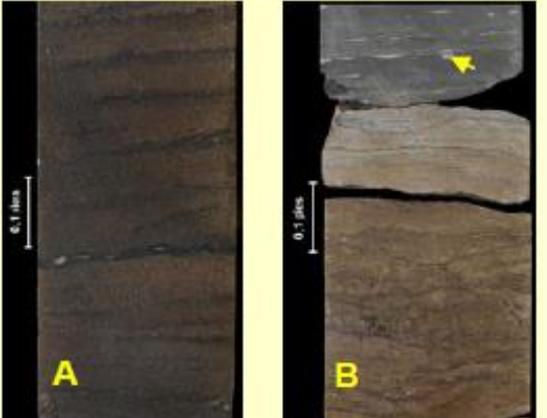
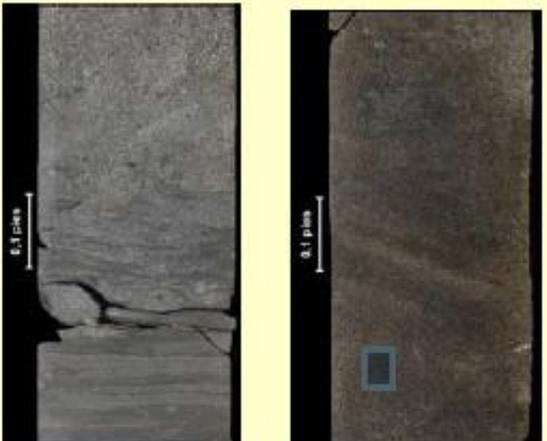
	<p>A: 10537.40-10538.00 pies. Estratificación heterolítica inclinada</p> <p>B: 10506.60-10507.20 pies. Fangolitas con niveles enriquecidos en restos carbonosos, ámbar y pirita.</p>	<p>F-3: Tidal mud flat</p>
	<p>A: 10534.56 pies: $\phi = 18.9\%$ y $K = 1109.67$ mD</p> <p>B: 10523.53 pies $\phi = 16.0\%$ y $K = 306.47$ mD. Estratificación cruzada sigmoidal con bioturbación</p>	<p>F-4: Planicie de mareas arenosas</p>
	<p>Depósitos arenosos ricos en glauconita producto de una sedimentación marina en condiciones abiertas</p>	<p>F-5: Depósito marino abierto</p>

Figura 3.5 Núcleos del Pozo PA-4 (LVC, 2014)

La alternancia de cuerpos pelíticos y arenosos observada, se puede dar tanto por procesos alocíclicos (caídas y ascensos relativos del nivel del mar) como autocíclicos (producto de la migración lateral de facies).

Comparación de facies (F), unidades de flujo (FU) y superficies de inundación (FS) entre los pozos palo azul-2 y palo azul-4

Tabla 3.8 Comparación entre los pozos palo azul-2 y palo azul-4

PA-2	PA-4
FU-5: Arenas transgresivas	F-5: Arenas transgresivas
Superficie de Inundación SF-2	
FU-4: Inundación dominada por canales estuarinos influenciados por mareas Barra de marea	F-4 Planicie arenosa
FU-3: Barras de marea-estuarino	F-3: Tidal
FU-2: Canal meandriforme mareal	F-2.1: Barra de mareas F-2: Barra de marea estuarinas
Superficie de Inundación SF-1	
FU-1 Canal trenzado con menor influencia mareal	F-1 Canal trenzado con menor influencia mareal

EcuadorTLC considera a la formación Hollín como parte de una secuencia de tercer orden que comienza con depósitos fluviales y presenta una tendencia transgresiva puntuada por superficies de inundación mediante un sistema estuarino, hasta depósitos marinos abiertos.

3.1.8 Superficies de inundación

Para el análisis del intervalo Hollín se identifica una tendencia transgresiva, en el análisis de los núcleos se identificó varios límites interpretados como superficies de inundación, EcuadorTLC identifica como FS-1 y FS-2 a las superficies de inundación, dichas superficies tienen continuidad areal y valor estratigráfico.

Superficie de Inundación FS-1

Es interpretada como una superficie de ravinamiento de marea, correspondiente a una superficie de inundación que afecta al sistema fluvial para definir el sistema estuarino, la cual está registrada en los núcleos del pozo Palo Azul-2, en la base de la unidad de flujo FU-2 (10032ft), para el intervalo de los núcleos analizado para el pozo Palo Azul-4 se interpreta que esta superficie decae por debajo del intervalo analizado en los núcleos, ya

que la base se interpreta como dominante a la acción de las corrientes de marea. En los pozos PA-2 y PA-4 el intervalo comprendido entre las dos superficies de inundación identificadas es interpretado como un sistema estuarino influenciado por mareas

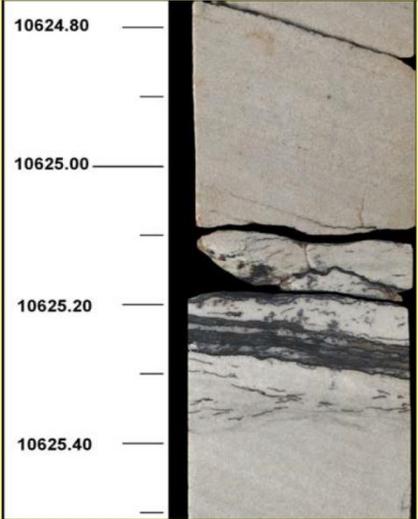
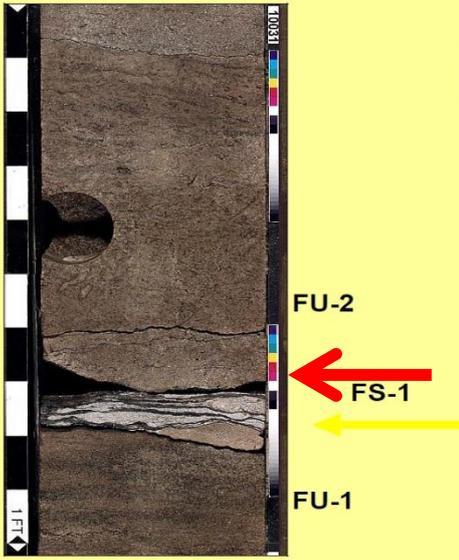
	<p>Palo Azul-4 FS-1</p> <p>En los intervalos de mayor profundidad se observan estructuras generadas por la acción de corrientes de mareas, por lo cual se interpreta que FS-1 cae por debajo del intervalo de los núcleos en el pozo PA-4, se observan bottom sets con estratificación ondulada.</p> <p>FU-1</p>
	<p>Palo Azul-2 FS-1 (10032 ft)</p> <p>Según lo analizado en las unidades de flujo FU-1 y FU-2 el contacto entre estas coincide con la superficie de inundación FS-1, lo cual representa un sistema estuarino (dominado por corrientes de marea). En la FU-2 se identifican cambios abruptos de energía durante la deposición lo cual es un indicador de una influencia de marea fuerte y los dobles mud drapes indican depositación durante los periodos de slack consecutivos en el ciclo mareas.</p>

Figura 3.6 Superficies de Inundación (LVC,2014)

Superficie de Inundación FS-2

Es interpretada como una superficie de ravinamiento por acción de las olas, correspondiente a una superficie de inundación que desactiva el sistema estuarino superponiendo depósitos de tipo marino abiertos, estos depósitos interpretados a partir de los núcleos recuperados corresponden a la FU-5 en PA-2 y a las facies F-5 en PA-4. En los pozos PA-2 y PA-4 se interpretó que ambos fueron generados en condiciones

marino-abiertas a partir de la identificación de glauconita y bioclastos, estructuras sedimentarias y tipos de bioturbación.

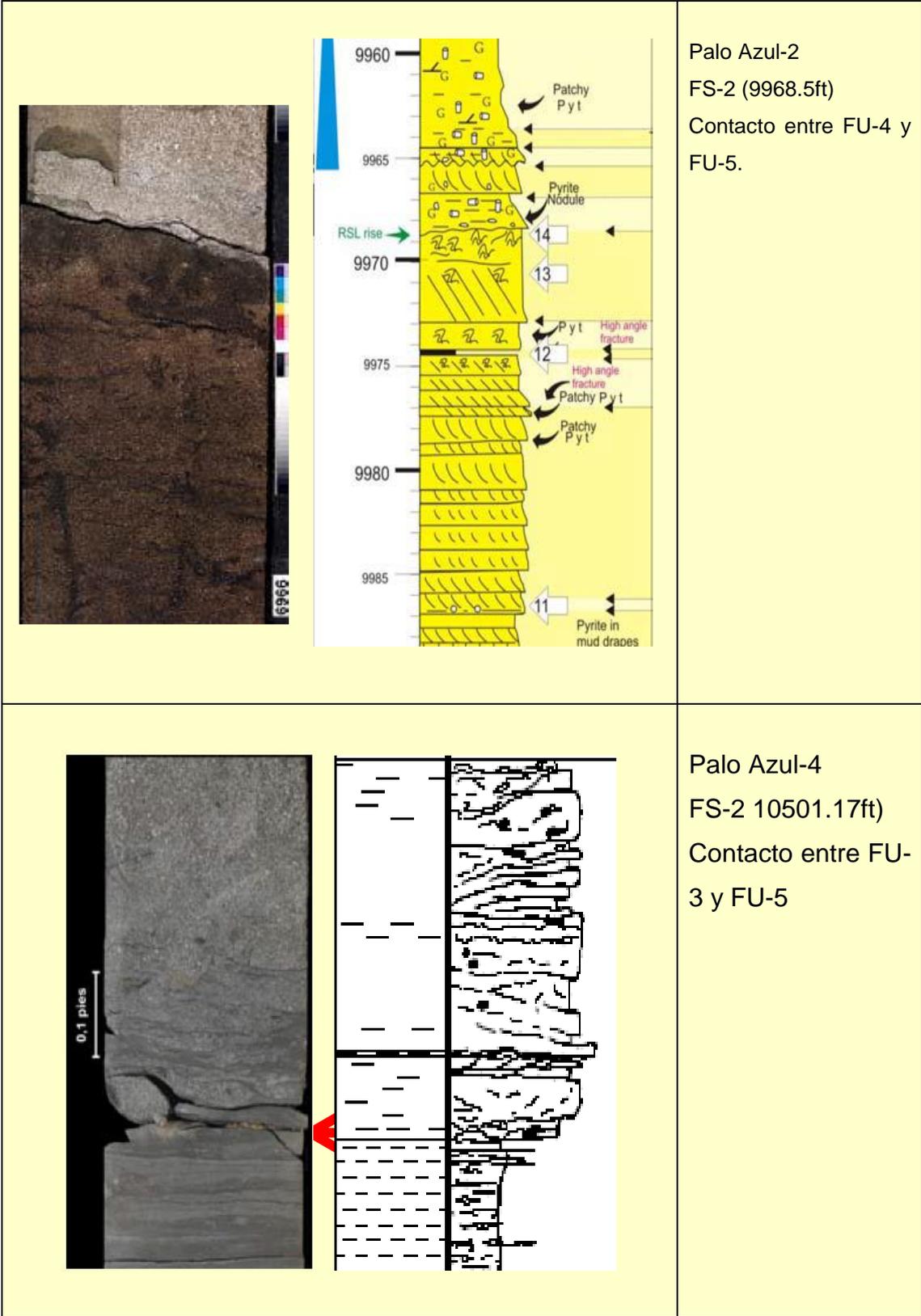


Figura 3.7 Superficie de Inundación 2 (LVC,2014)

La superficie de inundación interpretada como ravinamiento de olas corresponde a la transición entre la FU-4 y FU-5 en Palo Azul-2 y al contacto entre las facies F-3 y F-5 en Palo Azul-4, esta superficie esta desmarcada por un nivel de bioturbación perteneciente a la icnofacies glossifungites como se observa en la Figura 3.7. correspondiente al desarrollo de una forma interpretada como Thalasinoides, ubicada sobre los depósitos de las facies F-3 que rellena en forma pasiva por material correspondiente a la facies 5 de areniscas glauconíticas.

Glossifungites es una asociación de trazas fósiles controladas por el sustrato, con forma robusta con paredes netas y relleno pasivo, verticales, es considerado como un marcador de superficies de discontinuidad que reflejan pausas en la sedimentación (acompañadas por erosión) (Mac Eachern J. A. et al, 1992).

3.2 Secuencia Tipo Formación Hollín

Por medio de la información interpretada a partir de los diversos análisis de los pozos (núcleos, ripios de perforación) y la integración de registros eléctricos PA-2 y PA-4 realizados por EcuadorTLC se ha elaborado la siguiente secuencia sedimentaria tipo para la formación Hollín:



Figura 3.8 Secuencia sedimentaria tipo para el Campo Palo Azul modificada de EcuadorTLC, 2004

Según el análisis anterior se identifican las diversas zonas existentes (mar abierto, planicie costera, estuarino dominado por mareas y fluvial) dentro de la formación Hollín del Campo Palo Azul

La Formación Hollín se ha dividido en cuatro zonas principales por medio de sus características litológicas y ambientales que se muestran en la Figura 4.

- Zona 1.- Litológicamente está caracterizada por margas bioturbadas, calizas y lutitas que simbolizan una facie de mar abierto.
- Zona 2.- Litológicamente está caracterizada por margas bioturbadas, lutitas, arenas glauconíticas y estratificaciones cruzadas que representan facies distales, transicionales de mar abierto y facies de costa.
- Zona 3.- Esta caracterizada por depósitos de tipo estuario dominado por mareas, litológicamente conformados por arenas de barra mareales con estratificación cruzada y laminaciones bidireccionales.
- Zona 4.- Litológicamente está caracterizada: por arenas limpias, lutitas, arcillas de planicies costeras, barras de canales meándricos, planicies de inundación y depósitos fluviales entrenzados, representada por depósitos fluviales.

La formación Hollín es depositada durante el cretácico, en los periodos Aptiano-Albiano durante un periodo de calma tectónica, con una subsidencia débil en igual orden de magnitud que los sedimentos provenientes del escudo Guayanés, la subida relativa del nivel del mar causa la estratigrafía retrogradante existentes.

A nivel de detalle se reconocen 5 unidades de flujo FU mediante los núcleos analizados, a escala mayor se pueden reconocer dos unidades donde la unidad superior fue depositada en un ambiente costero marino somero con acción de oleaje (Caliza C y Hollín superior), correspondientes a arenas limpias que lateralmente evolucionan a facies marinas con presencia de glauconita, bioclastos y cemento calcáreo. La unidad inferior fue depositada durante un ambiente continental evolucionando lateralmente a costero por procesos de marea.

3.3 Análisis Estratigráfico y Estructural del Reservorio Hollín”

3.3.1 Correlaciones Estratigráficas

Las correlaciones estratigráficas son un procedimiento que permiten establecer una correspondencia geográfica, continuidad o discontinuidad lateral de una unidad geológica o formación, estas correlaciones son utilizadas para comparar varias unidades geológicas correspondientes a un intervalo de tiempo semejante.

Las correlaciones estratigráficas permiten identificar la geometría de una cuenca ya que sin identificar una secuencia completa en cada una de las unidades estratigráficas al generar una correlación se obtendrá información más compleja del registro sedimentario. Existen diversos tipos de correlaciones que se efectúan según el análisis a realizar, las correlaciones regionales se efectúan en áreas mayores dentro de una misma cuenca sedimentaria generadas a partir de registros geofísicos, información litológica, secciones estratigráficas y sísmicas, las correlaciones locales corresponden a una escala de menor distancia entre los pozos de una misma cuenca sedimentaria.

Metodología

Para el análisis de este proyecto se han realizado 2 correlaciones estratigráficas en las cuales se muestran los registros gamma ray, resistividad somera y profunda, densidad y densidad neutrón, generadas a partir del tope de la unidad Hollín superior.

Correlación estratigráfica 1

La siguiente correlación estratigráfica pertenece al campo Palo Azul, con una dirección NE-SW y una longitud aproximada de 7500m que abarca los pozos PLAN-029, PLAN-054, PLAB-025, PLAB-002, PLAC-011.

