

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

**“ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN GEOLÓGICA DEL MIEMBRO  
M-1 DE LA FORMACIÓN NAPO Y SU AFECTACIÓN EN LA  
PRODUCCIÓN DE CRUDO, EN UN CAMPO EN EL NORESTE DEL  
ORIENTE ECUATORIANO”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO**

**QUILACHAMÍN ZERDA VALERIA SALOMÉ  
valeria.quilachamin@yahoo.es**

**DRA. ISABEL CAROLINA BERNAL CARRERA  
isabel\_carolinab@hotmail.com**

**Quito, Enero 2016**

## **DECLARACIÓN**

Yo Valeria Salomé Quilachamín Zerda, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**VALERIASALOMÉ QUILACHAMÍN ZERDA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Valeria Salomé Quilachamín Zerda, bajo mi supervisión.

---

**DRA. CAROLINA BERNAL**  
**DIRECTORA DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias al Flaco por su amor infinito, quien me permitió avanzar hasta la meta siendo un soporte.

A la Ing. Gedi Gózales, quien me dio la oportunidad y la confianza para poder realizar este proyecto.

A la empresa Schlumberger del Ecuador, por permitirme el acceso a la información utilizada en el proyecto y a cada uno de sus profesionales en especial a Paquita, Yuri y José Rodas quienes siempre me brindaron su apoyo y conocimiento.

Gracias al tribunal por su tiempo en la revisión y corrección; a la Dra. Carolina Bernal, a la MSc. Janeth Gaibor y en especial al Dr. Cristian Vallejo por guiarme con buenos consejos y por brindarme la oportunidad de continuar.

A mi familia por su apoyo incondicional, gracias a mis padres Estela y Vicente por estar ahí en todo el camino, a mis hermanos Paúl y Zadith crecer con ustedes siempre es una locura, la mejor de todas, espero estén orgullosos de mi

La culminación de este proyecto no sería posible sin tu apoyo Ernesto, gracias porque hiciste de este camino más llevadero, en serio llegaste a mi vida en el momento indicado, gracias por siempre creer en mí, por caminar juntos en el mismo trayecto, por saber cómo darme ánimos, por las palabras acertadas y por toda la paciencia. Haber compartido esta época contigo ha sido la mejor, te debo tanto.

A mis profesores de Carrera, Dr. Arturo Egüez por inculcarme que solo con la dedicación se llega a la meta, a la Ing. Halina Lachowicz por todos los conocimientos impartidos por la fortaleza que siempre ha tenido con nosotros sus estudiantes, y por ser un ejemplo de seguir sin dejar que nada nos haga caer, al Ing. Galo Plaza por la confianza y la disciplina, y como olvidarme Ing. Pablo Duque quien inculco acertados conocimientos, gracias queridos profes por la paciencia y su amistad.

A Johanna y Marianita gracias por todos estos años de amistad, por los buenos y malos momentos que hemos compartidos juntas, gracias amigas por ser ese hombro en el que siempre me puedo apoyar.

A Tatys P, Pancho V, Marco A, Juver J, Mateo V, Vane E y Diego Ch. porque llegaron en el momento preciso y sé que puedo contar con ustedes, millón gracias por los consejos y las jaladas de oreja, los quiero amigos.

Gracias a todos los Viejos amigos por hacer de cada semestre algo inolvidable, por los jueves (a veces lunes) culturales por todas esas anécdotas que hicieron de mí paso por la poli un recuerdo agradable.

## **DEDICATORIA**

La culminación de este proyecto te lo debo a ti madrecita, se todos los sacrificios que tuviste que hacer para permitirme seguir mis sueños, gracias a ti soy lo que soy, eres mi mayor fortaleza (ves mami lo logramos)

A mi papi en serio con todo lo que ha pasado has logrado que desee ser mejor, lo logre pa

A mis hermanos, siempre serán mi razón de querer ser mejor para ustedes.

A ti Ernesto, mi gran amor, por hacer de este camino una gran aventura.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS .....	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO .....	3
1.4.1 METODOLOGÍA.....	3
1.4.2 MATERIAL UTILIZADO .....	4
1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
GEOLOGÍA DE LA CUENCA ORIENTE .....	6
2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 ESTRATIGRAFÍA DEL CRETÁCICO .....	7
2.2.1 FORMACIÓN HOLLÍN.....	7
2.2.2 FORMACIÓN NAPO .....	9
2.2.3 FORMACIÓN TENA.....	16
2.3 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL .....	17
2.3.1 Estilo Tectónico y Dominios Estructurales .....	17
2.3.1.1 Dominio Occidental (Sistema Subandino).....	18
2.3.1.2 Dominio Central (Corredor Sacha - Shushufindi) .....	19
2.2.4 ETAPAS DE DEFORMACIÓN.....	20
CAPÍTULO 3.....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
3.1 REGISTROS DE POZOS.....	21
3.1.1.1 Registro de Potencial Espontáneo (SP) .....	21
3.1.1.2 Registro de Rayos Gamma (GR).....	22

3.1.1.2.1	Análisis de registros gamma ray espectrales.....	22
3.1.1.3	Efecto Fotoeléctrico (Pe).....	26
3.1.2	<b>RESISTIVIDAD</b> .....	26
3.1.2.1	Inductivos.....	26
3.1.2.2	Dual Laterolog (DLL).....	27
3.1.2.3	Herramientas Microresistivas (Msfl, Mel).....	27
3.1.3	<b>POROSIDAD</b> .....	28
3.1.3.1	Registros de Densidad.....	28
3.1.3.2	Registros Neutrónicos.....	29
3.1.3.3	Registro Sónico.....	29
3.2	<b>ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE AMBIENTES SEDIMENTARIOS</b> .....	30
3.2.1	<b>AMBIENTES TRANSICIONALES</b> .....	30
3.2.1.1	Deltas.....	30
3.2.1.1.1	Morfología de los deltas.....	32
3.2.1.1.2	Tipos de deltas.....	38
3.2.1.2	Estuarios.....	45
3.2.1.2.1	Tipos de estuarios.....	48
3.3	<b>CONCEPTOS GENERALES DE ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL</b> .....	49
3.3.1	<b>SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS</b> .....	49
3.3.2	<b>ESTILOS DE APILAMIENTO DE SEDIMENTOS</b> .....	50
3.3.3	<b>PARASECUENCIA</b> .....	51
3.3.4	<b>SYSTEMS TRACTS</b> .....	53
3.3.4.1	Highstand systems tract (HST).....	53
<b>CAPÍTULO 4</b> .....		<b>56</b>
<b>INTEGRACIÓN DE DATOS DE POZOS, ATRIBUTOS SÍSMICOS Y REGISTROS ESPECIALES</b> .....		<b>56</b>
4.1	<b>RECOPIACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE INFORMACIÓN</b> .....	56
4.2	<b>ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS DATOS RECOPIADOS</b> .....	56
4.2.1	<b>INFORMACIÓN DE NÚCLEO</b> .....	57
4.2.1.1	Análisis Convencional de Núcleo.....	57
4.2.2	<b>REGISTROS DE POZOS</b> .....	57
4.2.2.1	Electrofacies.....	60
4.2.3	<b>INTERPRETACIÓN SÍSMICA</b> .....	62
<b>CAPÍTULO 5</b> .....		<b>65</b>
<b>DISCUSIÓN Y RESULTADOS</b> .....		<b>65</b>
5.1	<b>ANÁLISIS DE NÚCLEOS</b> .....	65
5.1.1	<b>ANÁLISIS PETROGRÁFICO</b> .....	65
5.1.1.1	Petrografía de la Arenisca M-1en el pozo P53.....	65
5.1.1.2	Petrografía de la Arenisca M-1en el pozo P87.....	67
5.1.2	<b>ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO</b> .....	69
5.1.2.1	Sedimentología de la arenisca M1 en el pozo P53.....	69
5.1.2.2	Sedimentología de la arenisca M1 en el pozo P87.....	69
5.1.3	<b>FACIES Y PALEOAMBIENTE SEDIMENTARIO</b> .....	73
5.1.3.1	Facies y paleoambiente sedimentario en el pozo P53.....	73
5.1.3.2	Facies y paleoambiente sedimentario en el pozo P87.....	76
5.1.4	<b>ANÁLISIS DE LOS RAYOS GAMMA ESPECTRALES</b> .....	77
5.2	<b>ANÁLISIS DE REGISTROS ELÉCTRICOS</b> .....	82
5.2.1	<b>MAPAS ISÓPACOS</b> .....	84
5.2.2	<b>MAPAS DE ELECTROFACIES (AMBIENTES)</b> .....	84