MAPA ESTRUCTURAL "TOPE HOLLÍN PRINCIPAL" CAMPO PALO AZUL

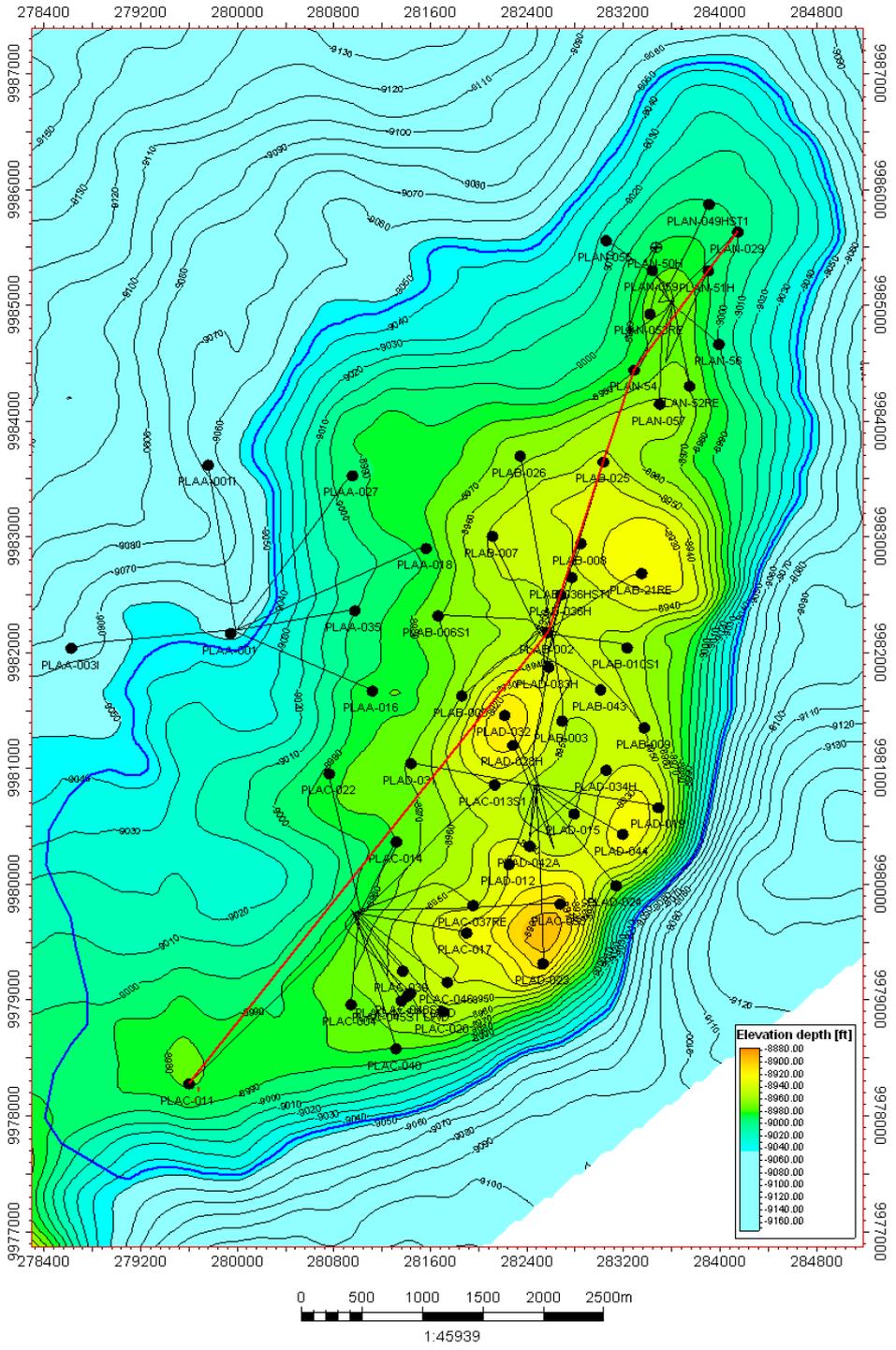


Figura 3.9 Mapa de Ubicación correlación estratigráfica #1

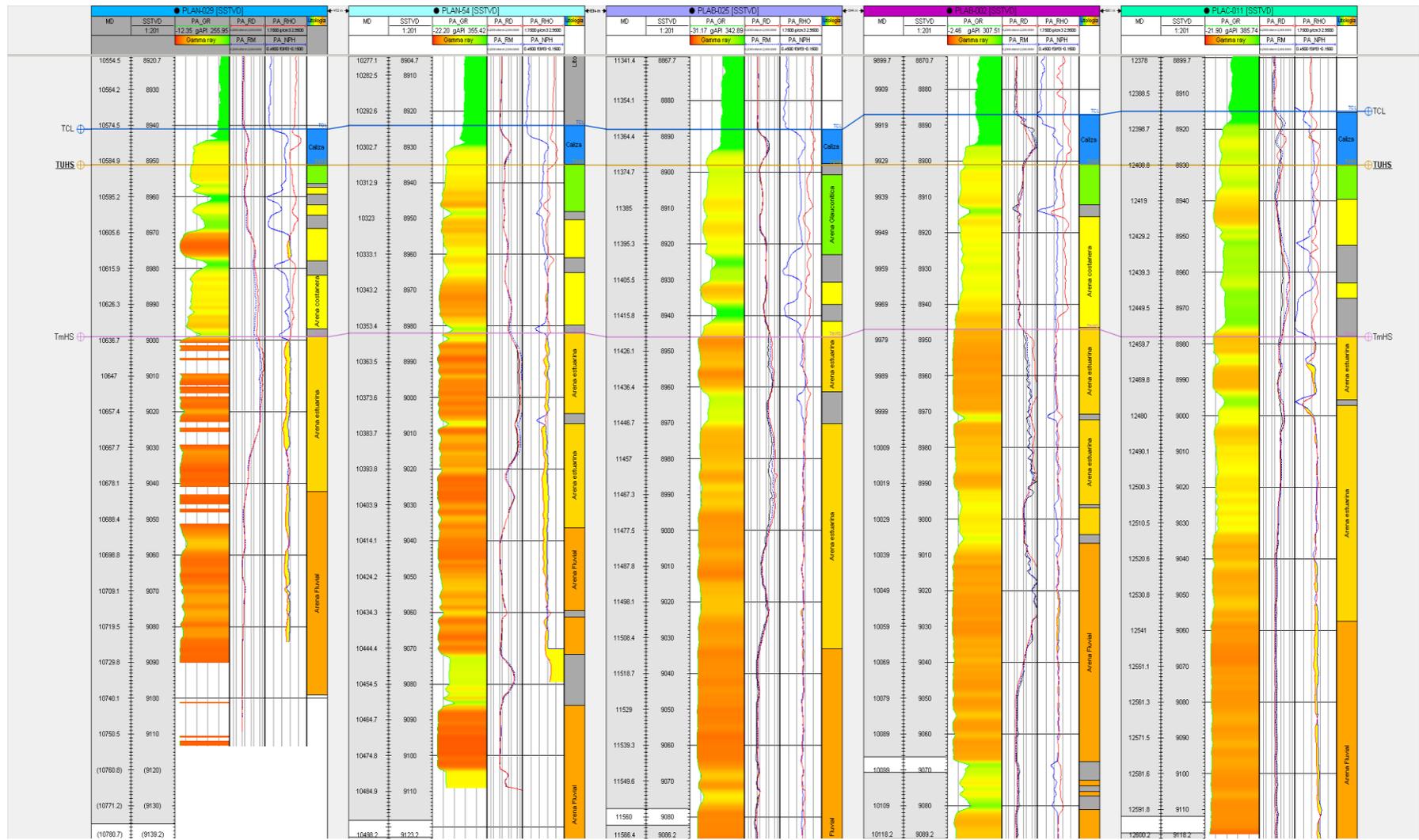


Figura 3.10 Correlación estratigráfica # 1

Hollín superior

La unidad Hollín superior comprende depósitos tidales y barras de marea, por medio del análisis de la correlación estratigráfica en la secuencia Hollín superior identifica una continuidad lateral en su extensión y un relativo espesor constante en sentido NE-SW dentro del campo Palo Azul.

En la zona norte del campo en el pozo PLAN-029 existen varias capas arcillosas por lo cual se concluye que esta sección corresponde a la proximidad de un flanco de canal, a medida que se analiza en dirección sur, el pozo PLAN-054 presenta un espesor mayor de arena por lo que esta zona posiblemente pertenezca al centro de un canal, manteniendo la dirección del análisis se encuentra el pozo PLAD-025 en el cual se identifica la presencia de otro flanco de canal debido a la existencia de material arcilloso, al analizar el pozo PLAB-002 se observa un mayor espesor de arena al corresponder a la parte central de un canal, el último pozo analizado en dirección sur es el PLAC-011 el cual presenta material arcilloso por lo que se vincula a cercanía de un flanco de canal.

Hollín inferior

La secuencia Hollín inferior está compuesta por barras de canal meandriformes influenciadas por la acción de mareas y superposición de canales fluviales. En el análisis de la correlación estratigráfica realizada en sentido NE-SW se identifica una buena continuidad lateral en el espesor que va desde el pozo PLAN-029 en dirección sur hasta el pozo PLAN-054 donde se identifican varias superficies de inundación debido a la presencia de varias capas de material arcilloso, manteniendo la dirección del análisis en el pozo PLAB-022 se observa material arcilloso correspondiente a esporádicas superficies de inundación, en el último pozo analizado en dirección sur se detecta una superficie de inundación.

Correlación estratigráfica 2

La siguiente correlación estratigráfica pertenece al campo Palo Azul, con una dirección NE-SW y una longitud aproximada de 3900m que abarca los pozos PLAA-001, PLAC-022, PLAD-012, PLAC-038.

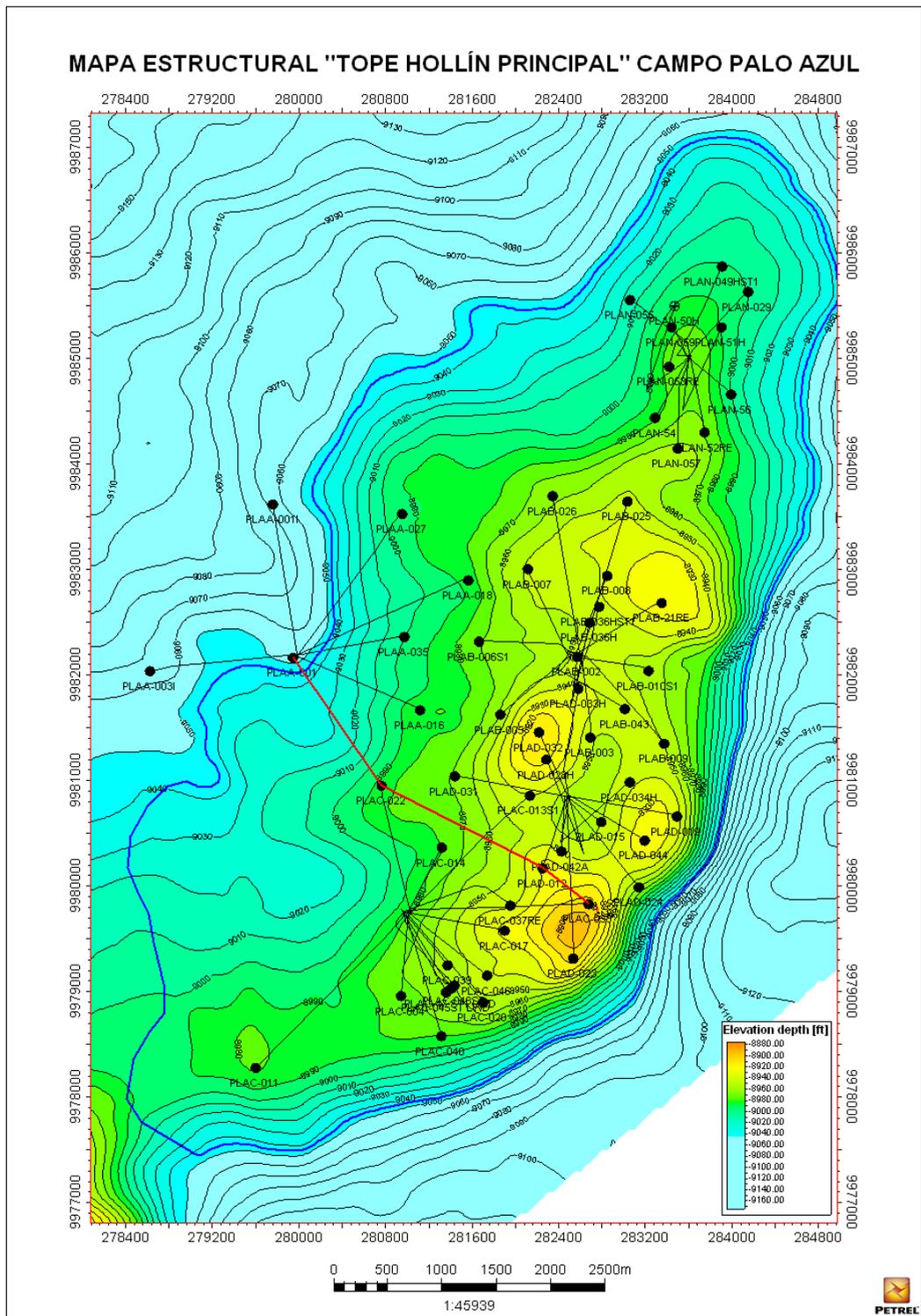


Figura 3.11 Mapa de ubicación de la correlación - estratigráfica # 2

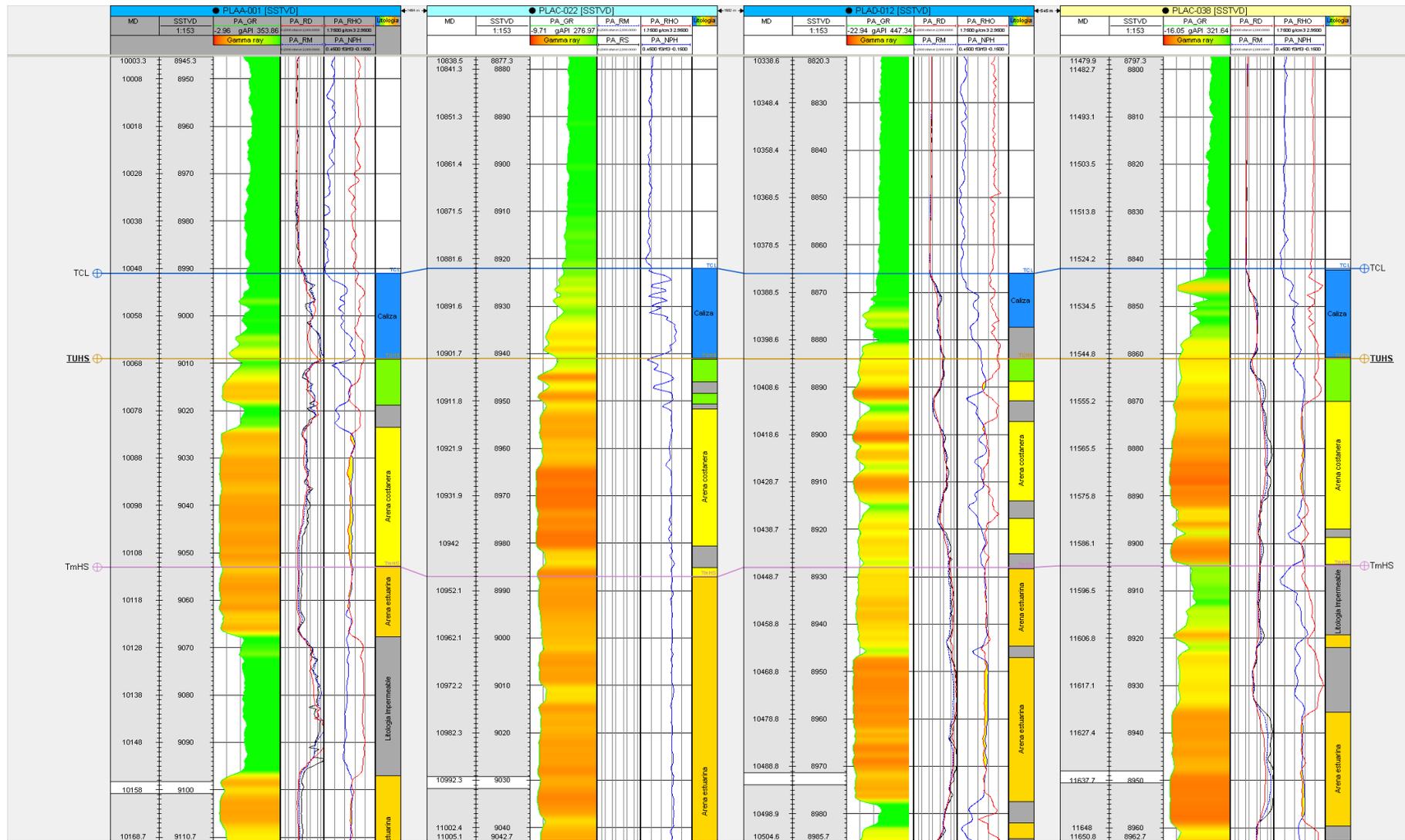


Figura 3.12 Correlación - estratigráfica # 2

Hollín superior

La secuencia Hollín superior comprende depósitos tidales y barras de marea, a través del análisis de la correlación estratigráfica se identifica una buena continuidad lateral en su extensión y espesor constante en sentido NW-SE dentro del campo Palo Azul a lo largo de un canal, se identifica algunas capas de material arcilloso lo cual correspondería a la cercanía de un flanco de canal.

Unidad Hollín inferior:

La secuencia Hollín inferior está compuesta por barras de canal meandriformes influenciadas por la acción de mareas y superposición de canales fluviales. En la zona oeste de la correlación estratigráfica en el pozo PLA-001 se identifica una notable superficie de inundación por la presencia de material arcilloso, continuando en dirección sureste se observan varias capas de material arcilloso las cuales corresponderían a distintas superficies de inundación.

3.3.2 Correlaciones Estructurales

Estas correlaciones permiten identificar la posición estructural de los objetivos (pozos), la continuidad de las unidades litológicas y formaciones.

Metodología

Para el análisis de este proyecto se han realizado 2 correlaciones estructurales en las cuales se muestran los registros gamma ray, resistividad somera y profunda, densidad y densidad neutrón, generadas a partir del tope de la unidad Hollín superior.

Correlación estructural # 1

La siguiente correlación estructural pertenece al campo Palo Azul, con una dirección NE-SW y con una profundidad aproximada de 8875m comprende los pozos PLAN-029, PLAN-054, PLAB-025, PLAB-002, PLAC-037RE, PLAC-01.

Análisis:

En la correlación estructural en sentido NE-SW resalta un alto estructural ubicado en las cercanías de los pozos PLAB-025 y PLAB-002 que va desde una profundidad de 8940ft hasta 8880ft, además puede ser identificado en el mapa estructural de Hollín.

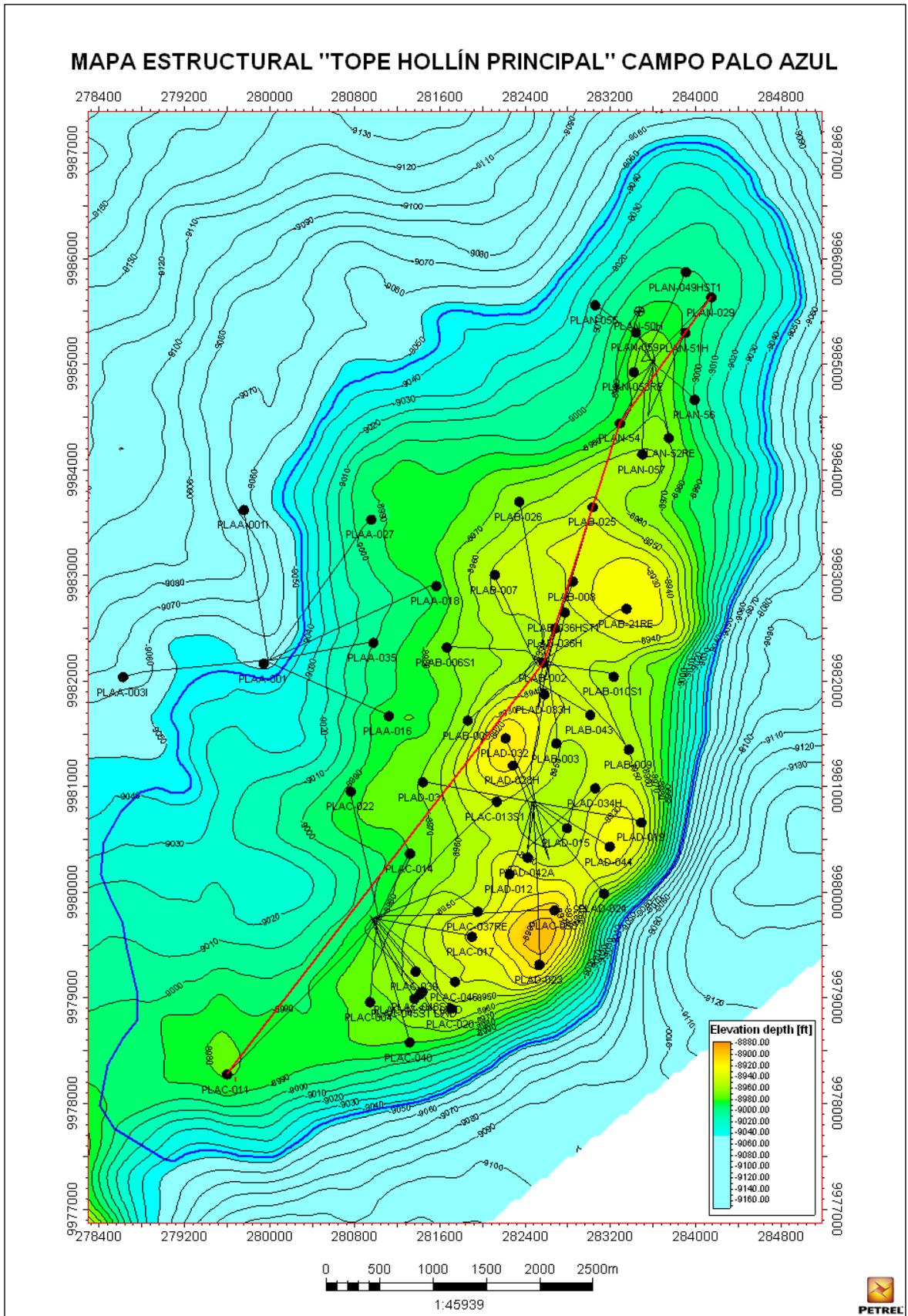


Figura 3.13 Mapa de Ubicación correlación estructural #1

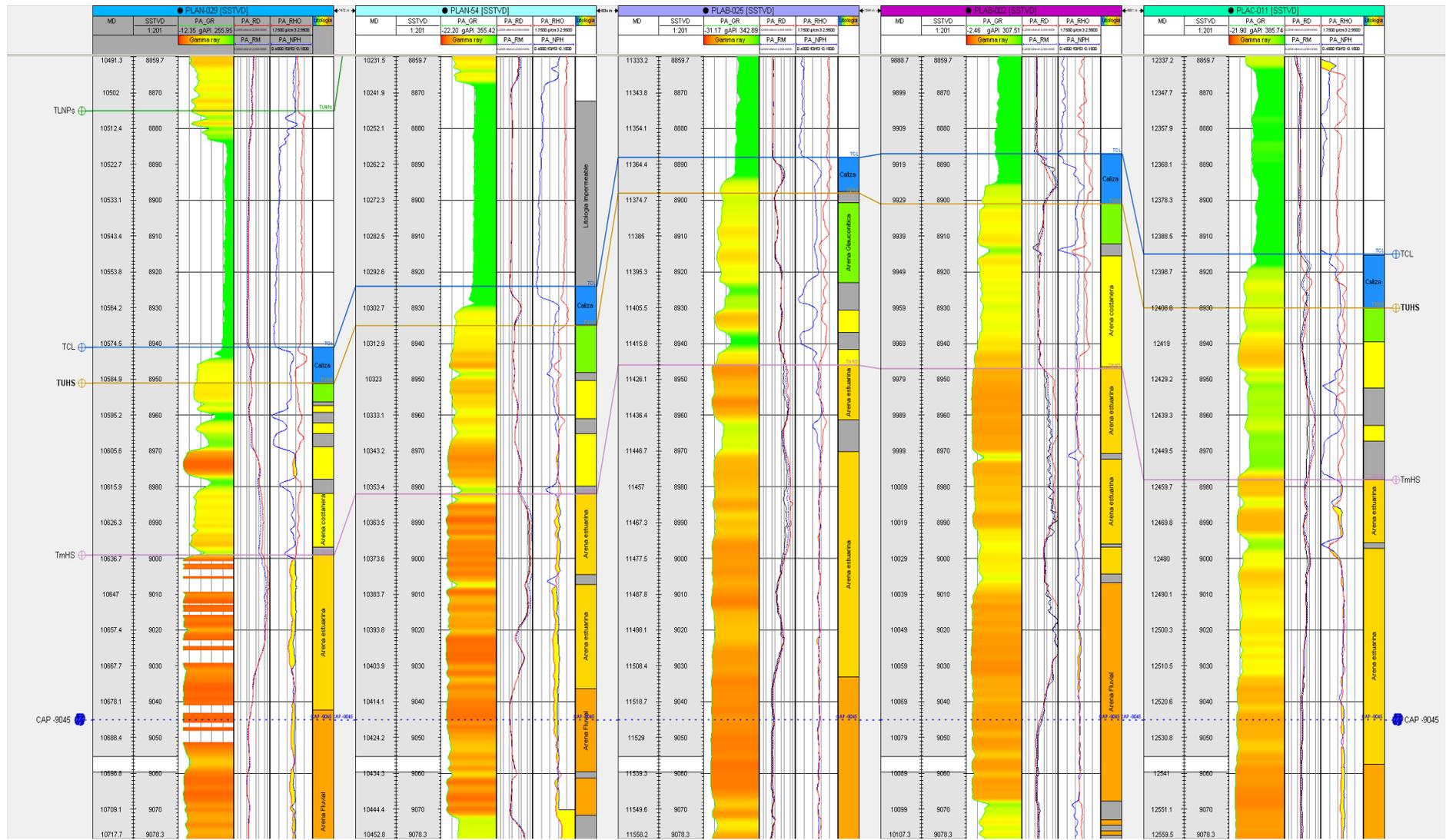


Figura 3.14 Correlación estructural #1

3.3.3 Correlación estructural # 2

La siguiente correlación estratigráfica pertenece al campo Palo Azul, con una dirección NE-SW y una profundidad de 8880ft que abarca los pozos PLAA-001, PLAC-022, PLAD-012, PLAC-038.

Análisis:

En la correlación estructural Figura 3.15 realizada en sentido NW- SE que va desde una profundidad de 8940ft hasta 8840ft y se observa que se extiende desde el flanco oeste de una estructura hasta el alto estructural de la misma.

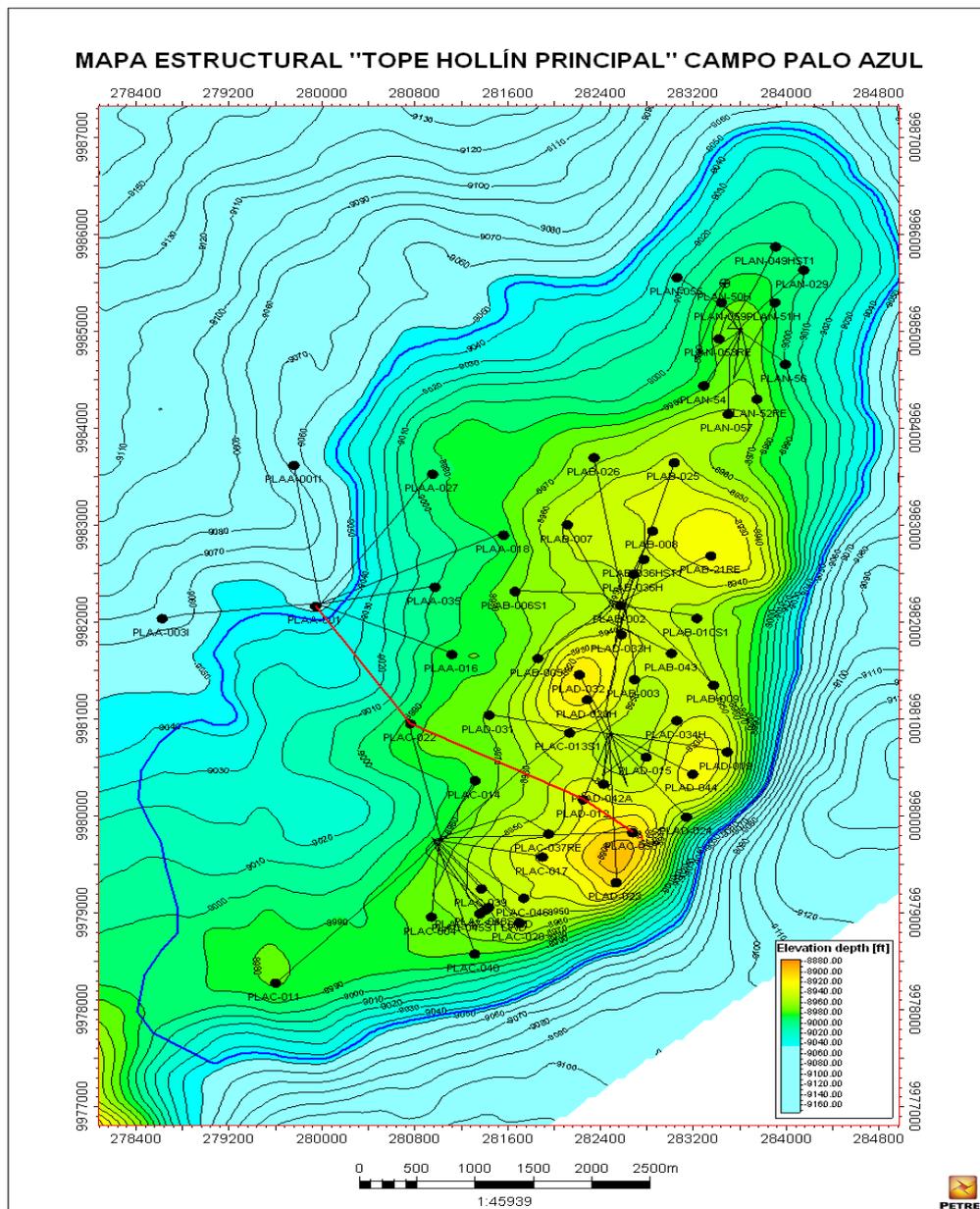


Figura 3.15 Mapa de ubicación de la correlación estructural # 2

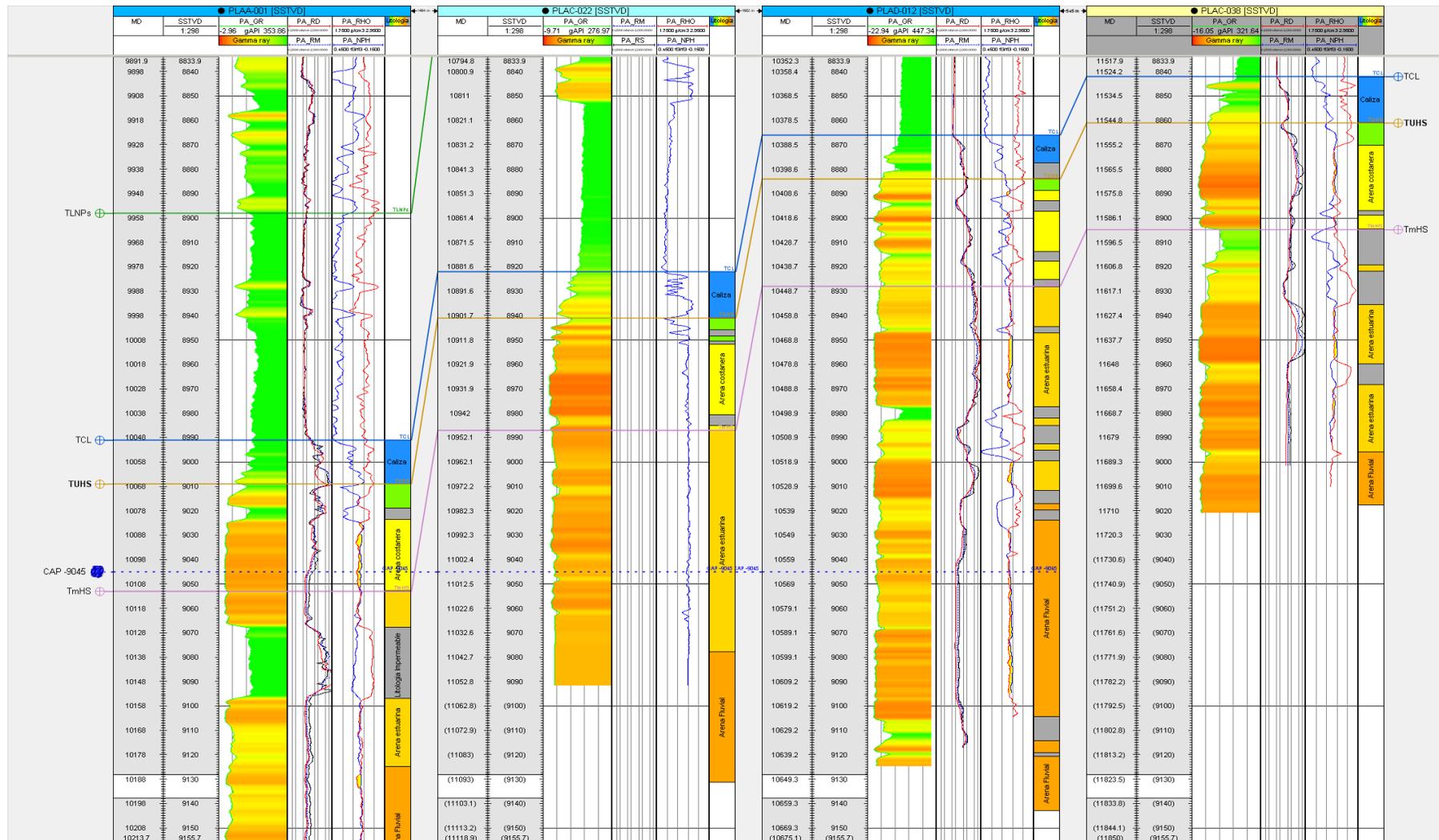


Figura 3.16 Correlación Estructural #2

CAPITULO 4

4 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se plasmará el diseño de un mapa de espesor en el que se puede observar la concentración de caolinita existente en los 59 pozos analizados del Campo Palo Azul, además se mostraran mapas zonificados que evidencian la concentración de caolinita en cada una de las plataformas pertenecientes al campo.

4.1 Procedimiento para la construcción del mapa de espesor caolinítico

Para la construcción del mapa de espesor caolinítico se analizaron los pozos del campo Palo Azul mediante el siguiente procedimiento.

- Cargar los archivos surveys y los registros eléctricos con el fin de generar registro un triple combo donde se muestran las curvas de Gamma ray, resistividad y la intersección entre las curvas de densidad y densidad neutrón en el software Petrel versión 2015.

Registros eléctricos:

Los registros eléctricos utilizados para la identificación de zonas que presenten concentración de Caolinita son los siguientes:

- **Gamma ray:** Este registro es utilizado para medir de forma natural los rayos gamma (volumen de arcilla) presente en las formaciones, básicamente se basa en analizar los rayos gamma producidos por los minerales radioactivos como lo son: Potasio, Uranio y Torio. Las principales litologías en las cuales se presentan dichos minerales son las arcillas y el carbón.
- **Resistividad:** Este registro representa la capacidad que tienen las rocas al paso de corriente eléctrica inducida.
- **Densidad:** Este registro mide la densidad de electrones presentes en la formación.
- **Densidad Neutrón:** Este registro mide la capacidad de una formación para atenuar el paso de neutrones a través de esta, su representación se basa en el contenido de hidrogeno presente en la formación. Su principal uso es para identificar formaciones porosas.
- Identificar de los topes de una de las unidades litológicas presentes dentro del campo Palo azul.

- Identificación del tope y la base de las zonas donde se encuentra la presencia de caolinita.
- Generación de Electrofacies: Se generan electrofacies con el fin de identificar zonas permeables e impermeables utilizando los siguientes cut-off:
 - Densidad $\geq 2.5 \text{ gr/cm}^3$
 - Porosidad $\leq 6\%$
- Análisis de los masters logs: Por medio del master logs se analiza de la litología presente en la formación Hollín del campo Palo Azul.

4.2 Resultados

En la siguiente tabla se representa el espesor del sello Caolinítico identificado en cada uno de los pozos analizados del Campo Palo Azul.

Tabla 4.1 Espeso del sello Caolinítico para cada uno de los pozos analizados

POZO	ESPESOR DE CAOLINITA (ft)
PLAA-001	0.04
PLAA-001I	0.8
PLAA-003I	2.51
PLAA-016	0.27
PLAA-018	16.22
PLAA-027	11.98
PLAA-035	6.04
PLAB-002	1.22
PLAB-003	1.79
PLAB-005	1.03
PLAB-006S1	14.3
PLAB-007	11.77
PLAB-008	4.3
PLAB-009	2.52
PLAB-010S1	1.39
PLAB-025	4.54
PLAB-026	0.45
PLAB-036H	3.98
PLAB-036HST1	5.32
PLAB-043	4.48
PLAB-21RE	2.23
PLAC-004	7.4
PLAC-011	17.9

POZO	ESPEJOR DE CAOLINITA (ft)
PLAC-013S1	13.61
PLAC-014	10.58
PLAC-017	9.15
PLAC-020	3.11
PLAC-022	0.61
PLAC-037RE	32.85
PLAC-038	23.91
PLAC-039	1.26
PLAC-040	11.58
PLAC-045ST1	0.56
PLAC-046	1.26
PLAC-048ST	16.95
PLAC-47 ST1 LWD	14.12
PLAD-012	3.29
PLAD-015	15.52
PLAD-019	1.35
PLAD-023	6.39
PLAD-024	17.82
PLAD-028H	2.46
PLAD-031	0.24
PLAD-032	5.27
PLAD-033H	2.04
PLAD-034H	0.5
PLAD-042A	0.06
PLAD-044	9.89
PLAN-029	2.82
PLAN-049HST1	2.22
PLAN-055	16.32
PLAN-057	4.45
PLAN-059	13.41
PLAN-50H	10.33
PLAN-51H	0.94
PLAN-52RE	6.98
PLAN-053RE	0.13
PLAN-54	1.95
PLAN-56	14.76

Plataforma A

La plataforma A se encuentra ubicada en el flanco oeste del anticlinal, en el siguiente mapa de espesor se puede observar que existe una mayor concentración de caolinita en la sección nor-este de la misma.

Los pozos con un espesor de mayor consideración son: PLAA-018, PLAA-027 Y PLAA-035.

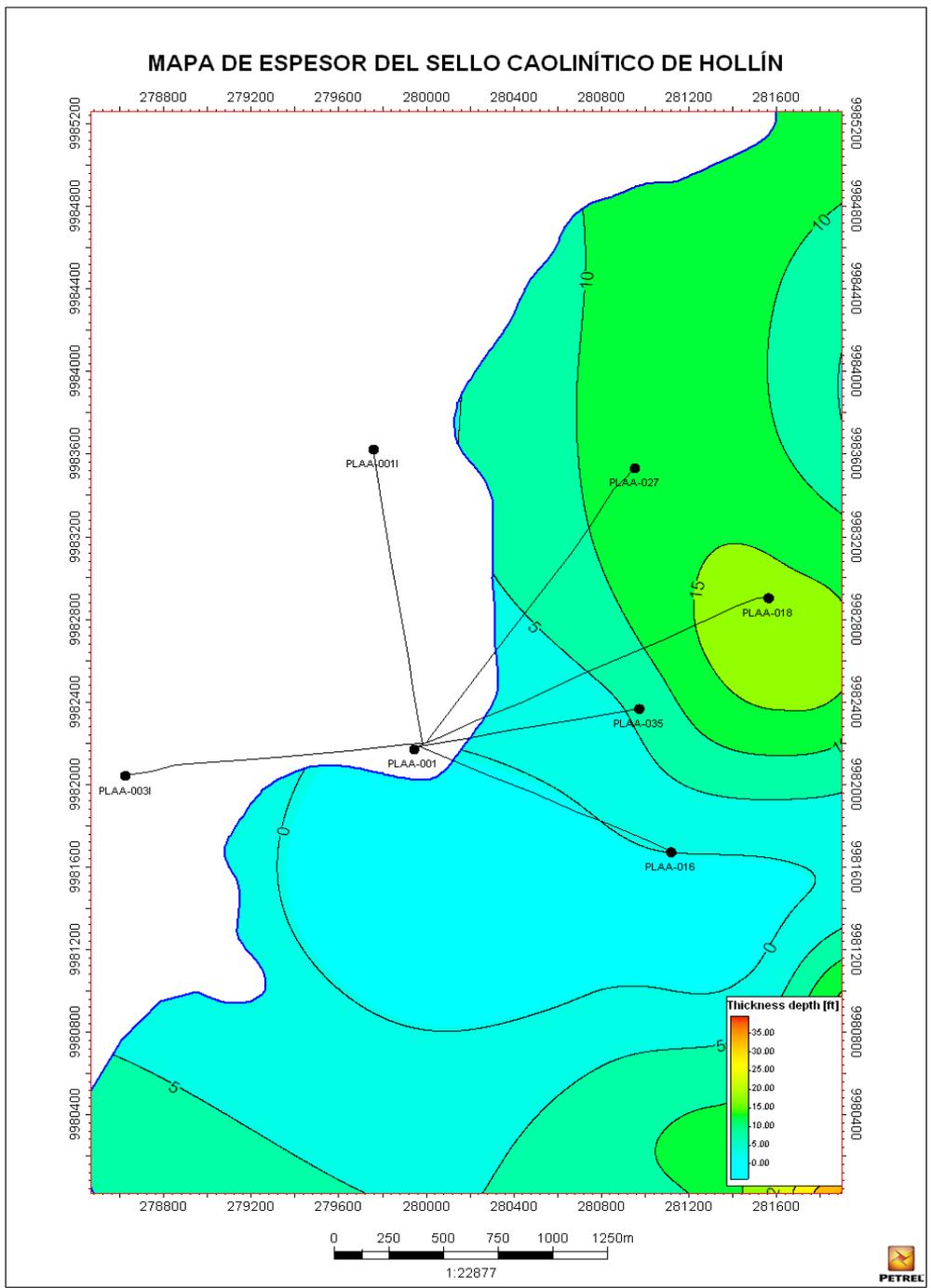


Figura 4.2 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma A

Plataforma B

La Plataforma B se encuentra ubicada la parte alta de la estructura, en el siguiente mapa se puede observar que la zona nor- oeste es la que posee una mayor concentración de caolinita.