5.2.3	CONTINUIDAD LATERAL DE LA ARENISCA M1 .....	87
5.3	ANÁLISIS SÍSMICO.....	97
5.3.1	MAPA ESTRUCTURAL EN PROFUNDIDAD DE LA BASE DE LA ARENA M1.....	97
5.3.2	MAPA ESTRUCTURAL EN PROFUNDIDAD AL TOPE DE LA ARENA M1 .....	97
5.3.3	MAPA ISÓPACO DE LA ARENA M1 .....	97
5.3.4	ANÁLISIS DE LA FALLA.....	102
5.3.5	ANÁLISIS DE LOS CUERPOS DENTRO DE LA ARENA M1 .....	105
<b>CAPITULO 6.....</b>		<b>113</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>113</b>
CONCLUSIONES.....		113
RECOMENDACIONES.....		115
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>117</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>124</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1	MAPA ESQUEMÁTICO DE UBICACIÓN.....	5
FIGURA 2.1	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERAL DEL CRETÁCICO EN LA CUENCA ORIENTE .....	14
FIGURA 2.3	REGISTRO TIPO, REPRESENTATIVO DE LA SECUENCIA M-1 DENTRO DEL CAMPO EN ESTUDIO .....	15
FIGURA 2.3	MAPA TECTÓNICO DE LA CUENCA ORIENTE .....	19
FIGURA 3.1	DISTRIBUCIÓN TEÓRICA DE MINERALES ARCILLOSOS, MINERALES PESADOS Y EVAPORITAS, EN TÉRMINOS DE CONTENIDO DE POTASIO Y TORIO .....	25
FIGURA 3.2	DISTRIBUCIÓN TEÓRICA DE LOS MINERALES ARCILLOSOS USANDO EL CROSSPLOT Th/K Y Th/U .....	25
FIGURA 3.3	A) DIAGRAMA TERNARIO DE LA CLASIFICACIÓN BASADO EN LOS PROCESOS PARA TODOS LOS SISTEMAS COSTEROS EXCEPTO LOS SISTEMAS DE GRANO GRUESO, B) MODELO DE LA EVOLUCIÓN DE LOS AMBIENTES COSTEROS A MEDIDA QUE EL NIVEL RELATIVO DEL MAR Y EL SUMINISTRO DE SEDIMENTOS CAMBIAN PARA DAR PASO A TRANSGRESIONES Y REGRESIONES .....	31
FIGURA 3.4	MARCO CONCEPTUAL PARA ENTENDER LA INTERACCIÓN DEL CLIMA Y TECTÓNICA EN AMBIENTES DELTAICOS .....	32
FIGURA 3.5	A) ZONACIÓN TEÓRICA DE UN DELTA, B) ESCALA RELATIVA DE LOS DELTAS RESPECTO A LA PLATAFORMA CONTINENTAL, Y ORGANIZACIÓN INTERNA .....	33
FIGURA 3.7	MODELO DE CORRELACIÓN DE POZOS EN UN AMBIENTE DELTAICO LACUSTRINO. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA (GRÁFICO SUPERIOR), ASUMIENDO QUE NO EXISTE INCLINACIÓN EN LOS CUERPOS DE ARENA HACIA LA CUENCA, CORRELACIÓN CRONOESTRATIGRÁFICA (GRÁFICO INFERIOR) ASUMIENDO INCLINACIÓN HACIA LA CUENCA DE LOS CLINOFORMOS .....	36
FIGURA 3.8	FORMA DE LOS LÓBULOS EN DELTAS DOMINADOS POR RÍOS (IZQUIERDA) Y DELTAS DOMINADOS POR OLAS (DERECHA). DELTAS SIMÉTRICOS Y ASIMÉTRICOS PUEDEN SER IDENTIFICADOS .....	36
FIGURA 3.9	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE FLUJOS HIPERPÍCNICOS.....	38
FIGURA 3.10	FACIES SEDIMENTARIA QUE INDICA DEPOSITACIÓN DE FLUJO HIPERPÍCNICO DERIVADO DE UN RÍO A) INTERVALOS DE ARENA FINA CON LAMINACIÓN PLANA, B) CAPAS DE VARIACIÓN ENTRE ARENA FINA Y MEDIA, C) ALTERNANCIAS DE LAMINACIÓN DE RIPLES, PARALELA PLANA, D) ALTERNANCIAS DE LAMINACIÓN PLANA PARALELA CON ARENAS SIN ESTRUCTURAS .....	39
FIGURA 3.11	A) GEOMETRÍA DE LOS SEIS TIPOS DE DELTA DE COLEMAN Y WRIGHT (1975) PLOTEADOS EN LA CLASIFICACIÓN DE GALLOWAY (1975), B) ESQUEMA DE DELTAS DOMINADOS POR OLAS (1 Y 2), DOMINADO POR MAREA (3), DOMINADO POR RÍOS (4 Y 5) .....	40

FIGURA 3.12 ORGANIZACIÓN DE LAS DESEMBOCADURAS DELTAICAS DOMINADAS POR PROCESOS SEDIMENTARIOS FLUVIÁTILES .	41
FIGURA 3.13 ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN (LOAD CASTS) EN A) LUTITAS DE PRODELTA B) CAPAS DE ARENISCA DEFORMADA SOBREYACIDAS POR CAPAS LAMINADAS-PARALELAS A ONDULADAS DEL FRENTE DELTAICO .....	42
FIGURA 3.14 ILUSTRACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN DELTA DOMINADO POR MAREAS .....	42
FIGURA 3.15 SEDIMENTACIÓN TEÓRICA EN LA DESEMBOCADURA DE UN RÍO DOMINADO POR LAS MAREAS.....	43
FIGURA 3.16 ORGANIZACIÓN DE LA DESEMBOCADURA DE UN RÍO EN UNA COSTA DOMINADA POR EL OLEAJE, LAS OLAS PUEDEN LLEGAR PERPENDICULARMENTE A LA COSTA (A), U OBLICUAMENTE (B), INDUCIENDO UNA DERIVA CONTINENTAL.....	45
FIGURA 3.17 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN ESTUARIO SEGÚN DALRYMPLE ET AL., 1992 Y PRITCHARD, 1967 .....	46
FIGURA 3.18 1) ESTUARIOS DOMINADOS POR EL OLEAJE: A) VARIACIÓN DE LA ENERGÍA, B) DISTRIBUCIÓN DE FACIES EN PLANTA. 2) ESTUARIOS DOMINADOS POR MAREAS: A) VARIACIÓN DE ENERGÍA, B) DISTRIBUCIÓN DE FACIES EN PLANTA .....	47
FIGURA 3.19 ARQUITECTURA DEPOSICIONAL DEFINIDA POR LA EFLUENCIA DE SEDIMENTOS, SUBSIDENCIA Y EL NIVEL DEL MAR ...	50
FIGURA 3.20 PATRÓN DE APILAMIENTOS DE GRUPOS DE PARASECUENCIAS Y SU RESPUESTA ESQUEMÁTICA EN REGISTROS DE POZOS .....	51
FIGURA 3.21 TÍPICA SUCESIÓN DE FACIES CON GRANOCRECENCIA FORMADA COMO RESULTADO DE LA PROGRADACIÓN DE LÓBULOS DELTAICOS Y BARRAS DE DESEMBOCADURA.....	52
FIGURA 3.22 PROCESO DE LA PROGRADACIÓN DE UN DELTA. LAS LÍNEAS DE TIEMPO FORMAN CLINIFORMOS Y CORTAN LÍMITES DE FACIES PORQUE LAS FACIES MIGRAN HACIA EL MAR DURANTE LA PROGRADACIÓN .....	53
FIGURA 3.23 CARACTERÍSTICA DEL PERFIL DE LA PLATAFORMA DE LA CUENCA DURANTE LA CAÍDA EN LA RATA DE LA SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR .....	54
FIGURA 3.24 ARQUITECTURA DETALLADA DE LOS COTEJOS SEDIMENTARIOS Y LAS SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS EN LA ZONA DE TRANSICIÓN ENTRE AMBIENTES FLUVIAL Y MARINO SOMERO .....	55
FIGURA 4.1 REGISTROS ELÉCTRICOS DEL POZO P53 CORRELACIONADO CON LOS DATOS DE POROSIDAD, PERMEABILIDAD Y GAMMA RAY TOMADOS EN EL NÚCLEO. ....	58
FIGURA 4.2 MAPA ESTRUCTURAL DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL CON LA UBICACIÓN DE LOS POZOS Y SU DISTRIBUCIÓN EN 3D .....	59
FIGURA 4.3 DIAGRAMA GENERALIZADO QUE MUESTRA LAS RESPUESTAS DE RAYOS GR O DEL REGISTRO SP .....	61
FIGURA 4.4 CUBO SÍSMICO 3D, MOSTRANDO UNA LÍNEA INLINE Y OTRA CROSSLINE EN LA BASE DE M-1 PRINCIPAL .....	63
FIGURA 4.5 A) TOPE Y BASE DE LA CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA OBTENIDA POR INTERPOLACIÓN DE LOS RESULTADOS DE REGISTROS ELÉCTRICOS. B) TOPE Y BASE DE LA CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA OBTENIDA DE DATOS SÍSMICOS (RESULTADOS MÁS CONFIABLES) .....	64
FIGURA 5.1 ANÁLISIS DE LA SECCIÓN DELGADA DEL POZO P53 A 6599.75FT .....	67
FIGURA 5.2 ANÁLISIS DE LA SECCIÓN DELGADA DEL POZO P87 A 6913.15FT .....	68
FIGURA 5.3 UBICACIÓN DE LOS POZOS CON NÚCLEO .....	70
FIGURA 5.4 COLUMNA INDICANDO LA SEDIMENTOLOGÍA DE LA ARENISCA M-1 EN EL POZO P53) .....	71
FIGURA 5.5 COLUMNA INDICANDO LA SEDIMENTOLOGÍA DE LA ARENISCA M-1 EN EL POZO P87 .....	72
FIGURA 5.6 REGISTROS ELÉCTRICOS DEL POZO P53 DIVIDIDO EN LAS DOS FACIES SEDIMENTARIAS ESTABLECIDAS .....	74
FIGURA 5.7 REGISTROS ELÉCTRICOS DEL POZO P87 DIVIDIDO EN LAS DOS FACIES SEDIMENTARIAS ESTABLECIDAS .....	77
FIGURA 5.8 CROSSPLOT K vs TH PARA A) POZO P53, B) POZO P87.....	78
FIGURA 5.9 CROSSPLOT TH/U vs TH/K PARA A) POZO P53, B) POZO P87 .....	79
FIGURA 5.10 CROSSPLOT TH/U vs PROFUNDIDAD.....	80
FIGURA 5.11 SISTEMA DELTAICO (ANÁLOGO) TOMADO DE RIDER (2000) COMPARADO CON LO POZOS P53 Y P87.....	81
FIGURA 5.12 ARENISCA M1 DONDE SE OBSERVA LAS SECUENCIAS PROGRADANTES .....	82
FIGURA 5.13 REGISTRO GAMMA RAY, RESISTIVIDAD Y DENSIDAD-NEUTRÓN DE LA ARENISCA M-1 DONDE SE OBSERVA LA CAOLINITA QUE AFECTA A LA LECTURA DE LOS REGISTROS .....	83
FIGURA 5.14 MAPA UBICACIÓN DE LOS POZOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS ELECTROFACIES .....	85
FIGURA 5.15 A) CORRELACIÓN DE ELECTROFACIES RELACIONADAS AL CAMPO, B) ELECTROFACIES DEL CAMPO DE ESTUDIO MODIFICADO DE NICHOLS (2009).....	86
FIGURA 5.16 PROGRADACIÓN DELTAICA .....	87