Los pozos que poseen un mayor espesor son: PLAB-007, PLAB-008, PLAB-006S1 y PLAB-036HST1.

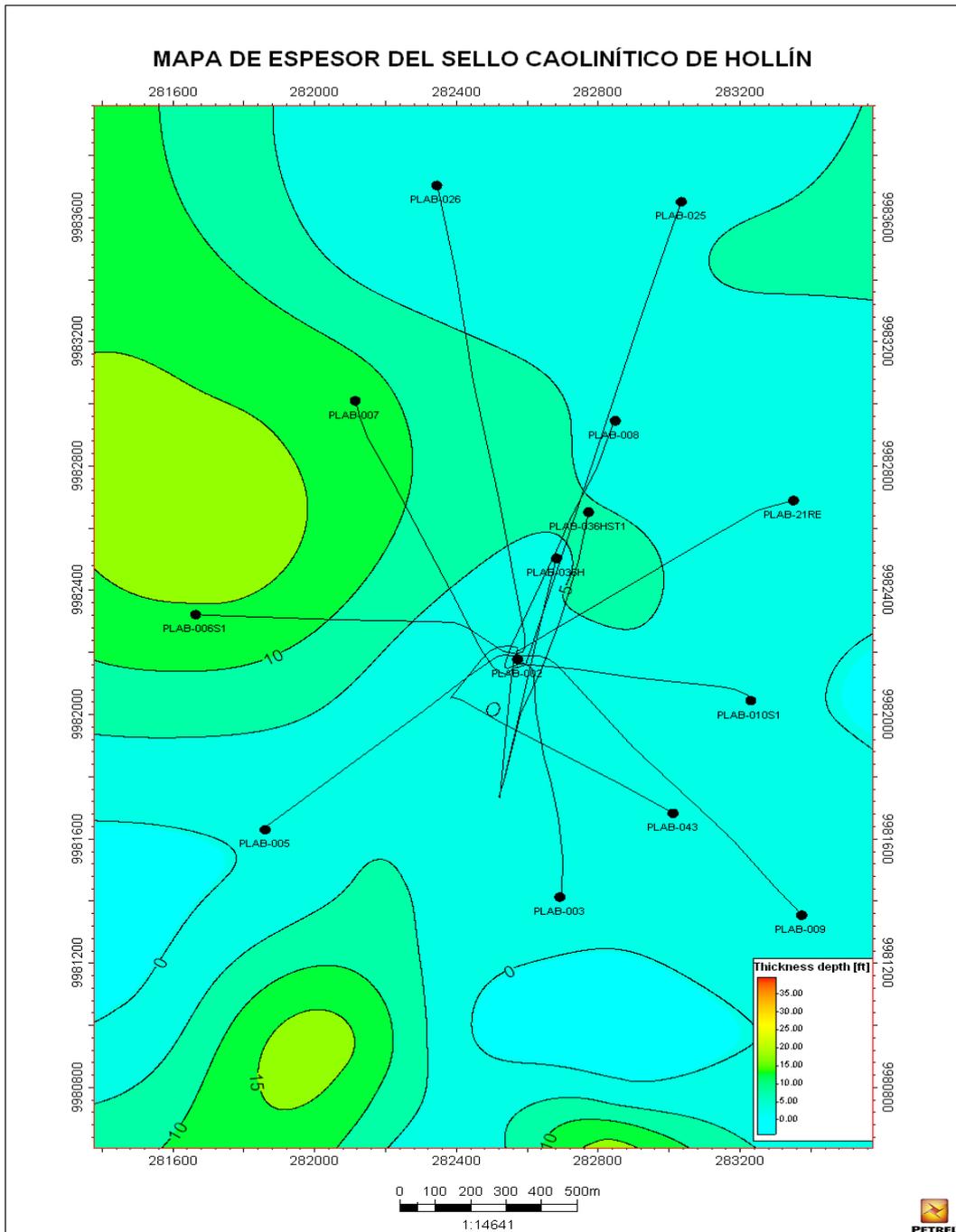


Figura 4.3 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma B

Plataforma C

La plataforma C se encuentra ubicada el eje del anticlinal y parte alta de la estructura, en el siguiente mapa de espesor se puede observar que existe una mayor concentración de caolinita en la zona este de la misma.

Los pozos que poseen un mayor espesor son: PLAC-004, PLAC-011, PLAC-013S1, PLAC-014, PLAC-017, PLAC-037RE, PLAC-038, PLAC-040, PLAC-048ST, PLAC-47 ST1 LWD

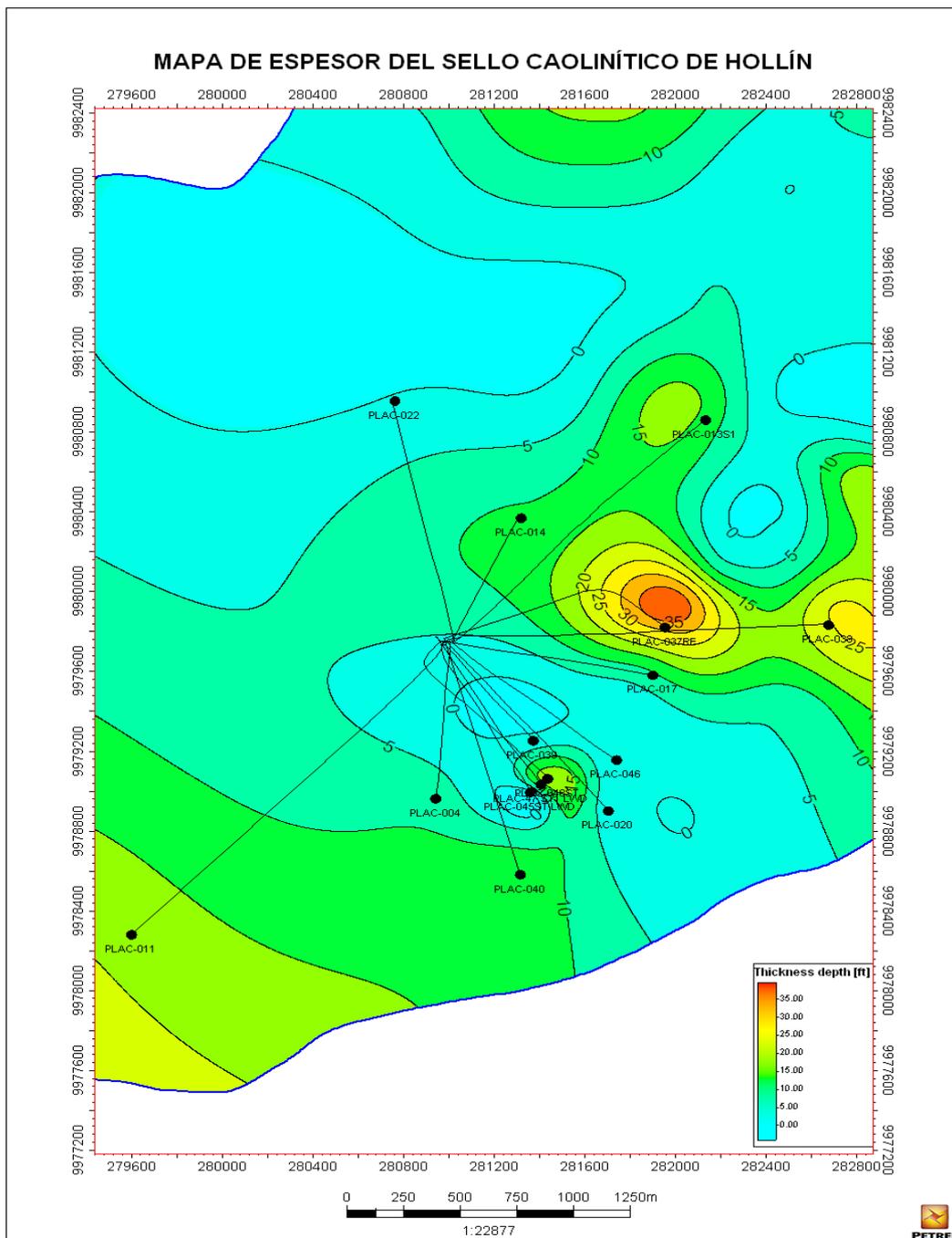


Figura 4.4 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma C

Plataforma D

La Plataforma B se encuentra ubicada la parte alta de la estructura, en el siguiente mapa de espesor se puede observar que la zona sur-oeste es la que posee una mayor concentración de caolinita.

Los pozos que poseen un mayor espesor son: PLAD-015, PLAD-023, PLAD-024, PLAD-044 y PLAD-032.

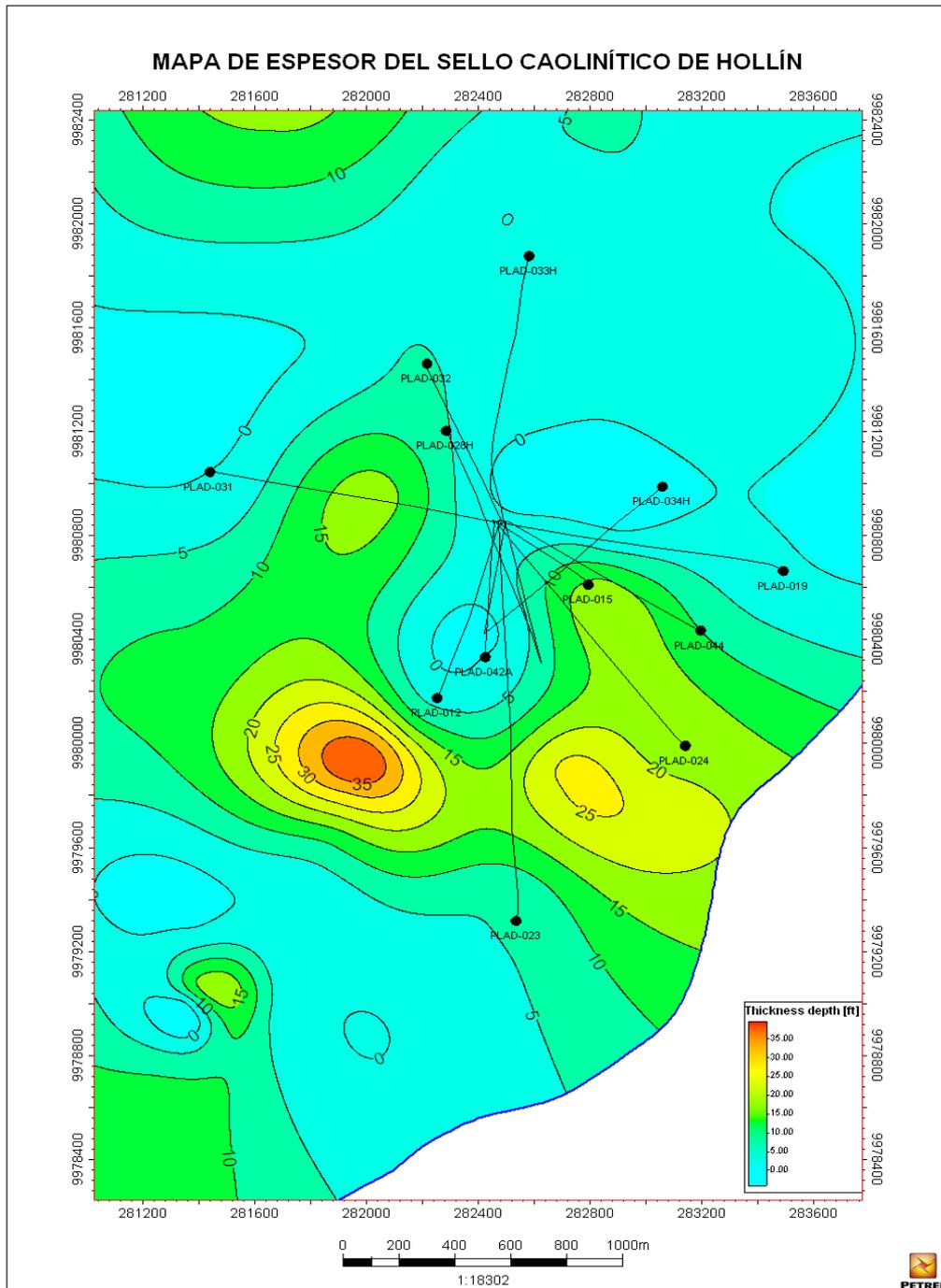


Figura 4.5 Mapa de espesor del sello Caolínico de la Plataforma D

Plataforma Norte

La plataforma N se encuentra ubicada en el flanco norte del anticlinal, en el siguiente mapa de espesor se puede observar que existe una mayor concentración de caolinita en la sección noreste y sur este de la misma.

Los pozos que poseen mayor espesor son: PLAN-055, PLAN-059, PLAN-50H, PLAN-52RE y PLAN-56

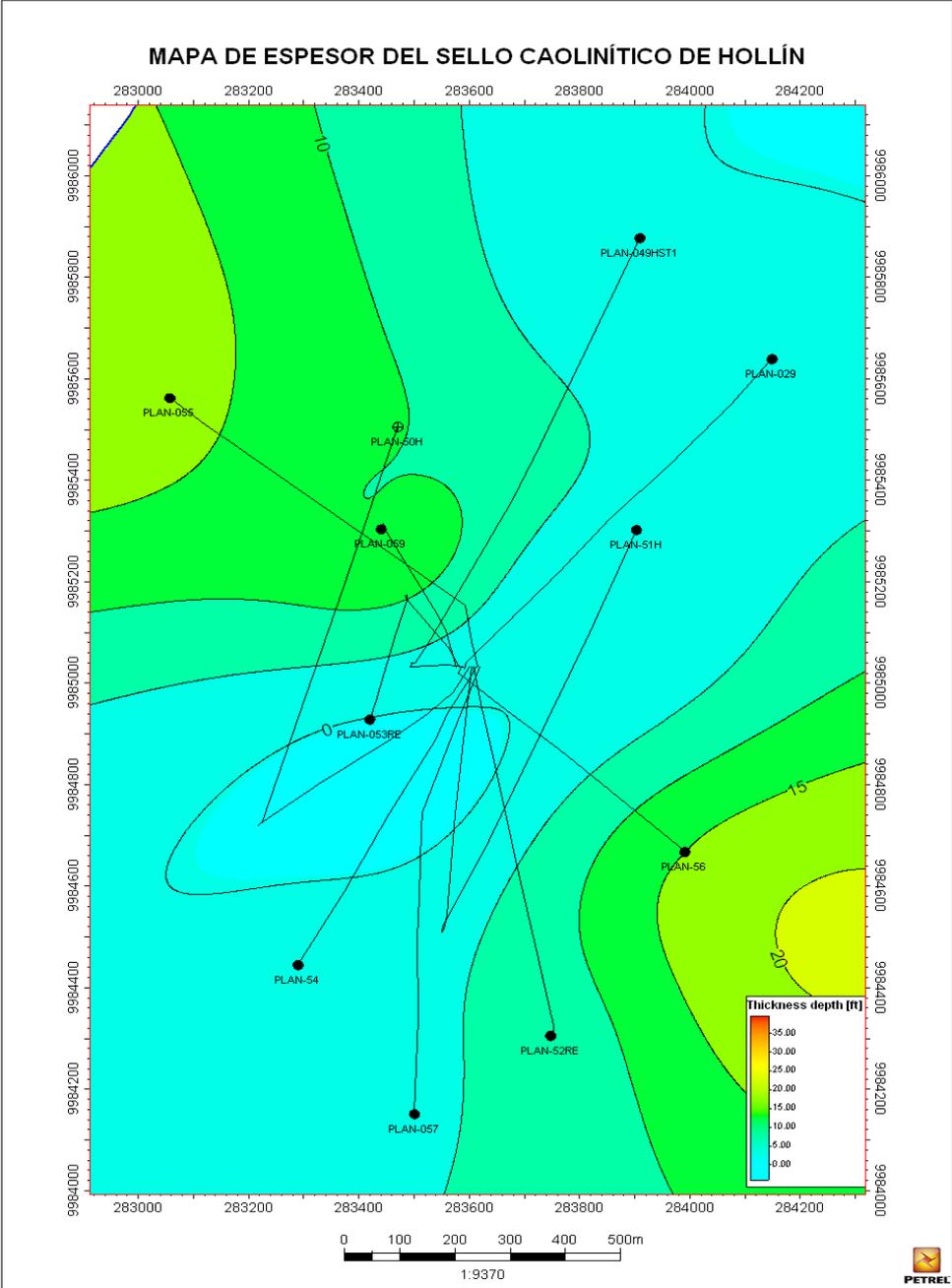


Figura 4.6 Mapa de espesor del sello Caolinítico de la Plataforma Norte

4.3 Análisis de Resultados

4.3.1 Análisis de resultados de optimización de producción

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE FRECUENCIA DEL POZO PLAB-005

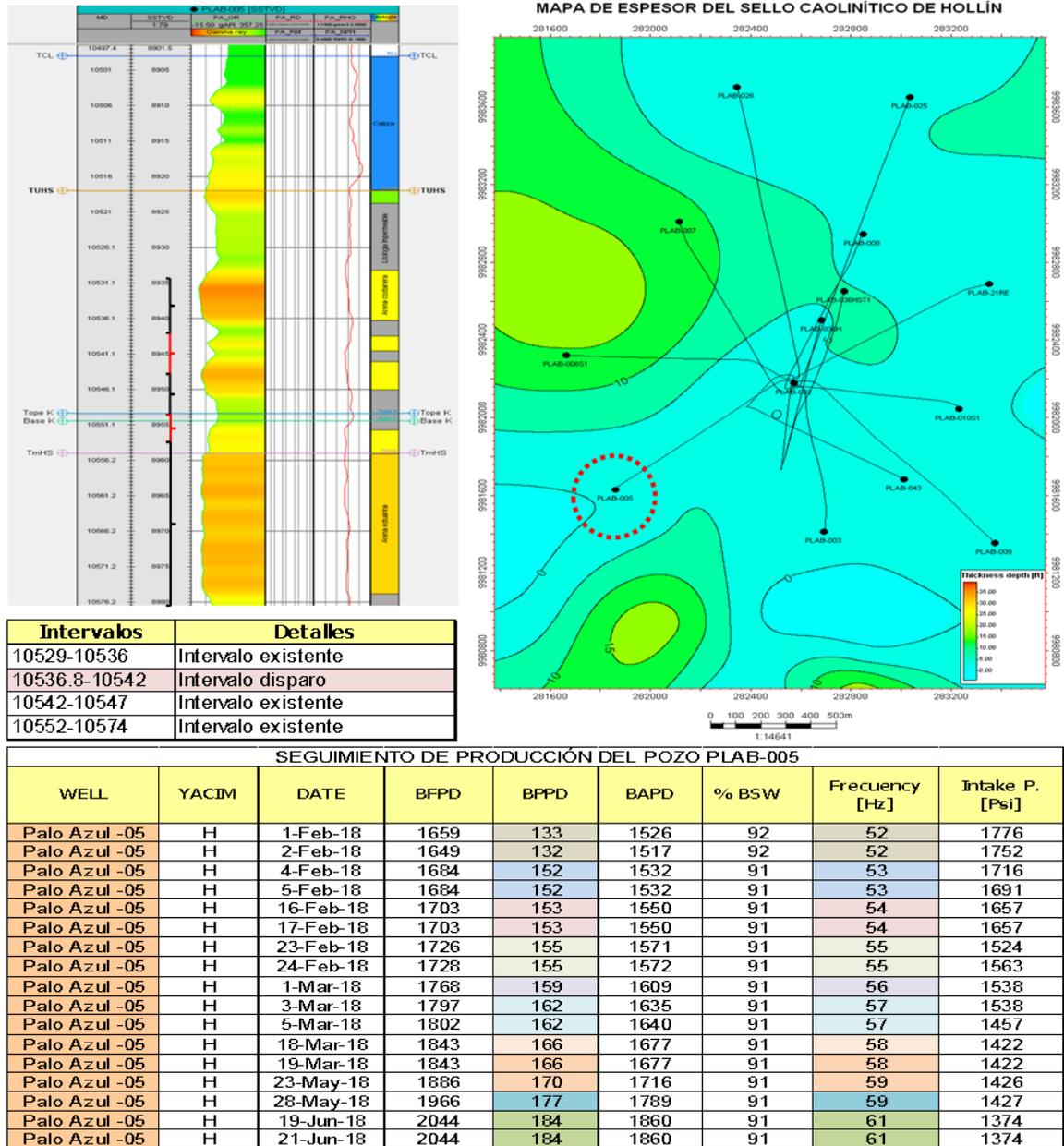


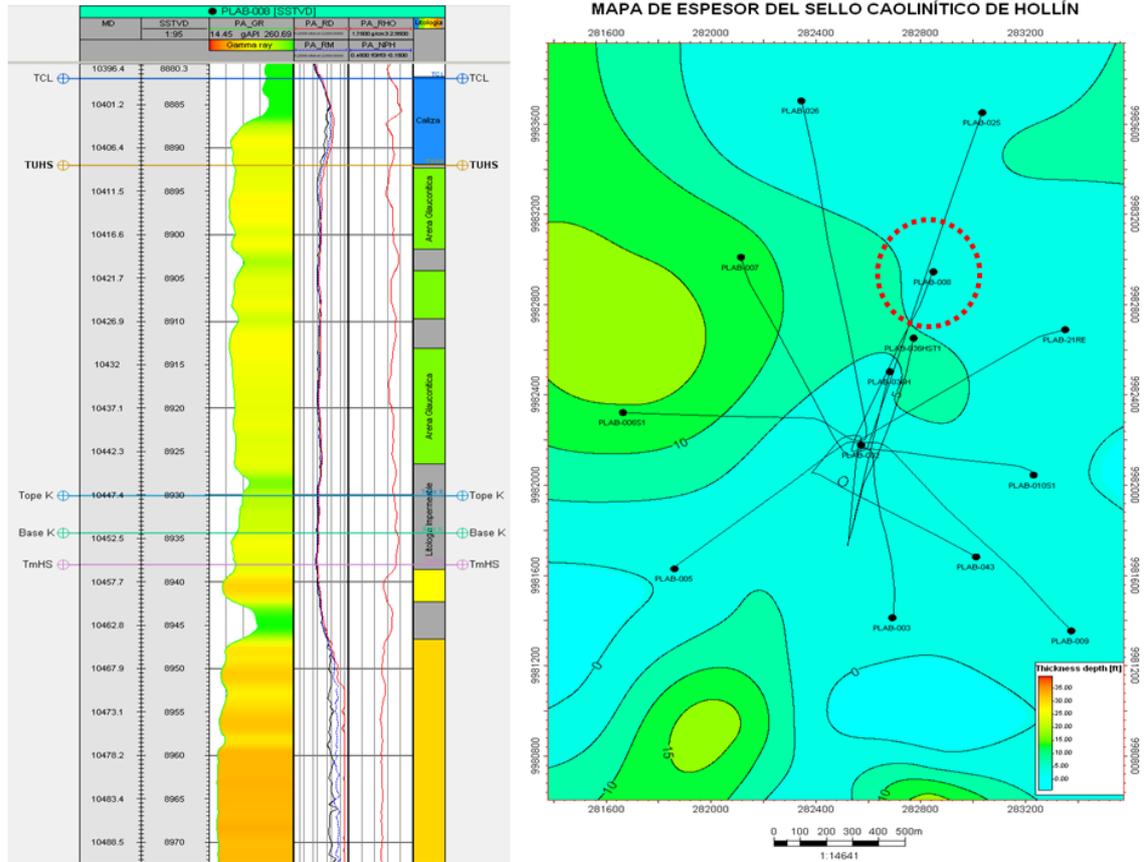
Figura 4.7 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-005

Espesor de sello: 1.03 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Pulling al equipo BES por posible comunicación tubing-casing.
- Redisparar el intervalo de 10529 ft – 10536 ft.
- Disparar el intervalo de 10536 ft – 10542 ft.
- Incremento de frecuencia de 52 Hz – 61 Hz

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE FRECUENCIA DEL POZO PLAB-008



SEGUIMIENTO DE PRODUCCIÓN DEL POZO PLAB-008								
WELL	YACIM	DATE	BFPD	BPPD	BAPD	% BSW	Frecuency [Hz]	Intake P. [Psi]
Palo Azul -08	H	27-Apr-18	1268	139	1128	89	49.0	1678
Palo Azul -08	H	29-Apr-18	1272	140	1132	89	49.0	1634
Palo Azul -08	H	17-May-18	1309	144	1165	89	50.0	1611
Palo Azul -08	H	29-May-18	1332	146	1185	89	50.0	1604
Palo Azul -08	H	5-Jun-18	1340	147	1193	89	50.0	1620
Palo Azul -08	H	6-Jun-18	1345	148	1197	89	50.0	1602

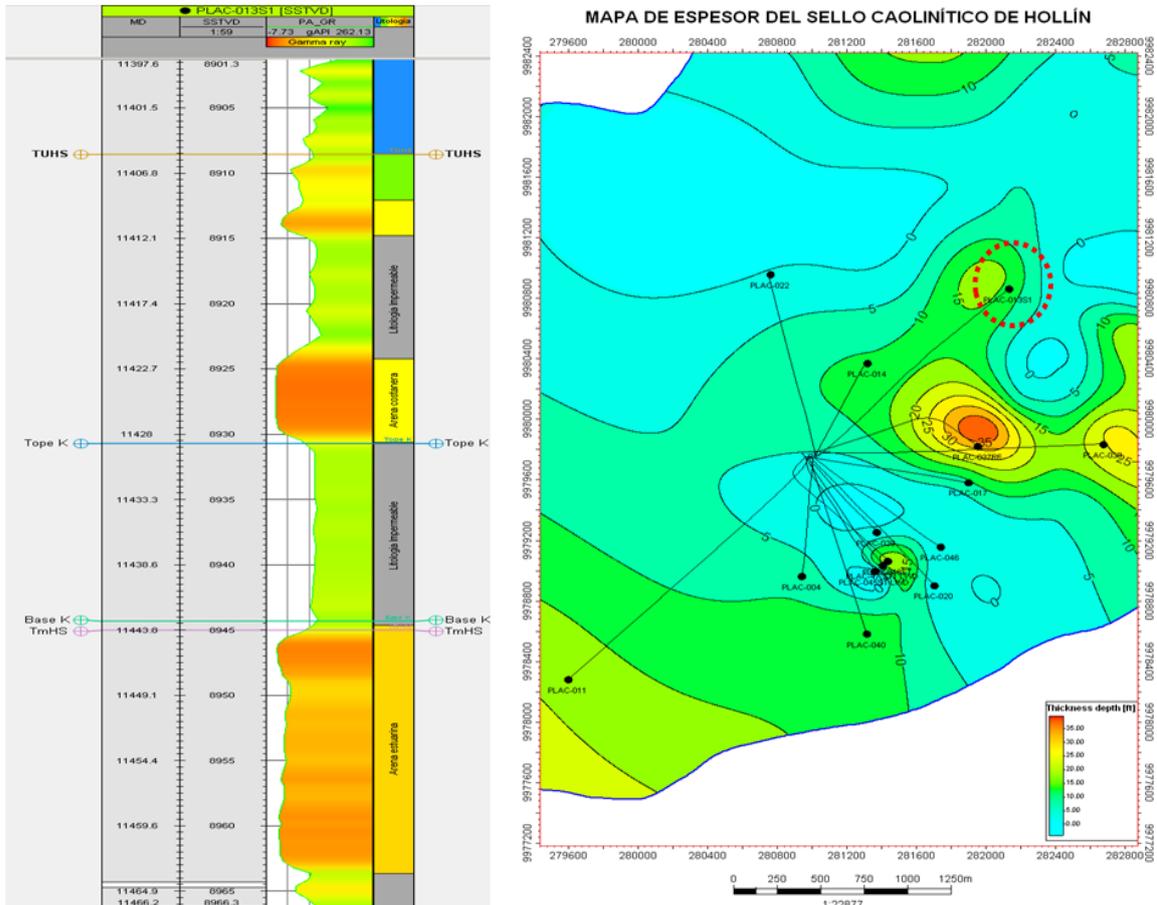
Figura 4.8 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-008

Espesor de sello: 4.30 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Pulling al equipo BES.
- Limpieza a los punzados en el intervalo: 10462' – 10490' (28') con cámaras al vacío.
- Incremento de frecuencia de 49 Hz – 50 Hz

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE FRECUENCIA DEL POZO PLAC-013



SEGUIMIENTO DE PRODUCCIÓN DEL POZO PLAC-013								
WELL	YACIM	DATE	BFPD	BPPD	BAPD	% BSW	Frecuency [Hz]	Intake P. [Psi]
Palo Azul -13	H	28-Feb-18	1260	88	1172	93.0	54.5	876
Palo Azul -13	H	15-Mar-18	1253	88	1165	93.0	54.5	854
Palo Azul -13	H	30-Mar-18	1338	94	1244	93.0	56.5	792
Palo Azul -13	H	15-Apr-18	1356	95	1261	93.0	56.5	788
Palo Azul -13	H	10-May-18	1355	95	1260	93.0	56.5	784
Palo Azul -13	H	25-May-18	1360	95	1265	93.0	56.5	785
Palo Azul -13	H	10-Jun-18	1362	95	1267	93.0	56.5	781
Palo Azul -13	H	20-Jun-18	1350	95	1256	93.0	56.5	778

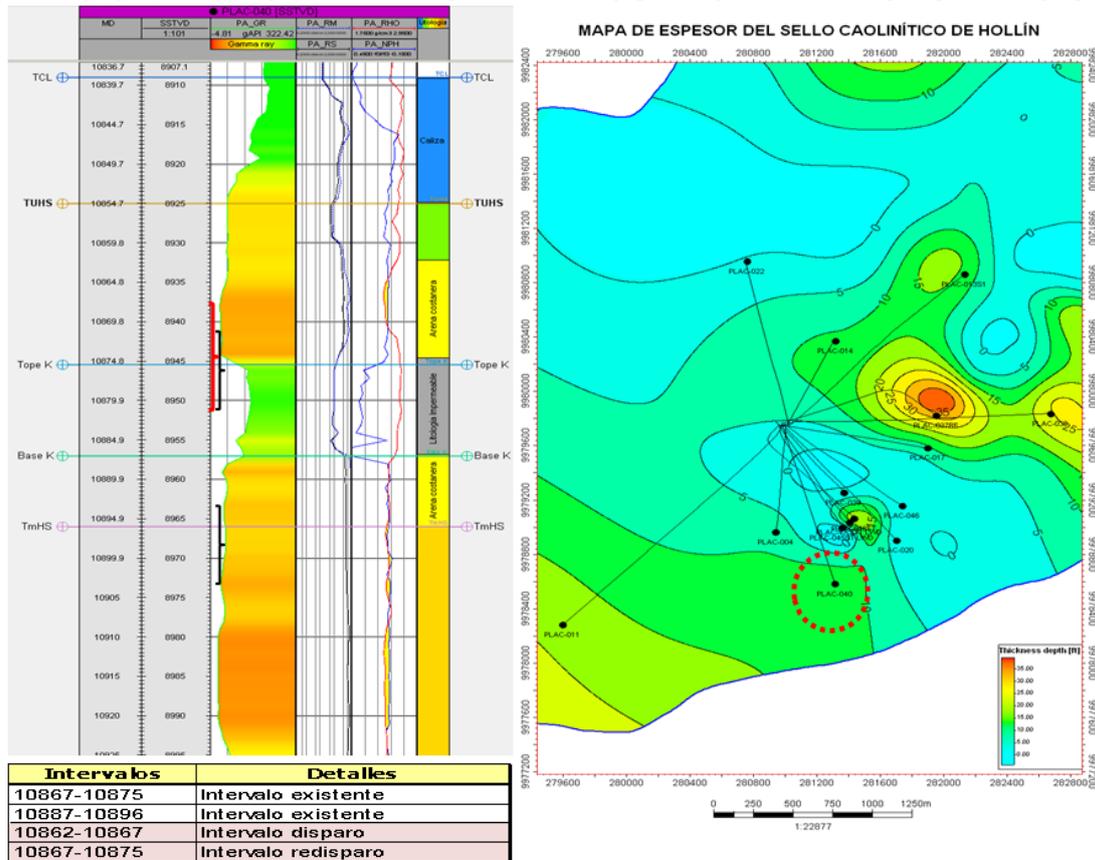
Figura 4.9 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-013

Espesor de sello: 13.61 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Incremento de frecuencia de 54.5 Hz – 56.5 Hz

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE FRECUENCIA DEL POZO PLAC-040



SEGUIMIENTO DE PRODUCCIÓN DEL POZO PLAC-040								
WELL	YACIM	DATE	BFPD	BPPD	BAPD	% BSW	Frecuency [Hz]	Intake P. [Psi]
Palo Az ul-40	H	11-Apr-18	930	353	576	62	50	1570
Palo Az ul-40	H	17-Apr-18	950	361	589	62	50	1503
Palo Az ul-40	H	18-Apr-18	1034	393	641	62	53	1396
Palo Az ul-40	H	20-Apr-18	1034	393	641	62	53	1396
Palo Az ul-40	H	21-Apr-18	1086	413	673	62	55	1270
Palo Az ul-40	H	22-Apr-18	1086	413	673	62	55	1270
Palo Az ul-40	H	23-Apr-18	1086	413	673	62	55	1270
Palo Az ul-40	H	24-Apr-18	1211	460	751	62	58	1002
Palo Az ul-40	H	4-May-18	1101	418	683	62	58	1090
Palo Az ul-40	H	5-May-18	1128	429	699	62	59	1064
Palo Az ul-40	H	6-May-18	1128	429	699	62	59	1064
Palo Az ul-40	H	7-May-18	1128	429	699	62	59	1064

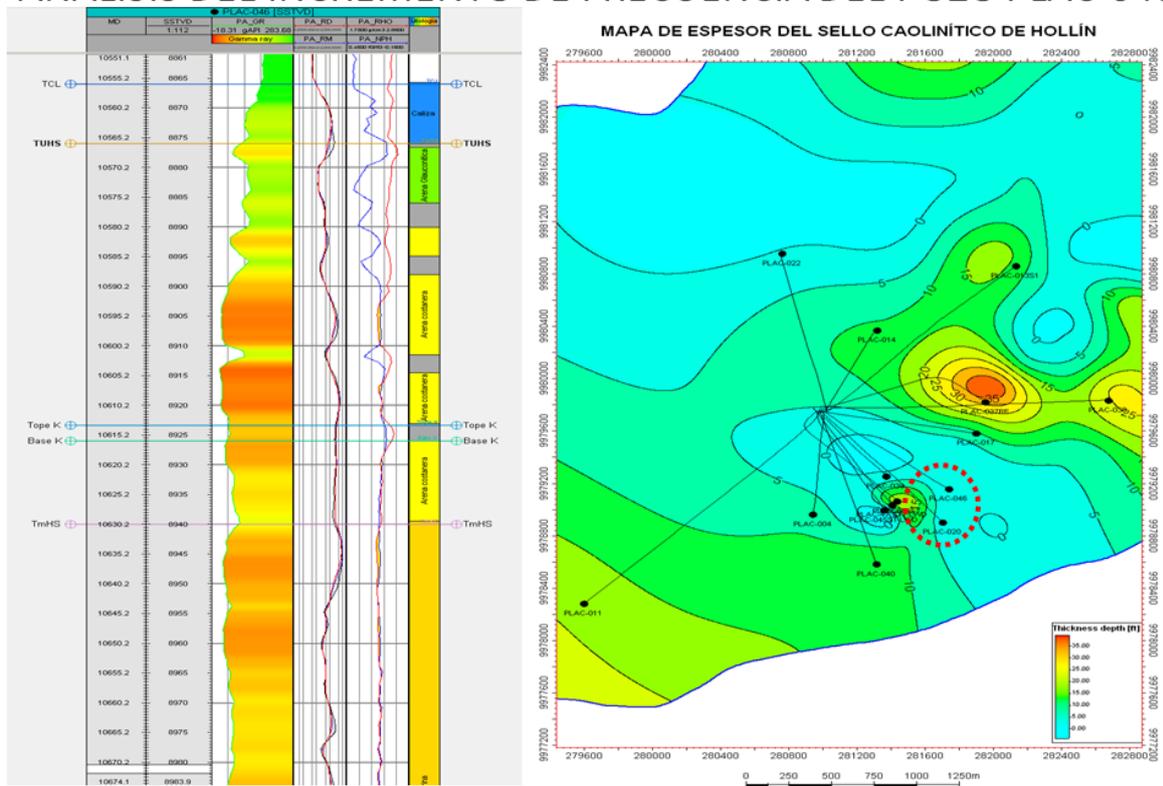
Figura 4.10 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-040

Espesor de sello: 11.58 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Recuperar equipo BES.
- Disparar zona productora de Hollín 10862 ft – 10867 ft.
- Re-disparar 10867 ft – 10875 ft.
- Incremento de frecuencia de 50 Hz – 59 Hz

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE FRECUENCIA DEL POZO PLAC-046



SEGUIMIENTO DE PRODUCCIÓN DEL POZO PLAC-046								
WELL	YACIM	DATE	BFPD	BPPD	BAPD	% BSW	Frequency [Hz]	Intake P. [Psi]
Palo Azul-46	H	8-Mar-18	4001	240	3761	94.0	45	2760
Palo Azul-46	H	13-Mar-18	4000	240	3760	94.0	45	2735
Palo Azul-46	H	14-Mar-18	4001	240	3761	94.0	45.5	2711
Palo Azul-46	H	18-Mar-18	4080	245	3835	94.0	45.5	2696
Palo Azul-46	H	19-Mar-18	4212	253	3959	94.0	48	2641
Palo Azul-46	H	21-Mar-18	4036	242	3794	94.0	48	2641
Palo Azul-46	H	22-Mar-18	4462	268	4194	94.0	50	2568
Palo Azul-46	H	25-Mar-18	4462	268	4194	94.0	50	2568
Palo Azul-46	H	26-Mar-18	4678	281	4397	94.0	51	2535
Palo Azul-46	H	27-Mar-18	4678	281	4397	94.0	51	2535
Palo Azul-46	H	28-Mar-18	4712	283	4429	94.0	52	2506
Palo Azul-46	H	1-Apr-18	4715	330	4385	93.0	52	2504
Palo Azul-46	H	2-Apr-18	4715	330	4385	93.0	53	2504
Palo Azul-46	H	16-Apr-18	4762	333	4429	93.0	53	2462
Palo Azul-46	H	17-Apr-18	5200	364	4836	93.0	58	2358
Palo Azul-46	H	12-Jun-18	5280	370	4910	93.0	58	2274
Palo Azul-46	H	13-Jun-18	5280	370	4910	93.0	59	2267
Palo Azul-46	H	21-Jun-18	5315	372	4943	93.0	59	2224