FIGURA 5.17 CORTES ESTRATIGRÁFICOS REALIZADOS EN EL CAMPO .....	89
FIGURA 5.18 CORTE A-B: A) MAPA DE AMPLITUD DE LA ARENA M1 RINCIPAL DONDE SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL CORTE N-S. B) CORRELACIÓN ESTRUCTURAL HORIZONTALIZADO EN LA LUTITA M1 MOSTRANDO EL ESPESOR DE LA ARENISCA M1 .....	90
FIGURA 5.19 CORTE C-D: A) MAPA DE AMPLITUD DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL DONDE SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL CORTE N-S. B) CORRELACIÓN ESTRUCTURAL HORIZONTALIZADO EN LA LUTITA M-1 MOSTRANDO EL ESPESOR DE LA ARENISCA M-1 .....	91
FIGURA 5.20 CORTE E-F: A) MAPA DE AMPLITUD DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL DONDE SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL CORTE NO-SE. B) CORRELACIÓN ESTRUCTURAL HORIZONTALIZADO EN LA LUTITA M-1 MOSTRANDO EL ESPESOR DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL .....	92
FIGURA 5.21 CORTE N-O: A) MAPA DE AMPLITUD DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL DONDE SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL CORTE NE-SO. B) CORRELACIÓN ESTRUCTURAL HORIZONTALIZADO EN LA LUTITA M-1 MOSTRANDO EL ESPESOR DE LA ARENISCA M-1 .....	93
FIGURA 5.22 CORTE R-S: A) MAPA DE AMPLITUD DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL DONDE SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL CORTE NE-SO. B) CORRELACIÓN ESTRUCTURAL HORIZONTALIZADO EN LA LUTITA M-1 MOSTRANDO EL ESPESOR DE LA ARENISCA M-1.....	94
FIGURA 5.23 CORTE T-U: A) MAPA DE AMPLITUD DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL DONDE SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL CORTE NE-SO. B) CORRELACIÓN ESTRUCTURAL HORIZONTALIZADO EN LA LUTITA M1 MOSTRANDO EL ESPESOR DE LA ARENISCA M-1.....	95
FIGURA 5.24 CORTE I-J: A) MAPA DE AMPLITUD DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL DONDE SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL CORTE NE-SO. B) CORRELACIÓN ESTRUCTURAL HORIZONTALIZADO EN LA LUTITA M-1 MOSTRANDO EL ESPESOR DE LA ARENISCA M-1.....	96
FIGURA 5.25 A) MAPA ESTRUCTURAL DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL CORTANDO POR UNA LÍNEA SÍSMICA NO-SE, DONDE SE OBSERVA EL ANTICLINAL. B) LÍNEA SÍSMICA DONDE SE OBSERVA LAS FALLAS DEL CAMPO.....	98
FIGURA 5.26 MAPA ESTRUCTURAL EN PROFUNDIDAD DE LA BASE DE LA ARENISCA M-1.....	99
FIGURA 5.27 MAPA ESTRUCTURAL EN PROFUNDIDAD DEL TOPE DE LA ARENISCA M-1 .....	100
FIGURA 5.28 MAPA ISÓPACO DE LA ARENISCA M-1 .....	101
FIGURA 5.29 MAPA DE LA BASE DE LA ARENISCA M-1 MOSTRANDO LA UBICACIÓN DEL CORTE DE LA LÍNEA SÍSMICA PARA EL ANÁLISIS DE LA FALLA .....	102
FIGURA 5.30 ANÁLISIS DE LA FALLA UBICADA AL OESTE DEL CAMPO.....	103
FIGURA 5.31 ANÁLISIS GENERAL DE LA FALLA.....	104
FIGURA 5.32 DIAGRAMA DE LA FALLA SINSEDIMENTARIA .....	105
FIGURA 5.33 LÍNEA SÍSMICA HORIZONTALIZADA EN LA LUTITA M-1 MOSTRANDO LOS CUERPOS DE ARENA QUE SE FORMA DENTRO DE LA ARENISCA M-1 .....	106
FIGURA 5.34 MODELO ESQUEMÁTICO PARA LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL (TOMADO DE BHATTACHARYA, 2009).....	107
FIGURA 5.35 SÍSMICA DONDE SE OBSERVA LA DISMINUCIÓN DE LA ARENA EN LA DIRECCIÓN NE-SO .....	108
FIGURA 5.36 MAPA DE LA BASE DE LA ARENISCA M-1 MOSTRANDO LA UBICACIÓN DE LOS POZOS QUE POSEEN DATOS DE PRESIÓN EN LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL.....	109
FIGURA 5.37 GRÁFICO DE PRESIÓN VS PROFUNDIDAD DE LA ARENISCA M-1 PRINCIPAL MOSTRANDO LA VARIABILIDAD EN LAS PRESIONES.....	110
FIGURA 5.38 MAPA DE LA BASE DE LA ARENISCA M-1 MOSTRANDO LA UBICACIÓN DE LOS POZOS QUE POSEEN DATOS DE PRESIÓN EN LA ARENISCA M-1 SUPERIOR .....	111
FIGURA 5.39 GRÁFICO DE PRESIÓN VS PROFUNDIDAD DE LA ARENISCA M-1 SUPERIOR.....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE REGISTRO EN FUNCIÓN DE SUS APLICACIONES.....	21
TABLA 3.2 INFERENCIAS GEOLÓGICAS DE LOS DATOS DE LOS RAYOS GAMMA.....	24
TABLA 5.1 ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LA ARENISCA M1 DEL POZO P53.....	66
TABLA 5.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LA ARENISCA M1 DEL POZO P87.....	68
TABLA 5.3 SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS DEL POZO P53.....	75

## RESUMEN

El proyecto de titulación “ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN GEOLÓGICA DEL MIEMBRO M-1 DE LA FORMACIÓN NAPO Y SU AFECTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CRUDO, EN UN CAMPO EN EL NORESTE DEL ORIENTE ECUATORIANO”, se generó con la finalidad de conocer la geometría de los depósitos que componen la Arenisca M-1 y su relación con la falla ubicada al oeste del área.

Para alcanzar los objetivos planteados se procedió a obtener las bases y topes de las Arenas M-1 lo que permitió realizar los mapas de espesores de las arenas. Los mapas permiten observar la dirección de la depositación NE-SO, la fuente de aporte sedimentario ubicada al Noreste y el contenido de arcilla mayor hacia el Oeste.

Adicionalmente, se distinguió las arenas con contenido de caolinita que fueron analizadas con los datos de gamma ray espectral y entregaron evidencia de acción de agua dulce con agua marina en los pozos cercanos a la línea de costa.

La dirección de la depositación de la Areniscas M-1 se comprobó con ayuda de la sísmica y se observó un anticlinal el cual se encuentra limitado al oeste por una zona de falla. El análisis de la falla permitió verificar que la misma es posterior a la depositación de la Arenisca M-1.

Con ayuda del proceso de flattening se ubicó al horizonte Lutita M-1 el mismo que representa un marcador de tiempo y se obtuvo líneas sísmicas horizontalizadas para visualizar con mayor claridad a las arenas antes del fallamiento; además, se observó cuerpos irregulares de arena formando cliniformos cubiertos por lutitas que sirven de capa sello.

Finalmente, para constatar este resultado se plotearon datos de presiones de pozos de la Arenisca M-1 cercanos y se obtuvo como resultado presiones diferentes que determinan la no conectividad hidráulica.

## ABSTRACT

The final degree project “GEOLOGICAL SETTING STUDY OF NAPO FORMATION M-1 MEMBER AND ITS AFECCATION IN CRUDE OIL PRODUCTION, IN A FIELD LOCATED IN THE NORTHEAST OF ECUADOR ORIENTE REGION”, was generated in order to recognize the deposits that comprise M-1 Sandstone and its relation with the fault located west of the study area.

To achieve the proposed objectives in this study, the bases and tops of M1 sandstone were determined in all wells this allowed to create sandstone thickness maps and identify the main stratigraphic marks. These maps displayed a NE-SO deposition direction, a sediment supply source located in the northeast. High clay content toward the west is remarkable.

The L marker was used as a regional stratigraphic marker; consequently this horizon served as a datum for flattening the seismic lines and observing the geometry of the M1 reservoir. Furthermore, clinoforms geometries were identified, which proved the progradational origin of the M1 sandstone.

In addition, kaolinite sandstones were distinguished with gamma ray spectral data and displayed salt and fresh water coexistence in the wells near the shoreline.

The geometry of M1 sandstone deposition was proved with seismic, and it also revealed the presence of an antiform which is limited by a fault zone to the western. Moreover, it is evident that the fault was formed subsequent to the sandstone deposition.

Finally, to confirm this result, pressure data of the M reservoir obtained from nearby wells were plotted to identify pressure within the reservoir, which are interpreted as compartmentalization of the M1 reservoir, typical of deltaic reservoirs.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS

El área de estudio tiene una extensión aproximada de 80 Km<sup>2</sup> y cuenta con información de 220 registros eléctricos, de ellos 158 idóneos para el estudio.

El proyecto surge como un requerimiento de la empresa Schlumberger del Ecuador S.A, donde se pretende elaborar una configuración geológica, integrando toda la información del Miembro Arenisca M-1 en el área de estudio y reconocer el ambiente de depositación de las mismas. Este análisis se realiza con el propósito de obtener una caracterización detallada de los cuerpos sedimentarios que componen la Arenisca M-1, conocer la geometría de los depósitos para explicar de esta manera como la disposición de las arenas está afectando la conectividad vertical y lateral de las facies que controlan la acumulación de los hidrocarburos. Uno de los objetivos finales de este proyecto es mostrar que los reservorios no son sábanas de arena, además, que la ausencia de arena no es necesariamente debido a erosión tectónica, sino a cambios laterales de facies, que es típico de ambientes costeros, como deltas, en este caso.

Este análisis permitirá apoyar la explotación del yacimiento y predecir la ubicación de otras acumulaciones no descubiertas todavía, con lo que se intenta mejorar la investigación y futuro desarrollo dentro del campo.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio de la configuración geológica y geométrica del Miembro Arenisca M-1 de la Formación Napo de un campo petrolífero ubicado en el Noreste de la cuenca oriente ecuatoriana, además de entender como la configuración geológica del campo afecta la producción de crudo.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Utilizar como base los registros de los pozos, para realizar correlaciones estratigráficas detalladas y poder identificar los distintos cuerpos que componen la Arenisca M-1
- Construir mapas de espesores para analizar tendencias en la depositación, la geometría de los depósitos y su significado geológico
- Correlacionar los mapas de espesores con lo visto en atributos sísmicos para tener una visión más completa y poder comparar con modelos conceptuales de ambientes de depositación y ambientes recientes establecidos en estudios anteriores.
- Identificar litofacies y las variaciones verticales y laterales presentes en la Arenisca M-1 de la Formación Napo, en el área de estudio y analizar las implicaciones en el entrapamiento de hidrocarburos
- Reconstruir la estratigrafía y mapas estructurales al tope y base de la Arenisca M-1 con el datum de un marcador regional, para poder analizar si existe o no influencia de la falla ubicada al oeste del área de estudio al momento de la depositación de la misma
- Documentar integrando en forma coherente todo lo analizado, para obtener el modelo geológico del Miembro Arenisca M-1 que permita entender el entrapamiento y distribución de los fluidos presentes en el yacimiento.

### **1.3 ALCANCE**

El objetivo principal es seguir un flujo de trabajo integrado, para obtener el modelo geológico del Miembro Arenisca M-1. Iniciando con la recopilación de información que incluya la revisión de informes previos del área de estudio y de la historia de la Cuenca en general. Una de las fuentes más importantes de información son los registros eléctricos de los pozos, los cuales permitirán realizar una correlación detallada de los cuerpos que componen el Miembro Arenisca M-1. Así mismo, se va a relacionar la forma de las curvas con facies sedimentarias, teniendo en cuenta la información de núcleos y el modelo sedimentológico establecido en



estudios anteriores.

La construcción de mapas de espesores permitirá ver tendencias, como direcciones de deposición y esto se integrará con atributos sísmicos para entender y tener una visión más general del ambiente de depositación. Dentro del área de estudio se definirá la geometría de los distintos cuerpos que componen la Arenisca M-1, como está encaja dentro del ambiente de depositación y si estos han sido depositados contemporáneamente con la falla ubicada al oeste del área. Además se analizará la calidad de las facies que componen dichos cuerpos, para entender sus implicaciones dentro de la distribución de los fluidos del yacimiento.

Teniendo en cuenta que en el área de estudio, se observa que la acumulación de hidrocarburos en la Arenisca M-1 tiene un importante componente estratigráfico. El objetivo final del presente estudio es construir un modelo geológico que permita comprender como fue el entrapamiento de los hidrocarburos en la Arenisca M-1. De esta manera se definirá cuales cuerpos están hidráulicamente comunicados entre sí, y cuales no lo están, formando posibles compartimientos de hidrocarburos y cuáles facies son sellos para la acumulación.

## **1.4 METODOLOGÍA Y MATERIAL UTILIZADO**

### **1.4.1 METODOLOGÍA**

Para construir una caracterización geológica que explique en forma coherente el entrapamiento y distribución de fluidos en la Arenisca M-1 en el área de estudio, se seguirá la siguiente metodología:

- Recopilación bibliográfica de la información disponible.
- Recolección de la información técnica específica disponible.
- Interpretación de registros de pozos.
- Correlaciones estratigráficas detalladas, basada en los registros de pozos integrado con la información de núcleos disponible.
- Construcción de mapa de espesores y análisis de las tendencias en relación con el modelo regional.

- Construcción de mapas estructurales teniendo en cuenta la interpretación sísmica disponible y como la configuración estructural actual se relaciona con la evolución tectónica regional. Teniendo en cuenta la relación que tiene la Arenisca M-1 con la falla ubicada al Oeste del área de estudio al momento de la depositación
- Integración de toda la información para tener una caracterización geológica consistente con la distribución de fluidos original y actual

#### **1.4.2 MATERIAL UTILIZADO**

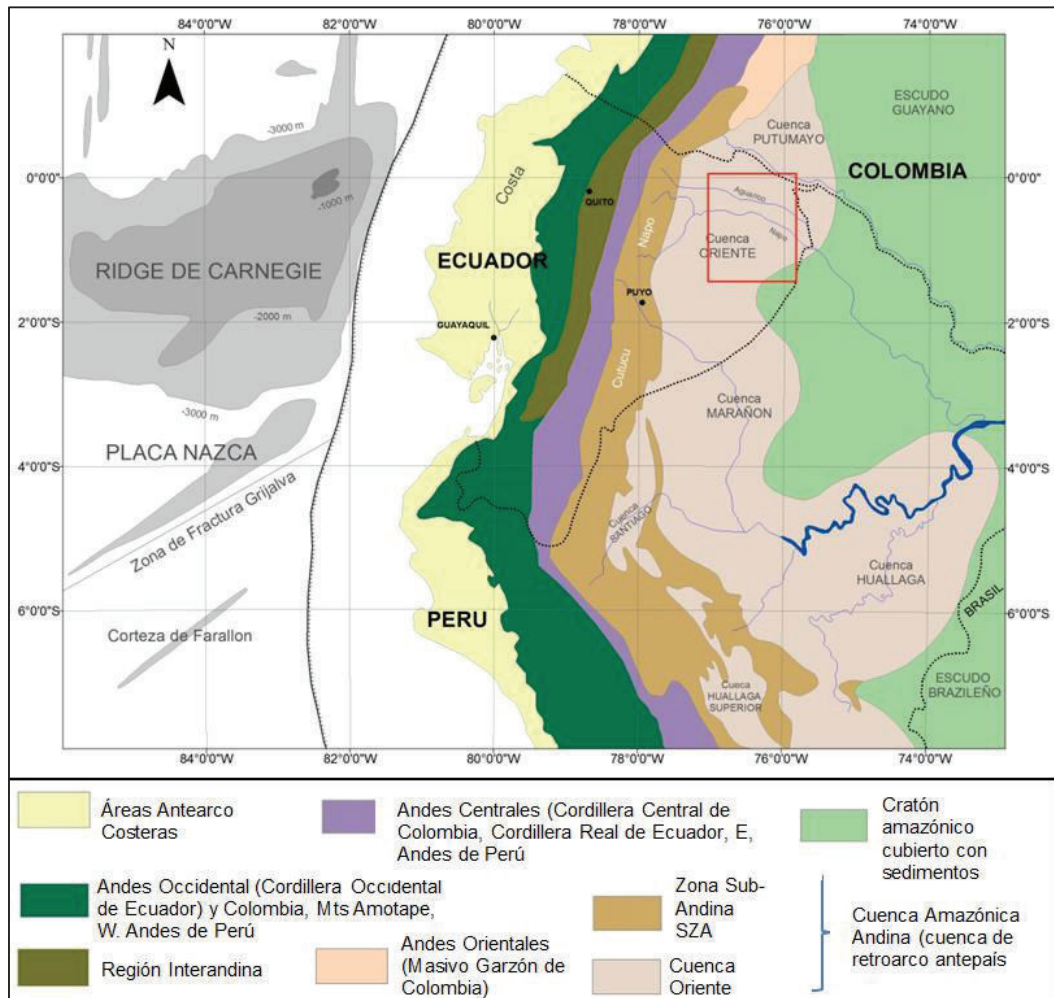
- Registros eléctricos de 220 pozos, de los cuales se consideraron sólo 158 de ellos idóneos para los análisis. Los 62 restantes fueron desechados, por tratarse de:
  - 16 pozos donde los registros eléctricos no llegan hasta M1
  - 10 pozos sin registros eléctricos
  - 36 pozos donde los registros eléctricos están incompletos y no ayudan al análisis
- Análisis de dos núcleos :
  - Para el pozo P53 se adquirió una profundidad de investigación de 62 pies, pertenecientes a la Arenisca M1
  - Para el pozo P87 se adquirió una profundidad de investigación de 59 pies, pertenecientes a la Arenisca M1
- Registros gamma ray espectral de los núcleos P53 y P87.
- Cubo sísmico que cubre una extensión aproximada de 80 Km<sup>2</sup>, dentro del área de estudio
- Informes y publicaciones realizados por técnicos de PETROPRODUCCIÓN
- Software: PETREL, ArcGis

#### **1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La Cuenca Oriente se encuentra ubicada en los Andes Septentrionales en la parte oriental del Ecuador (al este de la Cordillera de Los Andes), al este de Sudamérica, es una cuenca de ante-país que abarca un área aproximada de 100000 km<sup>2</sup>. Comprende la región subandina en la parte occidental y la llanura

amazónica en la parte oriental. Se extiende hacia el Norte a Colombia, donde se la conoce como Cuenca Putumayo, mientras que en Perú al Sur, se la conoce como Cuenca Marañón. Tectónicamente forma parte de una gran provincia geológica petrolera. La Cuenca Oriente forma parte de un sistema de cuencas subandinas que se extienden de Norte a Sur desde Venezuela hasta Argentina. Figura 1.1

El área de estudio se ubica en el Noreste de la Cuenca Oriente.



**Figura 1.1** Mapa esquemático de ubicación  
(Modificado de Gombojav y Winkler, 2008)

## CAPÍTULO 2

### GEOLOGÍA DE LA CUENCA ORIENTE

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

La Cuenca Oriente es una cuenca de ante-país de tras-arco que forma parte de una cadena de cuencas desarrolladas ampliamente desde Venezuela hasta Argentina entre la Cordillera de los Andes y el cratón Guayano-Brasileño (Faucher y Savoyat, 1973). Se encuentra en la parte oriental del Ecuador y pertenece a la Provincia Geológica-Petrolera Putumayo – Oriente – Marañón. La Cuenca Oriente es fuertemente asimétrica hacia el oeste y con una inclinación suave hacia el flanco este. El eje de la cuenca es aproximadamente N-S, el depocentro está localizado en el Perú donde se presentan espesores de hasta 5000m en sedimentos Terciarios y Cretácicos, (Young, 1996 en Villalba, 2006)

La Cuenca Oriente está estructurada como resultado de esfuerzos transpresivos a partir del Cretácico superior, los que provocan la inversión tectónica de antiguas fallas normales, ligadas a un sistema de rift de edad Triásico y/o Jurásico inferior (Baby et al., 1998). Esta deformación favorece a la formación de la cuenca de tras arco y la emersión de la Cordillera Real en la parte occidental del Oriente. Los esfuerzos compresivos se iniciaron probablemente a partir del Campaneano y marcan la inversión tectónica y formación de estructuras petrolíferas con características propias, ahora limitadas por fallas orientadas principalmente N-S o NNE-SSO que involucran a la zona Subandina (Play Occidental), al Corredor Central Sacha-Shushufindi (Play Central) y al Sistema Invertido Capirón-Tiputini (Play Oriental) (Baby et al., 2004). La evolución geodinámica del Cretácico tardío – Terciario temprano de los Andes del Norte está ligada a la ruptura de la Placa Farallón en la Placa Nazca y la Placa Cocos y al cambio del vector de subducción en la fosa de Ecuador de E-NE a E. La deformación de la Cuenca Oriente y de todo el margen de los Andes del Norte es de ~72Ma (Spiking et al., 2001).

El análisis de las estructuras petrolíferas y no petrolíferas ha permitido identificar tres etapas de inversión tectónica, presentes a partir del Turoniano, después de la depositación de la Caliza A (Baby et al., 2004).

Las rocas precretácicas del relleno sedimentario sobreyacen al cratón guayanés y fueron depositadas en varios ambientes que van desde plataforma marina (Fm. Pumbuiza), mar epicontinental (Fm. Macuma) y sedimentos continentales de clima desértico (Fms. Chapiza, Yaupi, Misahuallí) (Baby et al., 2004).

El relleno cretácico (Fms. Napo, Hollín y Basal Tena) poseen características definidas dentro de una estratigrafía secuencial (sedimentos marinos, continentales clásticos y carbonatados) (White et al., 1995). Sus miembros clásticos indican variaciones eutásticas ocurrida a escala global durante el periodo comprendido entre el Aptiano y el Maastrichtiano. Durante el Cretácico se produce una transgresión marina que transformó la Cuenca Oriente en una cuenca marina somera. El Levantamiento de la Cordillera Andina, convirtió a esta cuenca marina en una cuenca de ante-país

La sedimentación a finales del cretácico hasta la actualidad es predominantemente de tipo continental, aunque existe una importante inundación marina durante el Oligoceno Inferior (Fm Orteguzza) (Christophoul et al., 2004). Facies continentales están representadas por las formaciones Tena, Tiyuyacu, Orteguzza, Chalcana, Arajuno, Chambira, Mesa y Mera.

## **2.2 ESTRATIGRAFÍA DEL CRETÁCICO**

### **2.2.1 FORMACIÓN HOLLÍN**

La edad corresponde al Aptiano Medio en la base y Albiano Inferior Superior a Albiano Medio Superior al tope.