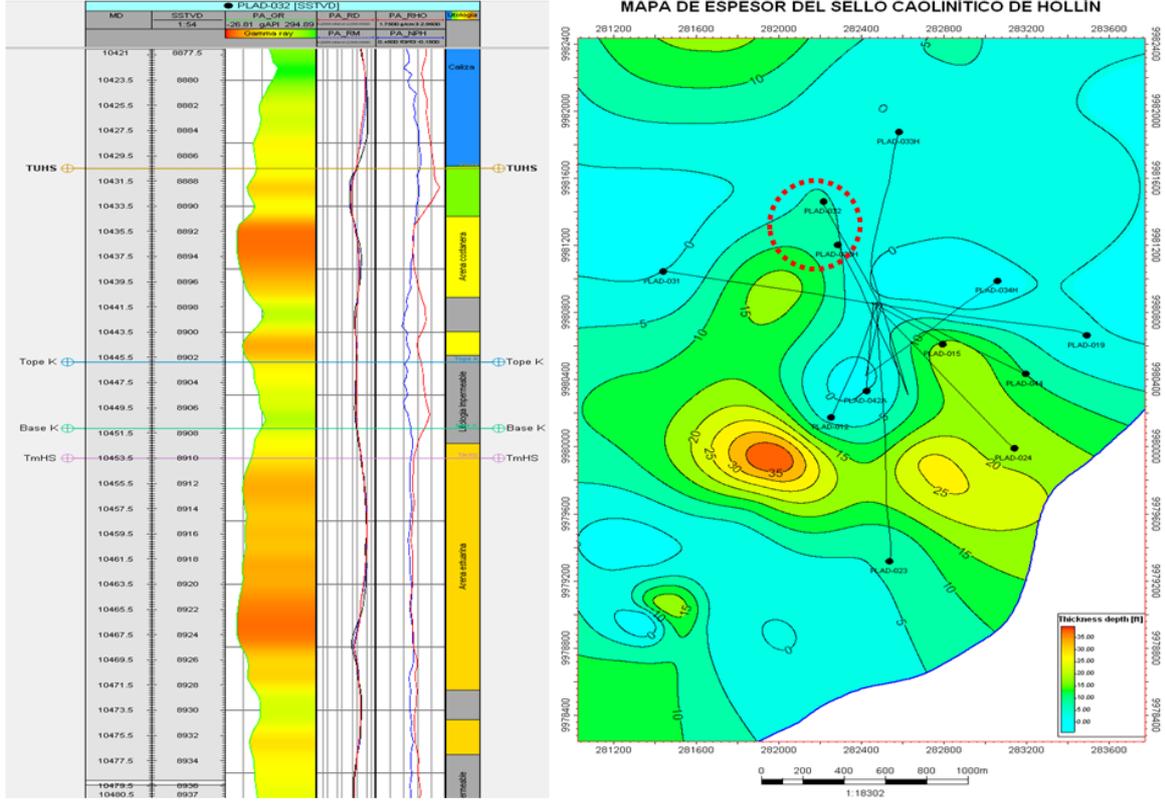
Figura 4.11 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-046

Espesor de sello: 1.26 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Pulling de equipo BES
- Limpieza de los punzados 10592' - 10600' (8'); 10603' - 10611' (8') & 10631' - 10638' (7') con cámaras al vacío
- Incremento de frecuencia de 45 Hz – 59 Hz.

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE FRECUENCIA DEL POZO PLAD-032



SEGUIMIENTO DE PRODUCCIÓN DEL POZO PLAD-032								
WELL	YACIM	DATE	BFPD	BPPD	BAPD	% BSW	Frequency [Hz]	Intake P. [Psi]
Palo Azul-32	H	26-Feb-18	1252	100	1152	92	45	1187
Palo Azul-32	H	1-Mar-18	1250	100	1150	92	45	1172
Palo Azul-32	H	2-Mar-18	1313	105	1208	92	46	1172
Palo Azul-32	H	5-Mar-18	1313	105	1208	92	46	1172
Palo Azul-32	H	6-Mar-18	1375	110	1265	92	47	1070
Palo Azul-32	H	8-Mar-18	1393	111	1282	92	47	1111
Palo Azul-32	H	9-Mar-18	1456	116	1340	92	48	1045
Palo Azul-32	H	10-Mar-18	1456	116	1340	92	48	1045
Palo Azul-32	H	11-Mar-18	1515	121	1394	92	49	967
Palo Azul-32	H	13-Mar-18	1515	136	1379	91	49	960
Palo Azul-32	H	14-Mar-18	1560	140	1420	91	50	922
Palo Azul-32	H	19-Mar-18	1561	140	1421	91	50	925

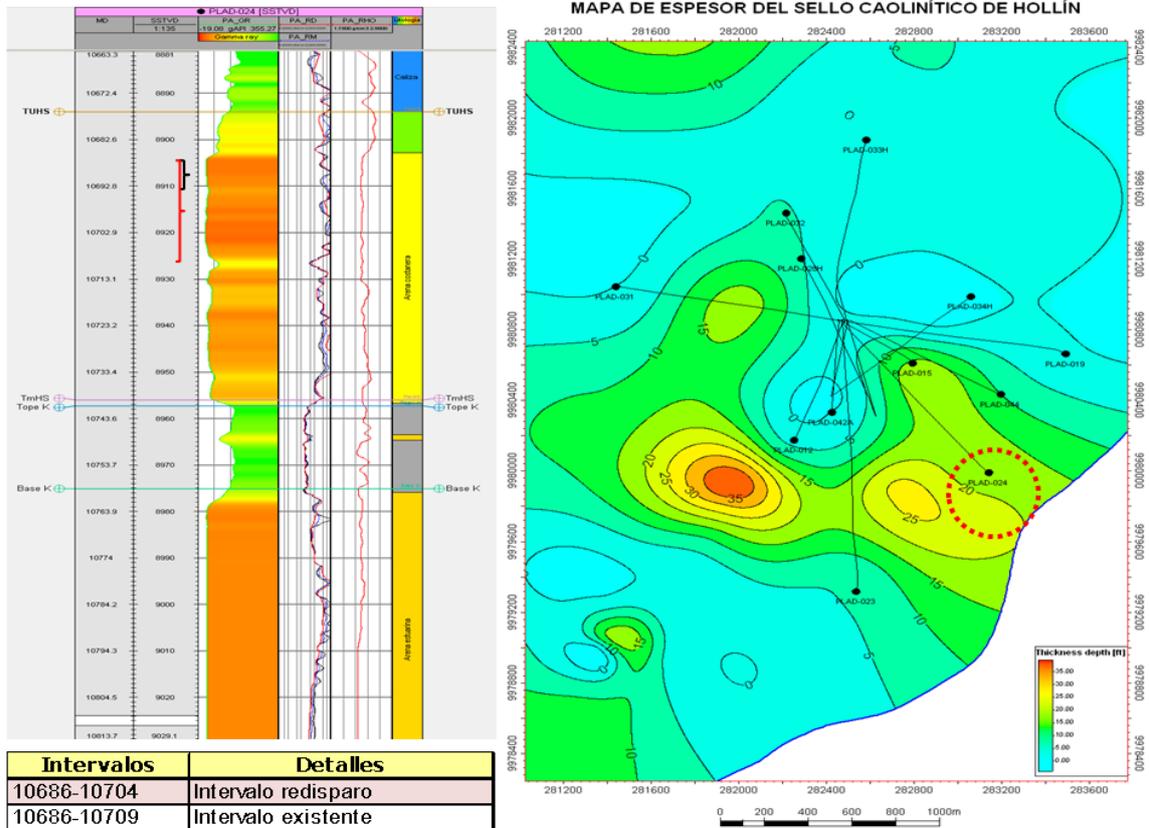
Figura 4.12 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-032

Esesor de sello: 5.27 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Pulling de equipo BES
- Limpieza de los punzados 10592' - 10600' (8'); 10603' - 10611' (8') & 10631' - 10638' (7') con cámaras al vacío
- Incremento de frecuencia de 45 Hz – 59 Hz

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE FRECUENCIA DEL POZO PLAD-024



SEGUIMIENTO DE PRODUCCIÓN DEL POZO PLAD-024									
WELL	YACIM	DATE	BFPD	BPPD	BAPD	% BSW	Frecuency [Hz]	Intake P. [Psi]	
Palo Azul -24	H	11-feb-18	1455	102	1353	93	45	1189	
Palo Azul -24	H	24-feb-18	1395	126	1269	91	45	1102	
Palo Azul -24	H	25-feb-18	1414	127	1287	91	46	1031	
Palo Azul -24	H	28-feb-18	1414	127	1287	91	46	1031	
Palo Azul -24	H	01-mar-18	1445	130	1315	91	47	1003	
Palo Azul -24	H	04-mar-18	1445	130	1315	91	47	1003	
Palo Azul -24	H	05-mar-18	1450	130	1320	91	48	938	
Palo Azul -24	H	29-mar-18	1504	135	1369	91	48	910	
Palo Azul -24	H	30-mar-18	1709	154	1555	91	50	861	
Palo Azul -24	H	02-abr-18	1708	154	1554	91	50	821	
Palo Azul -24	H	03-abr-18	1712	154	1558	91	51	720	
Palo Azul -24	H	25-abr-18	1605	144	1461	91	51	763	
Palo Azul -24	H	26-abr-18	1656	149	1507	91	53	631	
Palo Azul -24	H	21-jun-18	1690	152	1538	91	53	617	

Figura 4.13 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-024

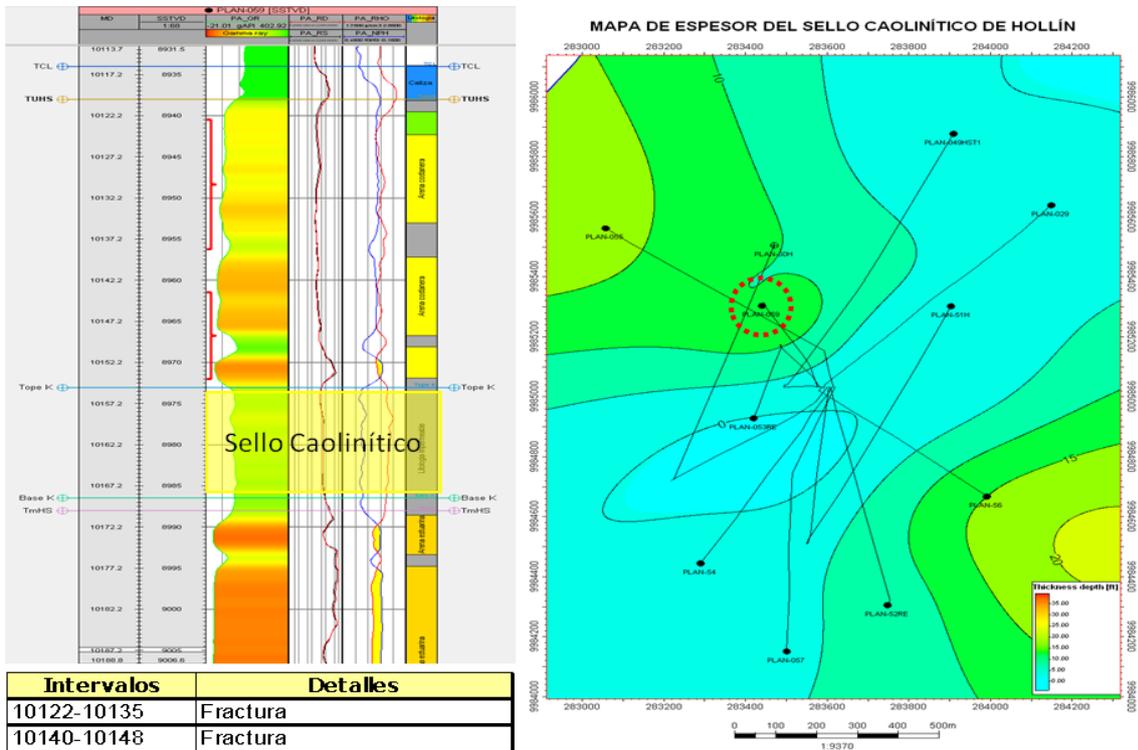
Espesor de sello: 17.82 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Pulling de equipo BES
- Re-disparar el intervalo de 10686 ft-10704 ft.
- Incremento de frecuencia de 45 Hz – 53 Hz

4.3.2 Análisis de resultados de trabajos de workover

ANÁLISIS DE FRACTURA DEL POZO PLAN-059



SEGUIMIENTO DE PRODUCCIÓN DEL POZO PLAN-059								
WELL	YACIM	DATE	BFPD	BPPD	BAPD	% BSW	Frecuency [Hz]	Intake P. [Psi]
Palo Azul-N59	H	20-Sep-17	282	34	248	88.0	49	989
Palo Azul-N59	H	21-Sep-17	282	34	248	88.0	49	989
Palo Azul-N59	H	4-Oct-17	298	36	262	88.0	50	865
Palo Azul-N59	H	5-Oct-17	298	36	262	88.0	50	964
FRACTURAMIENTO HOLLIN SUPERIOR								
Palo Azul-N59	H	1-Nov-17	378	302	76	20.0	54	1257
Palo Azul-N59	H	2-Nov-17	378	302	76	20.0	54	1255
Palo Azul-N59	H	6-Nov-17	355	320	36	10.0	54	1233
Palo Azul-N59	H	7-Nov-17	355	320	36	10.0	54	1233
Palo Azul-N59	H	8-Nov-17	355	320	36	10.0	54	1233

Figura 4.14 Análisis del incremento de frecuencia del pozo PLAB-059

Espesor de sello: 13.41 ft.

Trabajos realizados para optimizar la producción del pozo:

- Recuperar completación. Aislar arena Hollín inferior con CIBP los intervalos (10177 ft – 10182 y 10192 – 10198 ft.)
- Disparar arena Hollín los intervalos 10122 – 10135 ft, 10140 – 10148 ft.
- Realizar fracturamiento hidráulico en arena Hollín superior.

Análisis:

Se fracturo la arena Hollín superior con el fin de mejorar las características petrofísicas del pozo, tomando en cuenta el análisis previo de la concentración de caolinita existente, la cual cumple con el rol de sello litológico evitando el avance de agua del contacto (CAP). Como se puede observar en la Figura 4.15. la producción va desde alrededor 35 BPPD aumentando desde el 1 de Noviembre del 2017 con un BSW constante del 10.0% alcanzando una producción máxima de 320 BPPD.

4.3.3 RESULTADOS DE PERFORACIÓN

PROSPECTOS DE POZOS PARA PERFORACIÓN

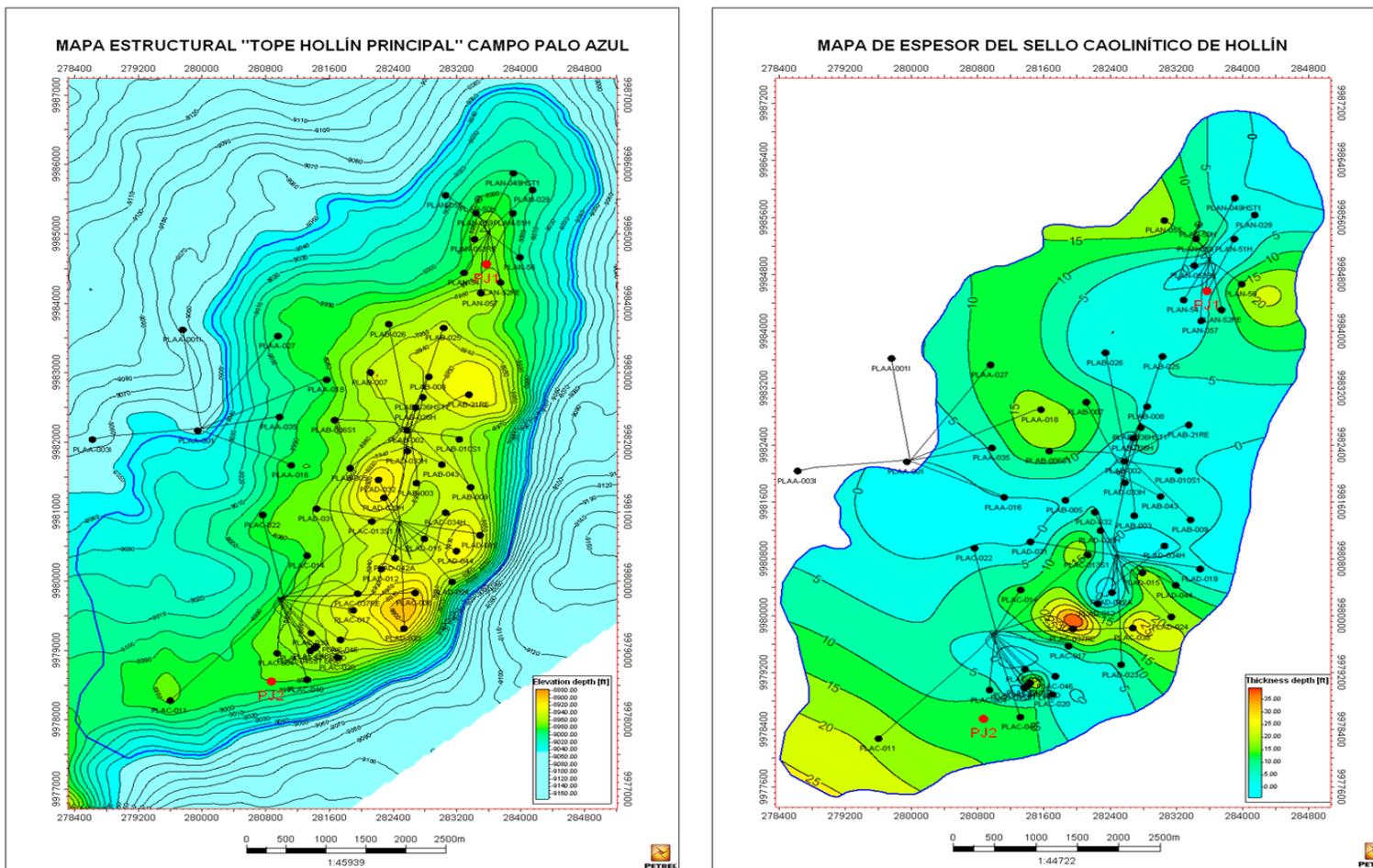


Figura 4.15 Prospectos de pozo para perforaciones.

Análisis de pozos prospectos:

Para la ubicación de pozos prospectos se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- La posición estructural de los pozos.
- Un diámetro de separación de mínimo 500m entre pozos (condiciones ideales).
- El valor del BSW de los pozos aledaños.
- La concentración de Caolinita dentro del reservorio Hollín del Campo Palo Azul proporciona condiciones adversas para el desarrollo ya que ocupa el volumen poroso que en condiciones ideales debería estar saturado por hidrocarburo y genera zonas desfavorables para procesos operativos.

Tomando en cuenta dichos factores se proponen dos pozos prospectos para perforación:

- Los pozos PJ1 Y PJ2 poseen un radio de separación comprendido entre 350-400m de distancia con los pozos aledaños.

POZO	COORDENADAS	
	X: (m)	Y: (m)
PJ1	283570.73	9984571.25
PJ2	280871.79	9978560.19

Después del análisis previo realizado se definió que el pozo **PJ1** posee condiciones más favorables que el pozo PJ2 tomando en cuenta los siguientes factores:

- El pozo PJ ubicado en una posición estructural de -8970ft y el pozo PJ2 -8990ft.
- El pozo PJ1 posee un sello Caolinítico de 3.33 ft de espesor y pozo PJ2 de 12.46 ft., el pozo PJ1 posee menor proporción del sello Caolinítico por consiguiente cuenta con una columna de petróleo mayor.