Ha sido dividida en dos unidades, la Unidad Hollin Principal en un ambiente de depositación continental y la Unidad Hollin Superior, definida en un ambiente marino litoral a plataforma marino somera. Jaillard et al., (1997) integra la última unidad a la Formación Napo denominándola Arenisca Basal, en cuyo tope se localizan depósitos transgresivos de calizas micríticas y margas llamados Caliza C (Figura 2.1).

Por otro lado, Villagómez (1995) divide a esta formación en los miembros:

- a) ***Arena Inferior (Basal)***: de edad Aptiano Inferior, que corresponde a una arenisca conglomerática (Canfield et al., 1982). Se la reconoce en registros eléctricos por presentar un reservorio de agua salada de baja resistividad (Villagómez, 1995), se encuentra únicamente en el relleno sedimentario de un conjunto de valles incisos
- b) ***Arena Principal (Inferior)***: de edad Aptiano Superior – Albiano Inferior, es una serie de areniscas cuarzosas. Estas arenas provienen del Escudo Guayanés (Jaillard et al., 1997; Shanmugan et al., 2000)
- c) ***Arenisca Superior***: de edad Albiano Medio-Superior (Ordoñez et al., 2006). Está constituida por areniscas cuarzo-glauconíticas, margas, lutitas y calizas (White et al., 1995). La parte inferior de tipo clástico, de playa-deltaico-estuarino cubierto por facies de plataforma marina somera, donde la depositación de sedimentos transgresivos ocurrió de oeste a este sobre la zona subandina y a través de la Cuenca Oriente. Llegando así a la conclusión que el Miembro Hollín Superior representa los depósitos de sistemas transgresivos (TST) (Barragán et al., 2014)

La parte basal corresponde a un ambiente de estuario y fluvial distal (Shanmugan et al., 2000). El Miembro Inferior corresponde a depósitos de llanura de inundación aluvial y depósitos fluviales de tipo entrelazado (braided), planicie costera y plataforma marina poco profunda (Toro, 1997; White et al., 1995), y la procedencia de sedimentos estaría asociada al cratón Guayano-Brasileño (White et al., 1997; Toro, 1995; Shanmugan et al., 2000). El Miembro Superior se diferencia de Hollín Inferior por sus características marinas (Tschopp, 1953; Bristow et al., 1977; Jaillard, 1997).

La formación Hollín forma un importante reservorio de rocas en los campos petroleros del Nororiente ecuatoriano (Jaillard, 1997) y descansa en discordancia angular o paraconcordancia sobre las formaciones jurásicas Chapiza y Misahuallí (Baldock, 1982) y sobre las formaciones paleozoicas Macuma y Pumbuiza.

### 2.2.2 FORMACIÓN NAPO

Fue definido por Watson y Sinclair en 1927. Sobreyace en concordancia sobre el sustrato pre-Cretácico, esta formación es fácilmente reconocida en sísmica por la presencia de reflectores fuertes que corresponden a niveles de calizas (Jaillard et al., 1997; Rivadeneira et al., 1999). Se caracteriza por ser una formación heterolítica definida por una alternancia de areniscas cuarzosas, a veces, glauconíticas, calizas bioclásticas, bioturbadas y no bioturbadas, lutitas laminadas y margas depositadas en una plataforma marina somera (Tschoop, 1953; Faucher y Savoyat, 1973; Bristow y Hoffstetter, 1977; Canfield et al, 1982). La edad de esta formación es Albiano Inferior – Cretácico Tardío (Jaillard et al., 1997)

La Formación Napo se ha dividido en miembros que se describen a continuación:

- **Lutita Napo Basal** (Albiano Superior, Vallejo et al., 2002)

Secuencia de lutitas ricas en materia orgánica, intercaladas con calizas, de ambiente de plataforma marina abierta. A lo largo de la cuenca las Lutitas Napo Basal pasan lateralmente a calizas, hacia el este (White et al., 1995). Las lutitas son laminadas, negras y ricas en ammonites y bivalvos en la base. La parte superior constituye una buena línea de tiempo de edad del Albiano Superior (Jaillard et al., 1997). Presentan un ambiente de depositación de playa y de plataforma marina abierta (White et al., 1995). Constituye una nueva secuencia de transgresión que alcanzó rápidamente un máximo de inundación y seguida por una evolución regresiva.

- **Caliza “C”** (Albiano Superior, Vallejo et al., 2002)

Formada por calizas masivas y lutitas negras con presencia de glauconita y fosfatos. Atribuido a un ambiente marino confinado (Jaillard et al., 1997).

- **Calizas “T”** (Albiano Superior, Jaillard et al., 1997)

Alternancia de margas y calizas arenosas y glauconíticas, fosilíferas y bioturbadas (Jaillard et al., 1997). El cuarzo y la glauconita son más abundantes hacia arriba.

En conjunto el predominio de calizas, la fauna diversificada y las bioturbaciones indican un medio de plataforma carbonatada somera y abierta. Se encuentra al Oeste y Sur de la cuenca. Hacia el Este, es probable que pasen lateralmente a formar parte de las Areniscas T.

- **Arenisca “T”** (Albiano Superior, Jaillard et al., 1997; Ordoñez et al., 2006)

Marca un nuevo estado de depositación conocida como zona Arenisca T, esta subdividida en tres miembros (White et al., 1997):

- **Arenisca “T” Basal:** Alternancia de margas y calizas arenosas glauconíticas, fosilíferas y bioturbadas (Jaillard et al., 1997). Lutitas marinas y areniscas glauconíticas dominan la parte central y oeste de la cuenca, mientras que en la parte este son principalmente bancos de arenas. En la parte oeste es una depositación en plataforma marina de baja energía mientras que al este son principalmente ambientes de planicie costera y playa.
- **Arenisca “T” Inferior:** Areniscas de grano fino hasta conglomerático, atribuidas a canales de marea, deltas, bancos de marea, y canales fluviales (White et al., 1997)
- **Arenisca “T” Superior:** Areniscas de grano fino a medio y localmente se encuentran areniscas de grano grueso con lutitas de ambientes de plataforma marino abierto, estuario, canales de marea y bancos marinos glauconíticos (White et al., 1997)

- **Caliza “B”** (Albiano Superior-Cenomaniano Inferior, Ordóñez et al., 2006)

La parte inferior empieza con una secuencia de calizas, lutitas y limolitas negras, la parte media está constituida por calizas densas fosilíferas y glauconíticas, y la parte superior son lutitas negras intercaladas con bancos delgados de caliza margosa (Jaillard et al., 1997), están presentes nódulos de piritita y caliza margosa. Estas facies son típicas de un ambiente de plataforma marino restringido de baja energía y anóxico (Jaillard et al., 1997). Hacia el lado este de la cuenca se aprecia un cambio lateral de facies conocido como Miembro Arenisca “B” (Vaca,



2004). Expresan un medio de plataforma muy somera, abierta, de buena energía, probablemente costero (influencias terrígenas), y un ambiente transgresivo.

- **Lutitas “U”** (Cenomaniano Inferior, Jaillard et al., 1997)

Son lutitas negras, poco calcáreas e incluso no calcáreas, cambiando progresivamente a areniscas finas glauconíticas, lutitas calcáreas y escasos bivalvos que indican somerización hacia arriba (Jaillard et al., 1997). Se desarrolla principalmente en la zona subandina y en la parte central de la cuenca Oriente, es de medio marino anóxico de baja energía (White et al., 1995; Jaillard et al., 1997). La base de las Lutitas “U” representan un máximo de transgresión mayor, de edad Albiano terminal o más probablemente Cenomaniano Inferior (Yuquilema, 2010).

- **Caliza “U”** (Cenomaniano Inferior a Medio, Jaillard et al., 1997)

Constituyen bancos gruesos de calizas fosilíferas, bioturbadas, arenosas y glauconíticas alternadas con areniscas glauconíticas de grano fino, lutitas y limolitas (Jaillard et al., 1997). El ambiente de depositación es anóxico de baja energía.

- **Arenisca “U”** (Cenomaniano Medio a Superior, Vallejo et al., 2002)

Esta subdividida en dos miembros (White et al., 1995):

- ***Arena “U” Inferior (Arenisca “U” Principal)***: Areniscas cuarzosas con estratificación cruzada y laminación planar de grano medio a fino, formando una secuencia estrato y grano decreciente, que desaparece al Oeste para formar una secuencia carbonatada con calizas fosilíferas, bioturbadas, arenosas y glauconíticas que se intercalan con lutitas o limolitas y areniscas glauconíticas de grano fino (Jaillard, 1997). Representan depósitos de canales de marea hacia el oeste y ambiente fluvial hacia el este de la cuenca (Barragán, 2005).
- ***Arenisca “U” Superior***: Areniscas glauconíticas de grano fino bioturbadas con cemento calcáreo intercaladas con lutitas y calizas, depositadas en transgresión marina en una plataforma marina somera,

somerizando hacia el este a ambientes de estuario, y planicie costera (White et al., 1995)

- **Caliza “A”** (Turoniano Inferior Terminal –Turoniano Medio, Jaillard et al., 1997; Vallejo, 2002)

Depositada al tope del ciclo U, corresponde a un depósito de plataforma carbonatada abierta somera de baja energía (Jaillard et al., 1997).

Ha sido dividida en tres miembros (White et al., 1995; Gaibor, 2001):

- **Miembro Inferior:** Calizas micríticas a veces laminadas, areniscas calcáreas claras y oscuras, masivas y laminadas, poco o nada bioturbadas, con abundantes cherts negros y restos de peces, escasos bivalvos y localmente abundantes ammonites. La caliza presenta silicificación, contiene abundante pirita y poco o nada de glauconita (Gaibor, 2001), tipifican un ambiente de plataforma carbonatada interna a mediana. Ambiente submareal de baja energía (Jaillard et al., 1997)
- **Miembro Medio:** Calizas arenosas interestratificadas con lutitas (White et al., 1995), representan una sección condensada asociada a un máximo de inundación (Barragán, 2005)
- **Miembro Superior:** Calizas masivas con bancos delgados de margas a la base, se diferencian del miembro anterior por la abundancia de bioturbaciones y alto contenido de ammonites y bivalvos. Al tope abundan los cantos fosfáticos y niveles levemente arenosos y glauconíticos (Gaibor, 2001). La presencia y abundancia de cantos fosfáticos hacia el tope indican que es un depósito de baja energía y de mar abierto (Jaillard et al., 1997)

- **Arenisca “M-2”** (Turoniano Superior?, Jaillard et al., 1997; Ordóñez, 2006).

Sucesión de arenas muy finas separadas por intercalaciones delgadas de lutitas calcáreas en el este (White et al., 1995) y pasa hacia el oeste de la cuenca

lateralmente a margas arenosas y glauconíticas que al tope terminan con niveles de calizas (Jaillard et al., 1997), corresponden a arenas depositadas de plataforma carbonatada abierta somera de baja energía (Jaillard et al., 1997). Representa un episodio regresivo de menor significado (Dashwood et al., 1990).