POZO PROSPECTO PARA PERFORACIÓN

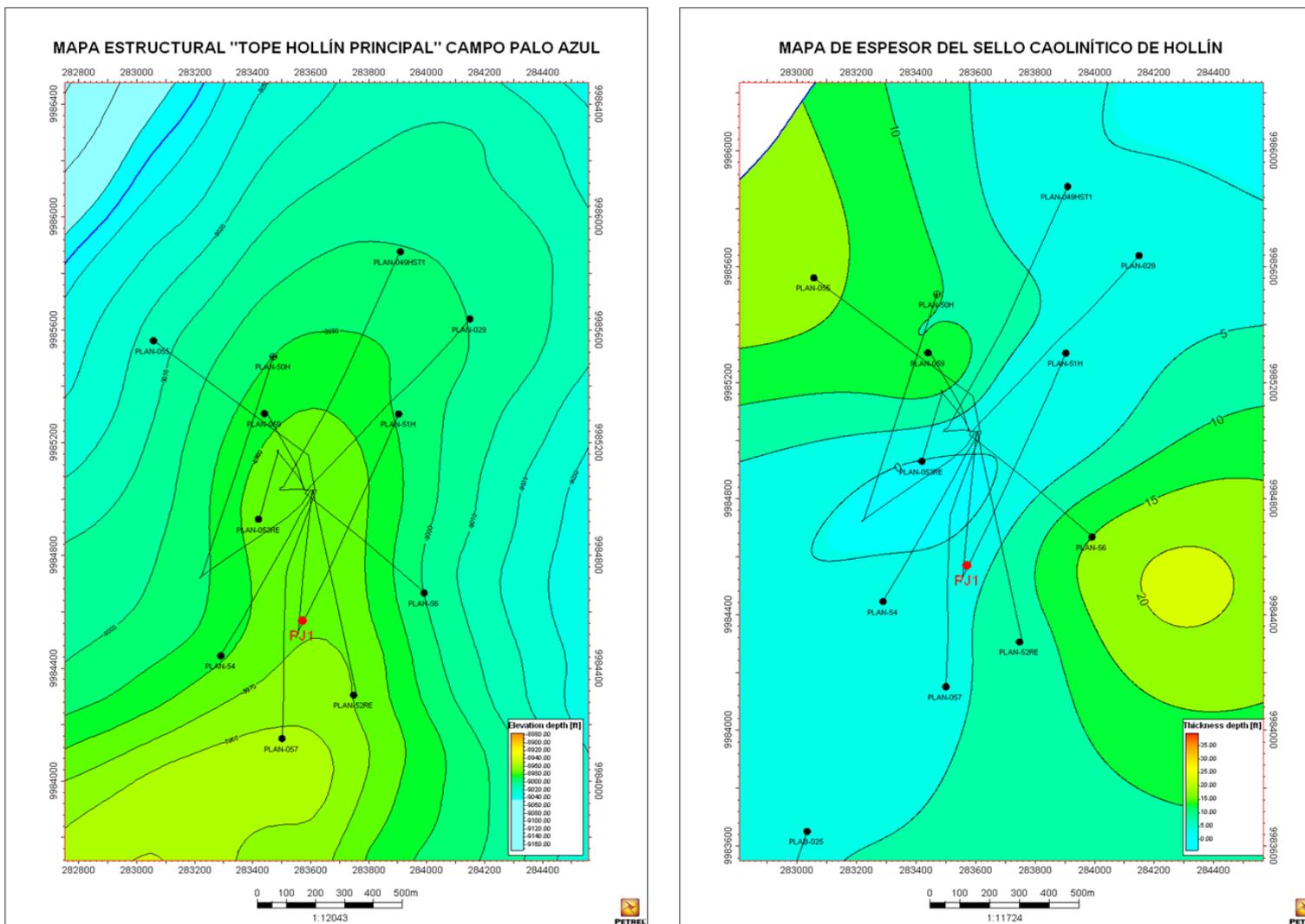


Figura 4.16 Resultados de perforación

5 CONCLUSIONES

Se analizó la información geológica (Registros eléctricos, Master logs y Núcleos) de la formación Hollín de cada uno de los pozos pertenecientes al campo Palo Azul y se generó una base de datos de los resultados obtenidos (espesor de sello) determinando que existe un total de 27 pozos que poseen un espesor de sello Caolinítico considerable (mayor a 5 ft) los cuales son: PLAA-018, PLAA-027, PLAA-035, PLAB-007, PLAB-008, PLAB-006S1, PLAB-036HST1, PLAC-004, PLAC-011, PLAC-013S1, PLAC-014, PLAC-017, PLAC-037RE, PLAC-038, PLAC-040, PLAC-048ST, PLAC-47 ST1 LWD, PLAD-015, PLAD-023, PLAD-024, PLAD-044, PLAD-032.,PLAN-055, PLAN-059, PLAN-50H, PLAN-52RE y PLAN-56.

Por medio de la identificación del sello diagenético Caolinítico se identificaron 8 de pozos candidatos para la realización de optimización de producción (PAAB-005, PLAB-008, PLAC-013, PLAC-040, PLAC-046, PLAD-032, PLAD-024, PLAN-059) mediante trabajos como: incrementos frecuencia, workovers (identificar zonas favorables para fracturamientos, disparos y redisparos, disminuyendo el riesgo de que avance el agua del contacto CAP), obteniendo resultados positivos al incrementar la producción de barriles de petróleo

Después de concluir el análisis de cada uno de los en los cuales se realizaron trabajos operacionales para aumentar la producción, se determinó que con la realización de labores operativas como: incremento de frecuencia en un total de 7 pozos (PAAB-005, PLAB-008, PLAC-013, PLAC-040, PLAC-046. PLAD-032, PLAD-024) la producción aumentó en un promedio de 52 BDPD por pozo, mientras que al fracturar un pozo (PLAN-059) la producción se elevó de 32 BDPD A 320 BDPD

Se identificaron 2 pozos prospectos para la realización de perforaciones PJ1 y PJ2, concluyendo que el pozo PJ1 posee condiciones más favorables ya que se encuentra ubicado en una posición estructural más alta y posee un menor espesor de sello caolinítico lo cual genera que la columna de petróleo sea mayor.

El sello diagenético Caolínico se extiende a lo largo del Campo Palo Azul entre el tope de la unidad Hollín inferior y la base de la unidad Hollín superior, este mineral tiene un efecto similar al de una lutita actuando como un sello litológico cuando su concentración dentro de las arenas es mayor al 5%.

Se Identificó exitosamente el sello diagenético “Caolinita” en el Reservorio Hollín del Campo Palo Azul- Bloque18, observando una mayor concentración en la zona sur-este y nor-oeste del campo, mientras que la menor concentración del sello se encuentra en la parte centro nor-este y centro sur-oeste del mismo.

6 RECOMENDACIONES

Identificar la presencia de Caolinita en los Reservorios secundarios del Campo Palo Azul, para determinación de pozos candidatos a futuros trabajos de optimización de producción.

Analizar la presencia de Caolinita de manera previa a la perforación de un pozo ya que esta genera condiciones adversas a procesos operativos.

Elaborar un mapa de espesor para cada unidad de la Formación Hollín para obtener una mejor precisión en la continuidad del sello al momento de analizar la presencia de este dentro del Reservorio principal.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aspen, J. & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205: 87-204.
- Arche, A. (2010) "Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria" Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científica.
- Baby, P.; Rivadeneira, M. & Barragán, R. (2004). La Cuenca Oriente Geología y Petróleo.
- Baby, P., Frederic, C. & Valdez, A. (1998). Modelo Estructural y Ciclos Tectono-Sedimentarios de la Cuenca Oriente, Convenio ORSTOM – Petroproducción.
- Baby, P., Rivadeneira, M., Christophoul, F. & Barragán R. (1999). Style and timing of deformation in the Oriente Basin of Ecuador, and International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG'99), Univ. Gottingen (Germany), Extended Abstracts Volume: 68-72.
- Baldock, J.W. (1982). Geología del Ecuador: Boletín de la explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador, Esc. 1:1'000 000., División de investigación Geológico Minera, Quito. P. 19-24.
- Besoain, E. (1985). Mineralogía de suelos. San José Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 970p.
- Besoain, E. (1970). Mineralogía de arcillas de suelos. San José Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 343p.
- Core Lab, (2001). Palo Azul-2. Core description and interpretation.
- Eguez, A. & Aspen, J. (1993). The Meso-Cenozoic Evolution of the Ecuadorian Andes. 2nd International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG'93), Univ. Oxford (UK), Extended Abstracts Volume: 179-181
- Dalrymple, W., Zaitlin, A & Boyd, R. (1992). Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.62, p.1130-1146.
- Dalrymple, R., Makino, Y., & Zaitlin, B (1991). Temporal and spatial patterns of rhythmic deposition on mud flats in the macrotidal Cobequid Bay-Salmon River estuary, Bay of Fundy, Canada, in *Clastic Tidal Sedimentology*, D.G. Smith, G. E. Reinson, B. A. Zaitlin and R. A. Rahmani (eds). Canadian Society of Petroleum Geologists. Memoir 16, p. 137-160.

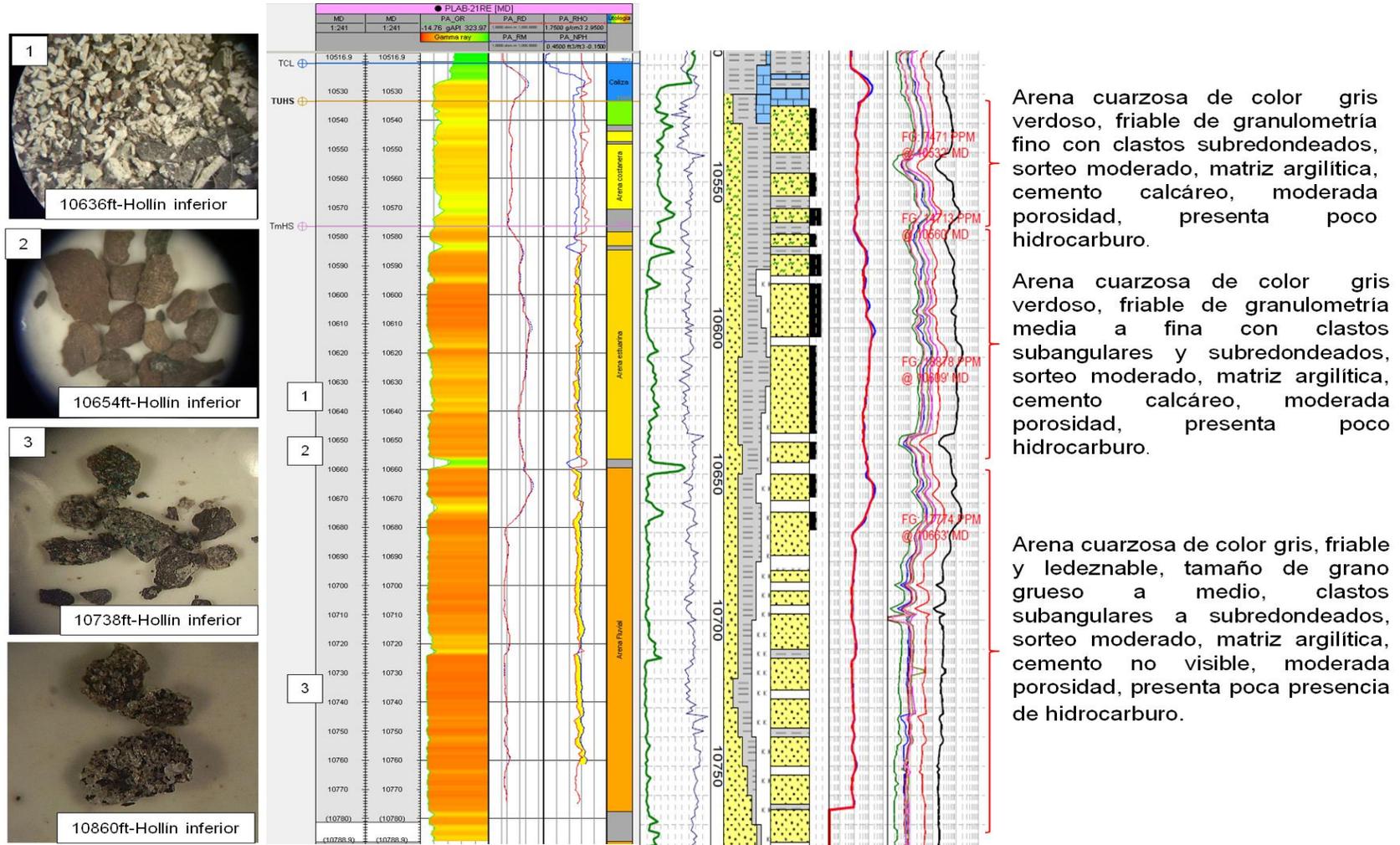
- Dozy, J. & Baggelaar, H. (1940). Geological reconnaissance of the Middle Pastaza and Macuma area. Shell Geological report n° 9, informe interno ITG-40-003, Petroproducción-Quito, 40 p.
- Jaillard, E. (1997). Síntesis Estratigráfica y Sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la Cuenca Oriente del Ecuador. Convenio ORSTOM – Petroproducción.
- Balkwill, H., Rodriguez, G., Paredes, F. & Almeida, J. (1995). Northern Part of Oriente Basin, Ecuador: Reflection Seismic Expression of Structures. AAPG Memoir, 62: 559-571.
- Bartolomé, J. (1997). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio. Vol 36, 9-13.
- Bristow, C. & Hoffstetter, R. (1997). Lexique stratigraphique international: Ecuador. C.N.R.S., Vol 5, Amérique Latine, Fasc. 5, Equateur, 412p.; Paris, edition.
- Dana J. (1982). Manual de Mineralogía de Dana. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gastaldo A., Allen, G., & huc, A. (1995). The tidal character of fluvial sediments of the modern Mahakam River delta, Kalimantan, Indonesia. Spec. Publs. Int. Ass. Sedim. 24, p. 171-181.
- Goldschmid, K. (1941). Geological Compilation on the Cutucu – Macuma – Cangaime region. SHELL Geological report (Archivo técnico Petroproducción, ECuA 131).
- Haq, B., Handerbol, J., & Val, P. (1987). Chronology of fluctuating sea level changes since the triassic, Science, V. 235, 1156-1167 pp.
- Higgs, R., (2002). Tide-dominated estuarine facies in the Hollin and Napo ("T " y "U") formation (Cretaceous), Sacha field, Oriente Basin, Ecuador: Discussion: AAPG Bull, V. 86, p. 329-334.
- LCV, (2004). Sondeo Palo Azul-4 (1ª, 2ª y 3ª ccc) - F. Hollín. Estudio sedimentológico, petrofísico, petrográfico, diagenético, mineralógico, de microscopía electrónica y bioestratigráfico. R# 1764/04.
- Marcellari, C. (1988). Cretaceous paleogeography and depositional cycles of western South America: Journal of South American Earth Sciences, V. 1, p.373-418.

- Marksteiner, R. & Aemán, A. (1997). Petroleum systems along the Fold belt Associated to the Marañon-Oriente-Putumayo (MOP) Foreland Basin. In: VI Simposio Bolivariano 'exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas', Memorias tomo II: 63-74.
- Marocco, R., Valdez, P. & Rivadeneira M. (1996). Sedimentología de las formaciones de edad eocena y oligoceno de la Cuenca Oriente, Convenio ORSTOM-Petroproducción, Quito, Ecuador, 35 p.
- Patterson, S. & Murray, H. (1984). Kaolin, refractory Clay, Ball Clay, and Hallotsite in North America, Hawaii, and the Caribbean Region. U. S. Geological Survey Prof. Paper 1306.
- PETROAMAZONAS E.P. (2017). Justificativo Técnico de Reservas 2017 Bloque 18 – Zona Oeste – ACTIVO PALOA ZUL- PETROAMAZONAS EP-SHE.
- PETROAMAZONAS E.P. (2014). Formations evaluation LOG (MD) Palo Azul N-051H - – ACTIVO PALOA ZUL- PETROAMAZONAS EP-SHE.
- Pritchard, D. (1967) What Is an Estuary: Physical Viewpoint. In Estuaries. AAAS, Washington DC.
- Ramirez, F., Barragan, R., Paladines, A. & Rodas, J. (2005). The Cretaceous Petroleum System of the Ecuador Oriente Basin. XII Congreso Latinoamericano de Geología – Quito – Ecuador.
- Rivadeneira, M. & Sánchez Ch. (1989). Consideraciones Geológicas del Preaptense de la Cuenca Oriente. Sexto Congreso Ecuatoriano de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Geotécnica_ 214-252.
- Rivadeneira, M., Christophoul, F., M. & Baby, P. (1998). Análisis de algunas Formaciones Cretácicas y Terciarias del subandino norte y de la zona de Nuevo Rocafuerte; Petroproducción.
- Shanmmugan, G; Poffenberger, M., & Toro J. (2000). Tide-dominated estuarine facies in the Hollín and Napo ("T" y "U") formations (Cretaceous), Sacha Field, Oriente Basin, Ecuador. AAPG Bull., V.84, N°5, p. 652-682.
- Shanmmugan, G; Poffenberger, M., & Toro J. (2002). Tide-dominated estuarine facies in the Hollín and Napo ("T" y "U") formations (Cretaceous), Sacha Field, Oriente Basin, Ecuador. AAPG Bull., V.86, p.335-340.
- Smith, D. (1990). Cementining. Monograph volume 4 SPE Henry L. Doherty Series. Society of Petroleum Engineers Inc. 2 Edition. 1320p.

- Schmidt, V. & McDonald, D. (1979). The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. *S. E. P. M. Spec. Publ.*, 26, pp. 175-207.
- Texeira W., Tassinari U., Corani G. & Kawashita K. (1989). A review of the Geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Research*, v. 42: 213-227.
- Tschopp, H. (1953). Oil explorations in the Oriente of Ecuador. *MPG Bulletin*, 37: 23032347.
- Villagomez, R. (1995). Estudio de la Formación Hollín y la Transgresión Albiana en la subcuenca Napo del Oriente ecuatoriano. Tesis Escuela Superior Politecnica Nacioal, Quito, 150pp. Y anexos.
- White, H., Skopec, R., Ramírez, F., Rodas, J. & Bonilla, G. (1995). Reservoir Characterización of the Hollin and Napo Formation, Western Orient Basin, Ecuador. *AAPG Memoir 62*.
- White, H., Skopec, R., Ramírez, F., Ramirez, J., Rodas, J., & Bonilla, G. (1995). Reservoir characterization of the Hollin and Napo formation, western Oriente Basin, in A. J. Tankard, R. S. Soruco, and H. J. Welsink, eds., *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62*, p. 573-596.
- Young, R. et al. (1996). Reservoir Characterization of the Hollín and Napo Formations, Western Oriente Basin, Ecuador. *APPG Memoir 62*, 573-596 pp.
- Zambrano, I., Ordoñez, M. & Jimenez, N. (1996). Micropaleontología de 63 muestras de afloramientos de la Cuenca Oriental Ecuatoriana, Labogeo, Petroproducción, distrito de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 45p.

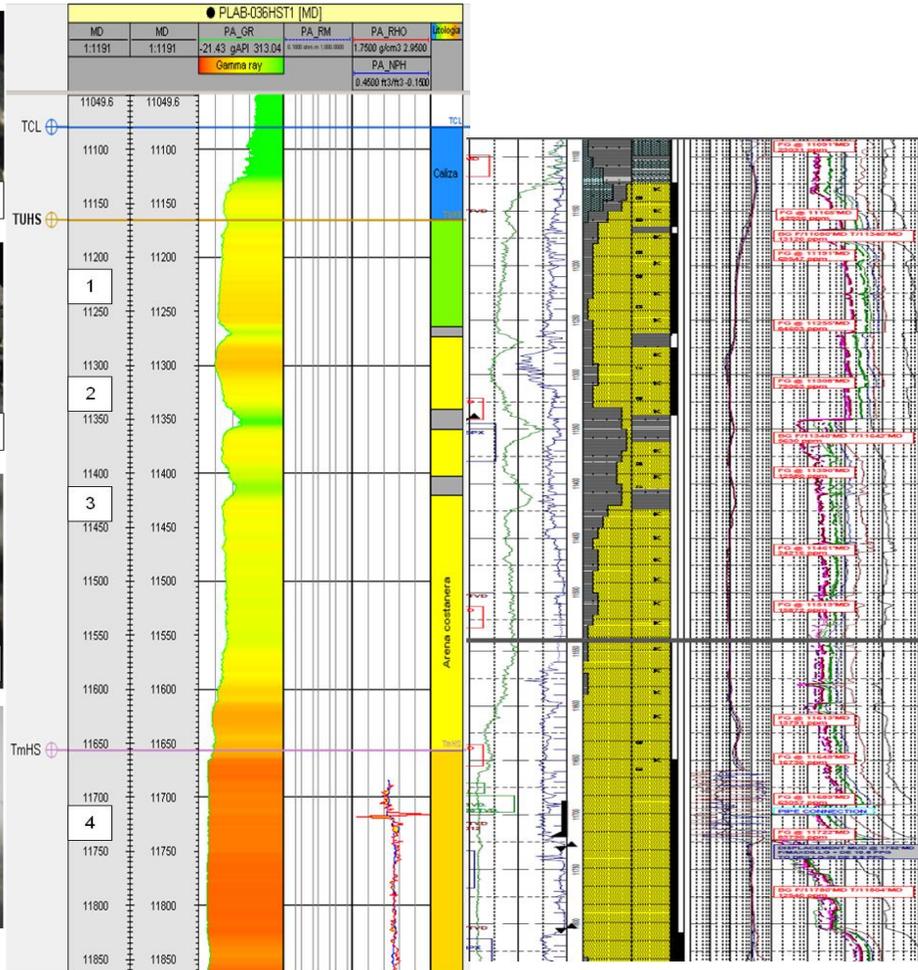
ANEXO A

Análisis litológico del pozo PLAB-21RE



ANEXO B

Análisis litológico del pozo PLAB-36HST1

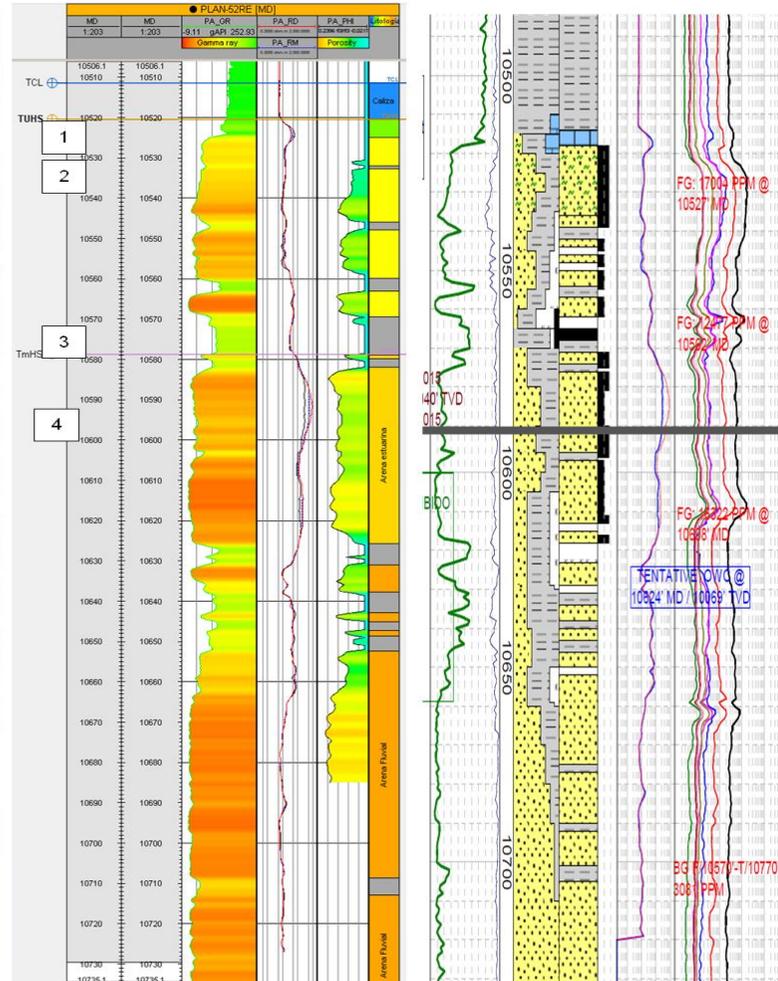


Arena cuarzosa de color café claro, blanca, hialina, friable, tamaño de grano fino, friable, clastos subredondeados, buen sorteo, matriz caolinítica y cemento calcáreo, poca porosidad, inclusiones de glauconita, presenta poca presencia de hidrocarburo, lutitas de color negro, café, en láminas, bloques.

Arena cuarzosa de color blanco, café claro, hialina, friable de granulometría gruesa a media con clastos subangulares a subredondeados, sorteo moderado, matriz y cemento no visible, inclusiones de glauconita, moderada porosidad, presenta poco hidrocarburo.

ANEXO C

Análisis litológico del pozo PLAN-52RE



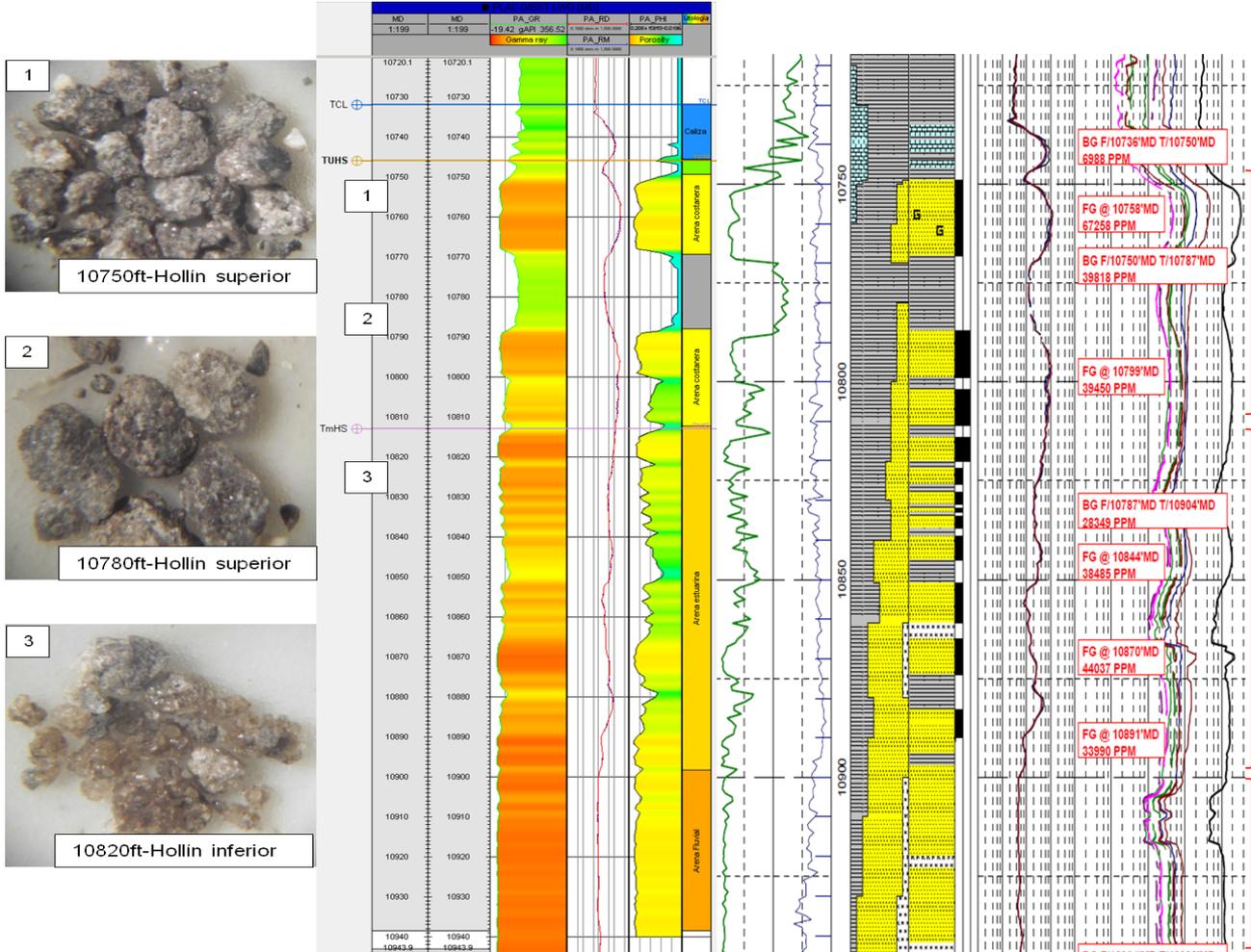
Arena cuarzosa de color café claro, gris claro, blanca, tamaño de grano fino, clastos subredondeados y subangulares, sorteo moderado, matriz caolinitica y cemento no visible, poca porosidad, inclusiones de glauconita, presenta poca presencia de hidrocarburo, lutitas de color gris, en láminas, bloques, no calcáreo.

Arena cuarzosa de color gris claro, blanca, tamaño de grano medio, clastos subredondeados y subangulares, sorteo moderado, matriz caolinitica y cemento no visible, poca porosidad, inclusiones de glauconita, presenta poca presencia de hidrocarburo, lutitas de color gris, en láminas, bloques, no calcáreo.

Arena cuarzosa de color gris claro, blanco, tamaño de grano grueso a medio, clastos subredondeados, redondeados y subangulares, buen sorteo, matriz caolinitica y cemento no visibles, moderada porosidad, presenta poca presencia de hidrocarburo.

ANEXO E

Análisis litológico del pozo PLAC-45ST1



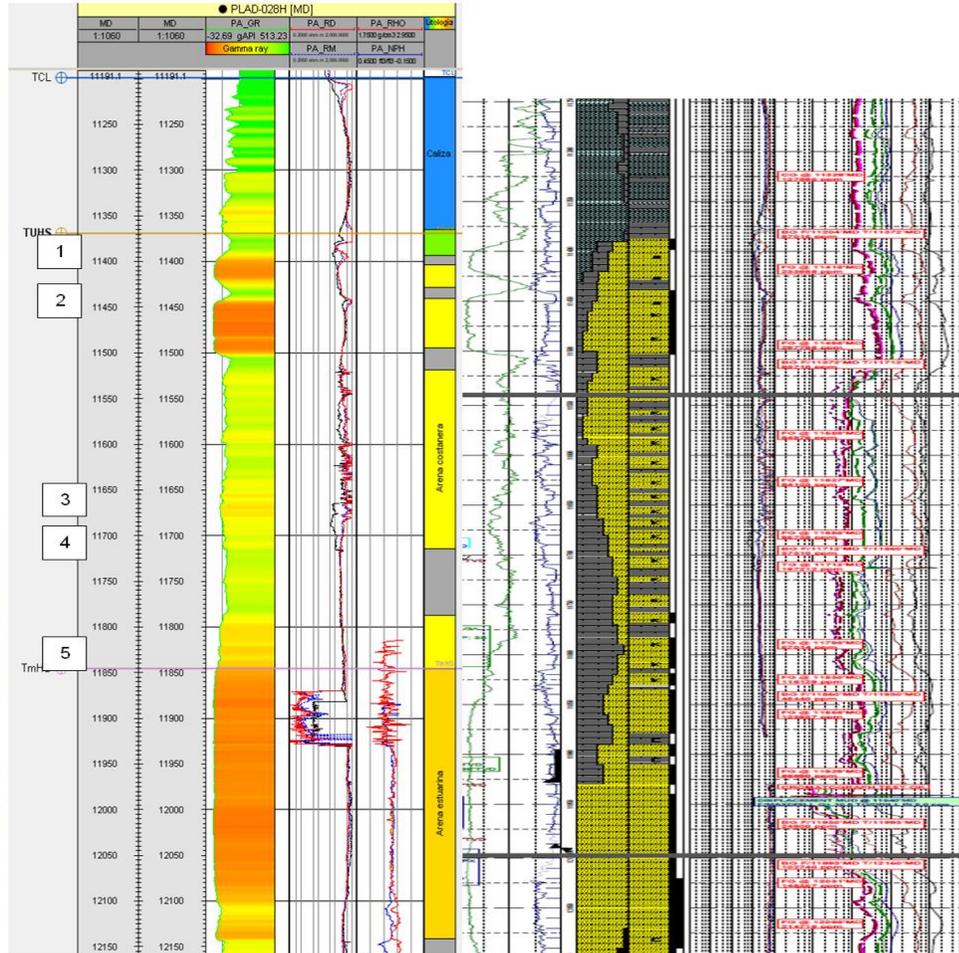
Arena cuarzosa de color café claro, blanco, friable de granulometría media a fina con clastos subangulares a subredondeados, sorteo moderado, matriz caolínica, cemento no visible, inclusiones de glauconita, moderada porosidad, presenta poco hidrocarburo.

Arena cuarzosa de color café claro, hialina, friable de granulometría gruesa a media con clastos subangulares a subredondeados, sorteo moderado, matriz y cemento no visible, inclusiones de glauconita, moderada porosidad, presenta poco hidrocarburo. Bloques de caolinita de color blanco, suave, no calcárea. Lutitas de color café claro, gris claro, gris oscuro, foliación, laminas y bloques, no calcáreo, inclusiones de pirita y bitumen

Arena cuarzosa de color café claro, blanco, friable y ledeznable de granulometría gruesa a media con clastos subangulares a subredondeados, sorteo moderado, matriz caolínica, cemento no visible, inclusiones de glauconita, moderada porosidad, no presenta hidrocarburo.

ANEXO F

Análisis litológico del pozo PLAD-28H

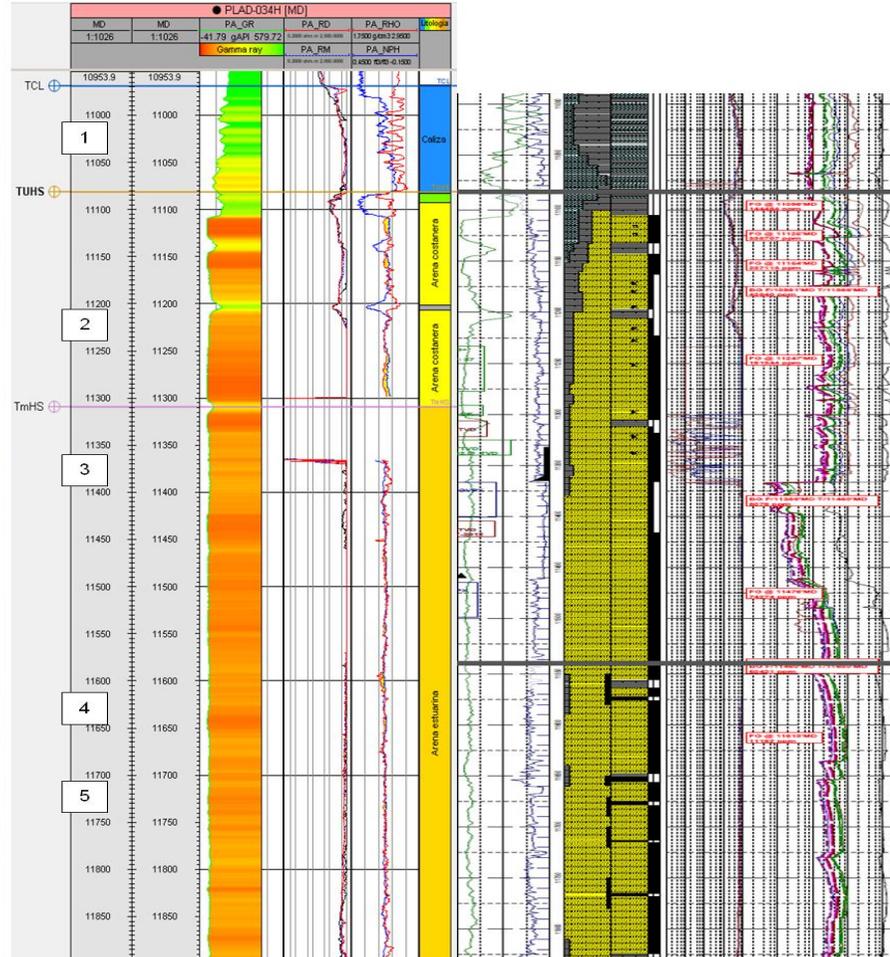
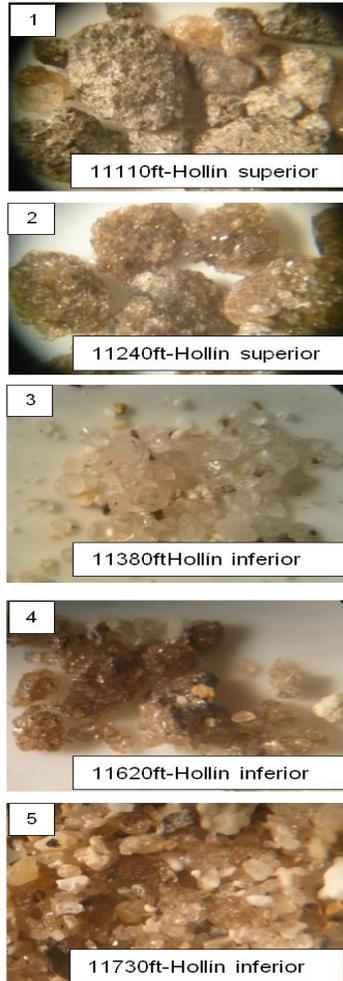


Arena cuarzosa de color café claro, café oscuro, blanco, hialina, friable, tamaño de grano medio a fino, clastos subredondeados, buen sorteo, matriz caolinitica y cemento calcáreo, poca porosidad, inclusiones de glauconita, presenta poca presencia de hidrocarburo, lutitas de color café claro, en laminas, bloques, no calcáreo.

Arena cuarzosa de color café claro, café oscuro, blanco, friable y ledeznable, tamaño de grano medio a fino, clastos subredondeados, buen sorteo, matriz y cemento no visibles, poca porosidad, presenta poca presencia de hidrocarburo, lutitas de color café claro, en láminas, bloques, no calcáreo. Caolinita suave de color blanco en láminas y bloques.

ANEXO G

Análisis litológico del pozo PLAD-34H



Arena cuarzosa de color café claro, café, hialina, ledeznable y friable, tamaño de grano medio a fino, clastos subredondeados, sorteo moderado, matriz caolinítica y cemento calcáreo, poca porosidad, inclusiones de glauconita, presenta poca presencia de hidrocarburo, lutitas de color gris, en láminas, bloques, no calcáreo.

Arena cuarzosa de color café claro, café oscuro, blanco, friable y ledeznable, tamaño de grano medio a fino, clastos subredondeados, buen sorteo, matriz caolinítica y cemento no visibles, poca porosidad, presenta poca presencia de hidrocarburo, lutitas de color gris claro, negra, café oscuro, en láminas, bloques, no calcáreo. Caolinita suave de color blanco en láminas y bloques.