- **Caliza “M-2”** (Turoniano Superior a Coniaciano Inferior, Vallejo et al., 2002)

Son calizas fosilíferas intercaladas con lutitas (White et al., 1995), constituida de calizas margosas fosilíferas bioturbadas en la parte superior, y marcado el tope por una superficie ferruginosa irregular de erosión (Jaillard et al., 1997). Los depósitos corresponden a una plataforma marina de baja energía en la base y pasa a un medio más abierto y somero hacia el techo (Jaillard et al., 1997).

- **Caliza “M-1”** (Coniaciano Inferior, Jaillard et al., 1997, Coniaciano-Santoniano según Ordóñez et al., 2006).

La parte inferior comprende a un cuerpo homogéneo lutítico, rico en materia orgánica representa un medio de plataforma anóxica carbonatada, mientras que la parte superior son calizas mudstones y packstone intercalados con estratos finos de lutita gris y negra, calcárea de plataforma anóxica restringida.

- **Lutita “M-1”** (Santoniano-Campaniano Inferior, Vallejo et al., 2002)

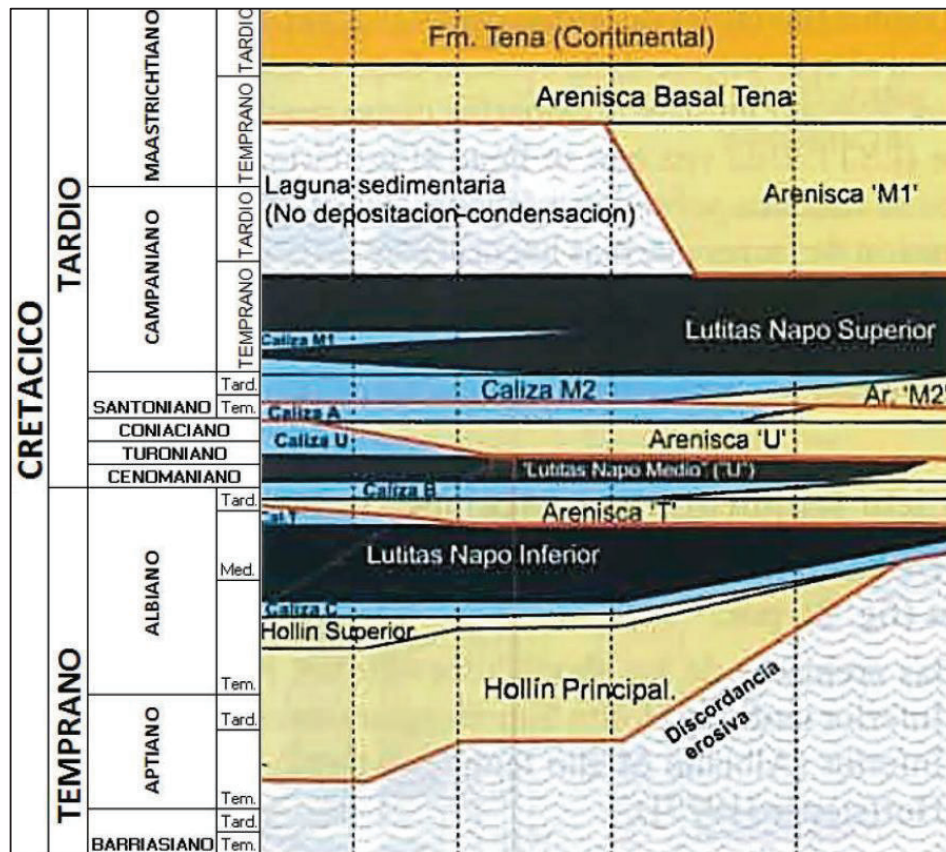
La parte basal está compuesta de lutitas grises y negras, no calcáreas de plataforma carbonatada externa de medio abierto, hacia arriba se encuentran intercalaciones de caliza oolítica con lutitas calcáreas, y finaliza con un cuerpo de lutitas no calcáreas, intercaladas con calizas y lutitas calcáreas, micropiríticas, de un medio marino abierto a somero (Zambrano, 2004). En la base se encuentra el Marcador “L”, que constituye un marcador radioactivo, que corresponde a un máximo de inundación del ciclo anterior a M1.

- **Limolita “M-1”** (Campaniano Inferior a medio, Raynaud et al., 1993)

Corresponden a las areniscas basales M1 definidas por Raynaud et al., 1993, compuestas principalmente por intercalaciones de lutitas y estratos de arena de planicie tidal y arenosa, a veces lentes de carbonato. (Raynaud et al., 1993 en Jaillard, 1997). Fue depositada en una plataforma lodosa clástica somera de baja energía (Raynaud et al., 1993 en Jaillard, 1997)

- **Arenisca "M-1"** (Campaniano Medio-Superior, Raynaud et al., 1993 en Ramírez, 2007)

Se desarrolla en la parte este de la Cuenca Oriente, estando ausente al oeste (Rivadeneira et al., 1995, Barragán et al., 2005), compuesta por areniscas masivas, gruesas, frecuentemente micro-conglomeráticas a la base, con escasas intercalaciones de lutitas. Es frecuente la estratificación cruzada tabular. (Rivadeneira et al., 1995).

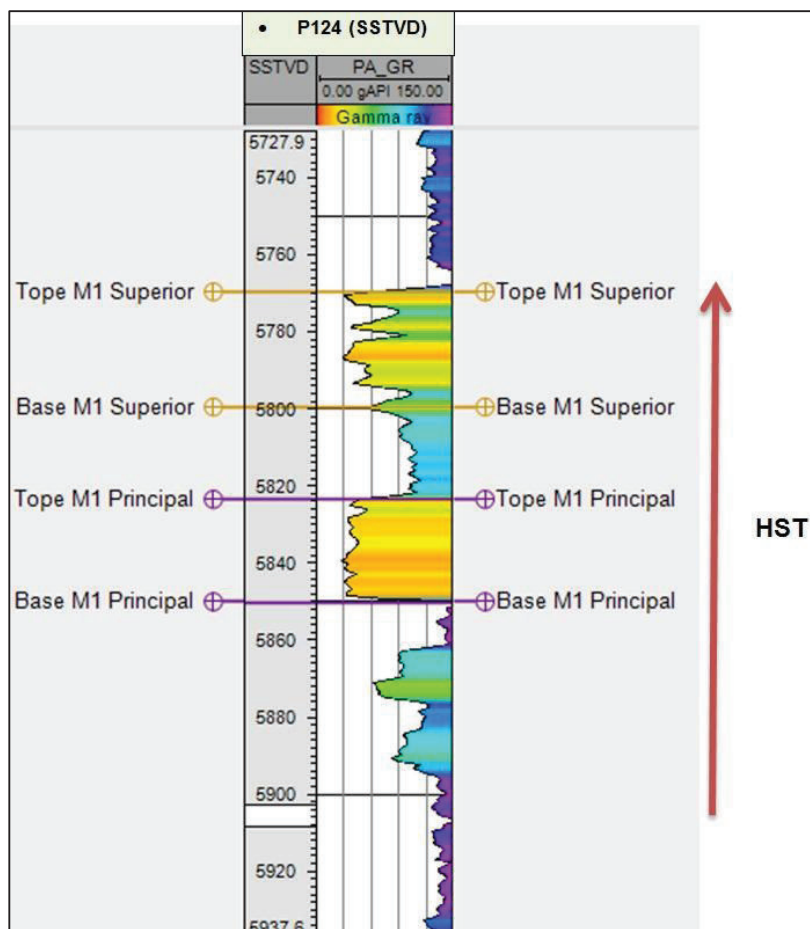


**Figura 2.1** Columna estratigráfica general del Cretácico en la Cuenca Oriente (Tomado de Barragán et al., 2014)

Dentro de esta tesis se determinó que el ambiente de depositación para las arenas es deltaico durante episodios de parasecuencias progradantes, formando lóbulos que controlan a la comportamentalización de los reservorios de petróleo. (Figura 2.2).

- **Lutita Terminal M-1** (Campaneano Superior, Raynaud, 1993 en Ramírez, 2007)

Se trata de un intervalo compuesto de lutitas y limolitas, ocasionalmente la ocurrencia de sedimentos pantanosos formando capas de carbón, depositado en un medio transicional de planicie lodosa de marea, llanura de inundación, y marino de offshore superior.



**Figura 2.2** Registro tipo, representativo de la secuencia M-1 dentro del campo en estudio

### 2.2.3 FORMACIÓN TENA

De edad Maastrichtiano Inferior según Faucher y Savoyat, 1973 y según Jaillard et al., 1997 de edad Paleoceno.

- **Arenisca Tena Basal** (Maastrichtiano Inferior, Jaillard, 1997)

La parte basal de esta unidad corresponde a una discordancia regional asociada a un cambio litológico importante (Raynaud et al., 1993). Se puede observar esta discordancia en ciertos afloramientos de la zona Subandina norte y en ciertas secciones sísmicas de la parte occidental de la cuenca. Barragán, 1999; Vaca, 2004 entre otros autores proponen incluir esta unidad a la formación Napo, tomando en cuenta la semejanza que presenta con las secuencias arenosas de dicha formación, de acuerdo a análisis sedimentológicos. Estas semejanzas existen ya que consta de un dominio de facies deltaicas, con influencia mareal típicamente de un sistema deposicional rápidamente progradante de tipo de prisma de alto nivel (HST), similar a los otros miembros ya descritos en la sección Napo, y no un dominio puramente continental subáereo como ha sido previamente descrito por Jaillard (1997). Se considera por lo tanto, a la Arenisca M-1 y a la Arenisca Tena Basal como la prueba del episodio final del relleno sedimentario de la Formación Napo en la Cuenca Oriente (Barragan, 1999)

La litología varía desde arenas arkósicas al este, pasando hacia cuarzoarenitas, cuarzoarenitas arkósicas y cuarzoarenitas calcáreas en la parte central y norte (Villalba et al., 2006). Hacia la zona Subandina se mencionan microconglomerados con cantos de brechas calcáreas y areniscas cuarzosas (Jaillard 1997) depositados en una plataforma clástica de un mar somero con fuerte influencia tidal (Toro J., comunicación personal tesis en Villalba, 2006).

Se trata de una formación heterolítica, son sedimentos rojos, caracterizada por una alternancia de areniscas cuarzosas a menudo glauconíticas y arcillas (Ver Figura 2.1).

Las capas rojas marcan el cambio de un ambiente marino a continental, se debe a eventos tectónicos que marcaron la deformación, el levantamiento y erosión de la Cordillera Real. Jaillard, 1995 propone la existencia de un hiato sedimentario

producto de no depositación del Maastrichtiano Superior-Paleoceno Inferior ubicado entre Tena Inferior y Superior.

## **2.3 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL**

### **2.3.1 Estilo Tectónico y Dominios Estructurales**

El desarrollo de la Cuenca Oriente es el resultado de esfuerzos transpresivos presentes desde el Cretácico Terminal, posiblemente asociadas a la apertura del Atlántico (Jaillard et al., 1997), y tal vez han sido reactivadas e invertidas a partir del Campaneano. Lo que provoca la emersión de la Cordillera Real y la formación de la cuenca de trasarco.

La Cuenca Oriente Ecuatoriana ha sido dividida en tres grandes dominios estructurales (figura 2.3) y petrolíferos (Sistema Subandio, Corredor Sacha-Shushufindi, sistema Invertido Capirón-Tiputini), por el análisis de secciones sísmicas y de datos estructurales de campo, que se encuentran controlados por sistemas de mega-fallas de rumbo NNE-SSW, que se prolongan hacia el norte en Colombia (Rivadeneira et al., 1999)

Cada uno de estos dominios tectónicos ha sido diferenciado por características geométricas y cinemáticas relacionadas a la dinámica pre-cretácica (Baby et al., 1998). Las estructuras se exhiben en flor positiva y junto a pliegues orientados NNW-SSE o NW-SE que indican que los dominios estructurales se deformaron en régimen transpresivo dextral (Rivadeneira et al., 1999). La sísmica muestra que la mayoría de las fallas de rumbo corresponden a antiguas fallas normales que controlaron la sedimentación del Permo-Triásico hasta el Cretácico Inferior, esto permitió definir las inversiones causantes de los eventos tectónicos que provocaron la deformación de la Cuenca (Rivadeneira et al., 1999). Además durante el Cretácico Superior, cuerpos volcánicos extrusivos aparecen en la Cuenca, asociados al movimiento de las mega-fallas (Barragán et al., 1997)

### 2.3.1.1 Dominio Occidental (Sistema Subandino)

En este sistema se puede observar el estilo de las últimas deformaciones, debido a que constituye la parte aflorante de la Cuenca Oriente, que ha sido intensamente afectada por plegamientos y cabalgamientos en una deformación del cinturón de trasarco. En los afloramientos, se observan fallas inversas de alto a bajo ángulo, hacia el Norte las fallas se interpretan como transpresivas, hacia el centro varían a cabalgamientos, al Sur se vuelven a un régimen transpresivo con marcadores cinemáticos dextrales, y hacia el Este pliegues abiertos y fallamientos en bloques fueron las estructuras dominantes. El dominio tectónico se levantó y deformó en el Plioceno y Cuaternario (lahares cuaternarios se encuentran levantados) (Baby et al., 1998). La morfología y las series sedimentarias afectadas, permiten dividir de Norte a Sur, tres zonas morfo-estructurales (Figura 2.3):

- *Levantamiento Napo*, corresponde a un domo alargado, con orientación NNE-SSO, representando una estructura plegada de las formaciones cretácicas y terciarias, limitado al este y oeste por fallas transpresivas (Baby et al., 1998). El Levantamiento Napo se amortigua y desaparece probablemente debajo de los corrimientos de la Cordillera Real (Rivadeneira et al., 1999)
- *Depresión Pastaza*, donde las fallas se encuentran en forma más cabalgante al contacto Zona Subandina-Cordillera Real, se amortigua y desaparece probablemente debajo de los corrimientos de la Cordillera Real (Baby et al., 1998). Su morfología actual corresponde a un megacono aluvial del Río Pastaza, que se desarrolla hacia la Cuenca del Marañón en Perú.
- *Levantamiento Cutucú*, caracterizada por un cambio en la orientación de las estructuras, de N-S a NNO-SSE, y la aparición en la misma de las formaciones correspondientes al triásico y jurásico (Fm. Santiago y Chapiza) (Baby et al., 1999) y en menor aparición en las formaciones paleozoicas (Diaz M et al., 2005).





un régimen transpresivo, lo que originó la migración del magmatismo hacia el Sur-Suroeste principalmente a lo largo del corredor (Barragán et al., 2005).

#### **2.2.4 ETAPAS DE DEFORMACIÓN**

Estudios tectónicos han evidenciado 2 etapas de deformación a lo largo de la historia Cretácica de la Cuenca Oriente ecuatoriana (Baby et al., 1997)

- *Extensión Napo Basal o Inferior (?) (Albiano a Cenomaniano)*

Secciones sísmicas permiten evidenciar pequeñas fallas normales que afectan la parte inferior de la Formación Napo. Sin embargo hasta ahora con los datos analizados no se permite definir la cinemática y geometría de estas fallas, aunque se ha podido dar una idea de que la mayoría de estas fallas fueron invertidas durante las etapas de deformación compresivas posteriores (Baby et al., 1997). Controlaron posiblemente la sedimentación de ciertos cuerpos arenosos que en la actualidad son reservorios (Rivadeneira et al., 1999).

- *Inversión (Campaniano)*

Posterior a la sedimentación de la Formación Napo, se produjo una etapa de deformación compresiva, donde se determina una inversión tectónica en régimen transpresivo dextral (Rivadeneira et al., 1999). Se observa en base a secciones sísmicas que los sedimentos de la Formación Napo y de la Formación Tena se biselan sobre el anticlinal de la estructura Shushufindi y se sella así una primera etapa de deformación.

## CAPÍTULO 3

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 REGISTROS DE POZOS

Se utiliza para la localización y evaluación de los yacimientos de hidrocarburos, además de suministrar información respecto a:

- Litología
- Identificación de las zonas productoras
- Profundidad y espesor de las zonas productoras
- Efectivas interpretaciones cuantitativas y cualitativas de las características y contenido del yacimiento.

TIPO	APLICACIONES	DISPOSITIVOS
CORRELACIÓN Y LITOLOGÍA	Usados principalmente para la correlación entre pozos y para discriminar rocas reservorio de rocas no reservorio	Potencial Espontáneo Gamma Ray Efecto Fotoeléctrico
RESISTIVIDAD	Usados para determinar la resistividad de la formación con distancias que varían al agujero, las cuales se usan para correlacionar y para determinar la saturación de agua	Inducción "Laterolog" Micro resistividad
POROSIDAD Y LITOLOGÍA	Usados para determinar como su nombre lo indica litología y porosidad	Densidad Neutrón compensado Sónico Efecto Fotoeléctrico
AUXILIARES	Se usan para hacer mediciones especiales	Caliper Prueba de Formación "Dipmeter" Imágenes de Formación

**Tabla 3.1** Clasificación del tipo de registro en función de sus aplicaciones  
(Modificado de Gabriela Gutiérrez, 2011)

##### 3.1.1.1 Registro de Potencial Espontáneo (SP)

Es un registro de la diferencia entre el potencial eléctrico de un electrodo móvil en el pozo y el potencial eléctrico de un electrodo fijo en la superficie en función de la profundidad.

El potencial eléctrico que se desarrolla no se puede registrar en pozos con lodos no conductores, ya que estos lodos no proveen continuidad eléctrica entre el electrodo del SP y la formación. Debido a su baja resolución actualmente han sido desplazados por el registro de GR.

Estos registros permiten:

- Identificar zonas permeables y porosas
- Determinar la arcillosidad de la formación
- Correlacionar las unidades litológicas

### **3.1.1.2 Registro de Rayos Gamma (GR)**

Es la medida de radioactividad natural de la formación. En las formaciones sedimentarias el registro normalmente refleja el contenido de arcilla, ya que los elementos radiactivos tienden a concentrarse en las mismas. Las formaciones arenosas limpias generalmente tienen un nivel muy bajo de radiactividad, a menos que contaminantes radiactivos como cenizas volcánicas o rocas ricas en potasio estén presentes o que las aguas de formación contengan sales radiactivas disueltas.

Estos registros permiten:

- Correlacionar pozos
- Indicación de litología
- Evaluación de arcillosidad (tipo y volumen de arcilla)
- Análisis de minerales
- Detección y cuantificación de Uranio, Torio, Potasio y depósitos de carbón

#### *3.1.1.2.1 Análisis de registros gamma ray espectrales*

Los registros gamma ray espectrales obtenidos de potasio ( $K^{40}$ ), uranio ( $U^{238}$ ) y torio ( $Th^{232}$ ) emiten rayos gamma de diferentes energías, por lo tanto los perfiles muestran curvas separadas (Gincor E & P Solutions, s.f.).

El registro espectral gamma ray sirve según Estrada (2007) para lo siguiente:

- ***Determinación de litologías***

Las arcillas de la formación presentan elevados valores de Uranio, Torio y Potasio

Las areniscas cuarzosas presentan bajos porcentajes de minerales radioactivos, pero a veces es común encontrar concentraciones de Potasio elevado debido a la presencia de feldespato y micas (areniscas feldespáticas o arcósicas), aunque a veces posee elevados valores de Torio.

Frecuentemente los minerales pesados contienen elevados contenidos de Torio (principalmente en canales), Uranio o ambos y es muy fácil determinar ya que los valores de Potasio son muy bajos, además existe altas concentraciones de Th/K. El Torio puede estar concentrado en arcillas terrígenas y el incremento de Uranio está asociado con la presencia de materia orgánica (Rider, 2000)

- ***Detección de inconformidades***

Abruptos cambios de la relación Th/K indican variaciones en la proporción de minerales radioactivos, que sucede cuando hay cambios en las condiciones geológicas de deposición, esto normalmente corresponde a inconformidades. Las concentraciones de uranio indican extremas condiciones de depositación.

- ***Sedimentología***

El espectral gamma ray provee una larga cantidad de datos que puede ayudar a discriminar entre ambientes deposicionales, tamaño de grano y composición mineralógica. (Ver Tabla 3.2)

El Potasio y Uranio se consideran más solubles que el Torio, por lo tanto valores elevados de Torio a Potasio o Uranio y arcillas erosionadas pueden reflejar paleoclimas y climas húmedos o calientes

Th/U

Ayuda al reconocimiento de facies geoquímica, además de ser un indicador del potencial redox. Th/U está fuertemente ligado con el ambiente deposicional (Adams y Weaver, 1958 tomado de Rider, 2000)

SGR	Inferencia sedimentológica
Presencia de glauconita	Marino, principalmente de origen de plataforma continental
Depósitos fosfáticos	Marino, principalmente de origen de plataforma continental, con agua caliente en un ambiente de reducción
Uranio	Baja energía, condiciones de reducción
Tipo de arcilla	Análisis del ambiente deposicional
Bauxita	Ambiente caliente, húmedo, continental con buen drenaje
Feldespatos	Indica el grado de evolución de las facies arenosas, solo encontradas en abundancia las que provienen de fuente ígnea.

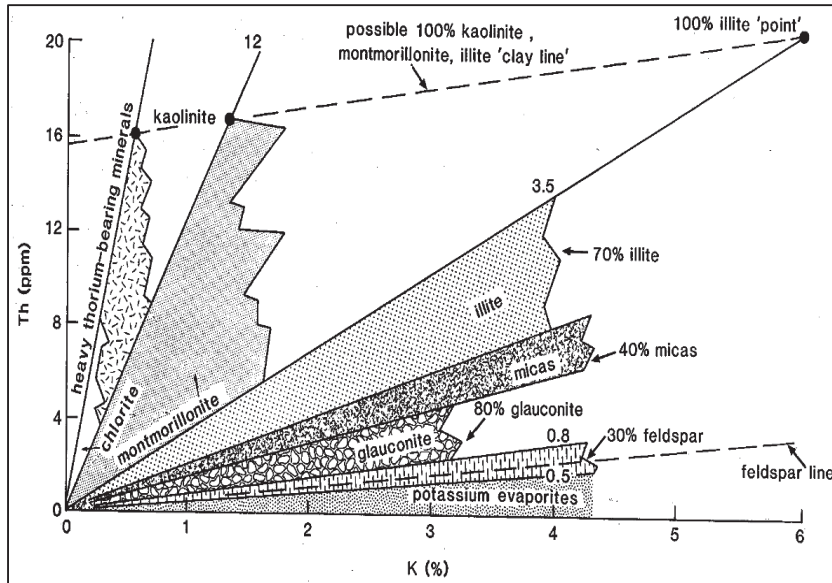
**Tabla 3.2** Inferencias geológicas de los datos de los rayos gamma (*Tomado de Glover, 2012*)

- Th/U (>7) implica movilización de U a través de la meteorización y/o lixiviación. Sugiere condiciones de oxidación posiblemente en un ambiente terrestre
- Th/U (<2) son el resultado de la movilización del U desde el agua de mar u otra superficie de agua y mezclada. Sugiere un ambiente deposicional marino en condiciones de reducción
- Th/U (2 a 7) son alteraciones y reemplazamientos incompletos de U o de mezclas de materiales como lutitas grises y verdes y grauwas.

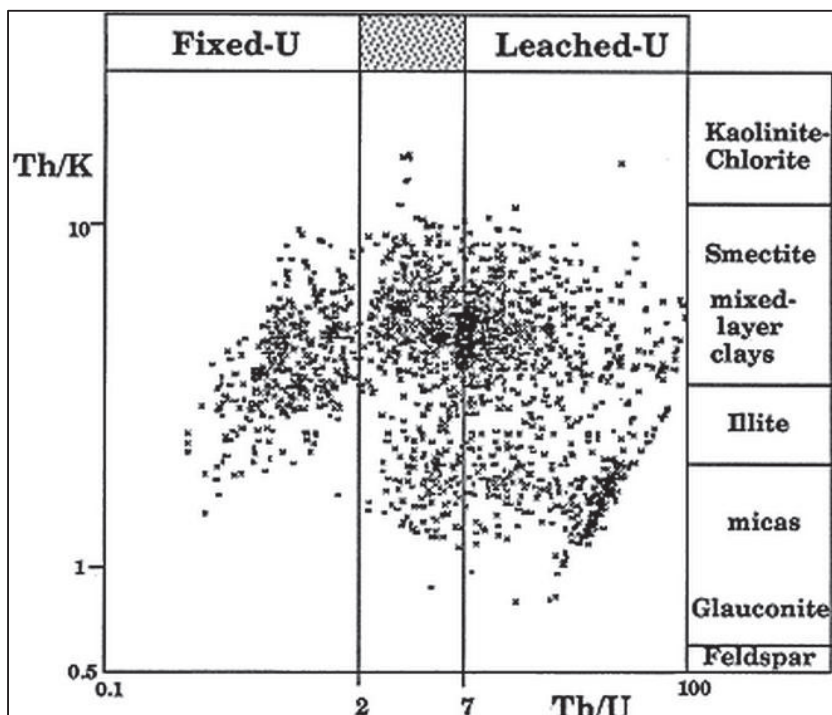
#### Th/K

Esta relación decrece cuando incrementa el contenido de illita o mica. Puede ser usada como indicador de compactación, debido a la transformación de esmectita a illita con el soterramiento (Figura 3.1).

Para determinar el tipo de ambiente basado en las arcillas se puede usar el crossplot Th/K vs Th/U. (Figura 3.2)



**Figura 3.1** Distribución teórica de minerales arcillosos, minerales pesados y evaporitas, en términos de contenido de potasio y torio (*Reinterpretación de Quirein et al., (1982) en Rider, 2000*)



**Figura 3.2** Distribución teórica de los minerales arcillosos usando el crossplot Th/K y Th/U (*Tomado de Kansas Geological Survey, 1989*)

### **3.1.1.3 Efecto Fotoeléctrico (Pe)**

Mide la capacidad de la formación para absorber rayos gamma. Esta capacidad de absorción varía con la litología. La absorción fotoeléctrica se registra como una medida suplementaria para la medida de la densidad de la formación, usando detectores comunes y fuentes radiactivas. Su medición no es válida en lodos con barita y se lo puede usar para:

- Correlacionar formaciones entre pozos
- Determinar litologías

### **3.1.2 RESISTIVIDAD**

La resistividad es la capacidad que tienen las rocas de impedir el flujo de corriente eléctrica a través de sí misma. Las mediciones de las resistividades son básicas en la determinación de saturación en la parte no invadida del yacimiento.

Factores que afectan a la resistividad:

- Porosidad
- Resistividad de agua
- Saturación de agua ( $S_w$ )
- Litología
- Temperatura
- Geometría estructural presente

Las herramientas de Resistividad pueden dividirse en tres tipos: Herramientas de Inducción, Laterolog y Microresistividad.

#### **3.1.2.1 Inductivos**

La herramienta de registro de inducción mide la conductividad de la formación mediante corrientes alternas inductivas en pozos que contienen lodos base aceite y la resistividad en agujeros perforados neumáticamente.



Dado que es un método de inducción se usan bobinas aisladas en vez de electrodos y funcionan cuando el pozo está lleno con cualquier lodo conductivo o no, a diferencia de los registros convencionales que solo funcionan con fluidos conductivos.

### **3.1.2.2 Dual Laterolog (DLL)**

Consiste en medir una corriente focalizada a la formación a través de un arreglo de electrodos y es utilizado para calcular la resistividad de la formación que atraviesa. Son usados en lodos salados y formaciones con alta resistividad.

Estos registros permiten:

- Correlacionar formaciones
- Estimar diámetro de invasión
- Diferenciar entre zonas de agua salada y zonas de hidrocarburos
- Determinar resistividad en la zona no invadida ( $R_t$ )

### **3.1.2.3 Herramientas Microresistivas (Msfl, Mel)**

Se utilizan para medir la resistividad de la zona lavada y para describir capas permeables por medio de la detección del enjarre. Las herramientas microresistivas son capaces de detectar formaciones finamente laminadas. El uso de curvas micro-normal y micro-inversa, resulta de la presencia de mud cake, puede indicar intervalos permeables y sus límites.

Se utilizan para:

- Correlación pozo a pozo (msfl)
- Saturación de zona invadida (msfl)
- Saturación de petróleo residual (msfl)
- Movilidad de hidrocarburo (msfl, mel)
- Densidad de hidrocarburo (msfl)
- Permeabilidad (mel)

### **3.1.3 POROSIDAD**

Es un sistema de espacios vacíos interconectados o no que se encuentran en las rocas. Las medidas de porosidad se refieren a las medidas de densidad de volumen, índice de hidrógeno y tiempos de viaje acústicos. Debido a su baja profundidad de investigación (somera) generalmente proporciona la resistividad de la zona invadida. La porosidad puede ser dividida dependiendo de:

- Según su origen
  - Primaria o intergranular
  - Secundaria
- Según la comunicación de sus poros
  - Total o absoluta
  - Interconectada o efectiva
  - No interconectada o no efectiva

Cada herramienta de porosidad: neutrón, densidad, sónico, compensado y efecto fotoeléctrico pueden ser usados para estimar porosidad cuando se conoce la litología y las propiedades del fluido.

#### **3.1.3.1 Registros de Densidad**

Responde a la densidad de electrones de la formación. La presencia de lutitas o gas complica su lectura. La densidad de los electrones está relacionada con el volumen de la matriz de la roca, la porosidad de la formación y la densidad de los fluidos que llenan los poros.

La herramienta tiene una profundidad de investigación somera por lo que el fluido en los poros de las formaciones permeables en la zona de investigación es filtrado de lodo, la densidad de este filtrado depende:

- Salinidad
- Temperatura
- Presión
- Arcilla

Se utilizan para:

- Detección de gas
- Determinación de la densidad de los hidrocarburos
- Evaluación de las arenas con arcilla y de litologías complejas
- Determinación de producción de lutitas con contenido de aceite
- Cálculo de presión de sobrecarga
- Propiedades mecánicas de las rocas

### **3.1.3.2 Registros Neutrónicos**

Responde en primer lugar a la cantidad de hidrógeno presente en la formación, es decir, del hidrógeno contenido en el petróleo, gas natural y agua. Son usados para ubicar formaciones porosas y por consiguiente determinar su porosidad.

Así, en formaciones limpias, en donde los poros están llenos de agua o petróleo, el registro neutrónico nos dará el valor real del espacio poral lleno de fluidos.

Las zonas gasíferas pueden frecuentemente identificarse comparando el perfil neutrónico con otro de porosidad o con los valores de porosidad obtenidos de testigos o núcleos.

### **3.1.3.3 Registro Sónico**

Mide el tiempo de tránsito, o sea el tiempo en microsegundos que tarda una onda acústica en viajar a través de un pie de formación, por un cambio paralelo a la pared del pozo. Tiende a ignorar la porosidad secundaria. La presencia de lutitas y/o fracturas dificultan la lectura de porosidad como también lo hace la presencia de gas.

Factores que afectan el Registro Sónico:

- Litología
- Diámetro del hoyo

## **3.2 ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE AMBIENTES SEDIMENTARIOS**

Un medio sedimentario es una parte de la superficie de la Tierra que se diferencia física, química y biológicamente de las zonas adyacentes (Selley, 1970 en Arche, 2010) y de aquí surge la división entre medios continentales, transicionales y marinos mediante la línea de costa, que están interrelacionados y el cambio de uno de ellos afecta irremediablemente a los otros.

Las relaciones de facies lateral y vertical y el marco tridimensional pueden fortalecer fuertemente la interpretación del ambiente deposicional

El objetivo es establecer una base teórica en función del cual se sustenta algunas de las interpretaciones propuestas para este trabajo, se revisará únicamente las características más relevantes de los ambientes sedimentarios relacionados posiblemente al desarrollo paleoambiental de la Arenisca M1.

### **3.2.1 AMBIENTES TRANSICIONALES**

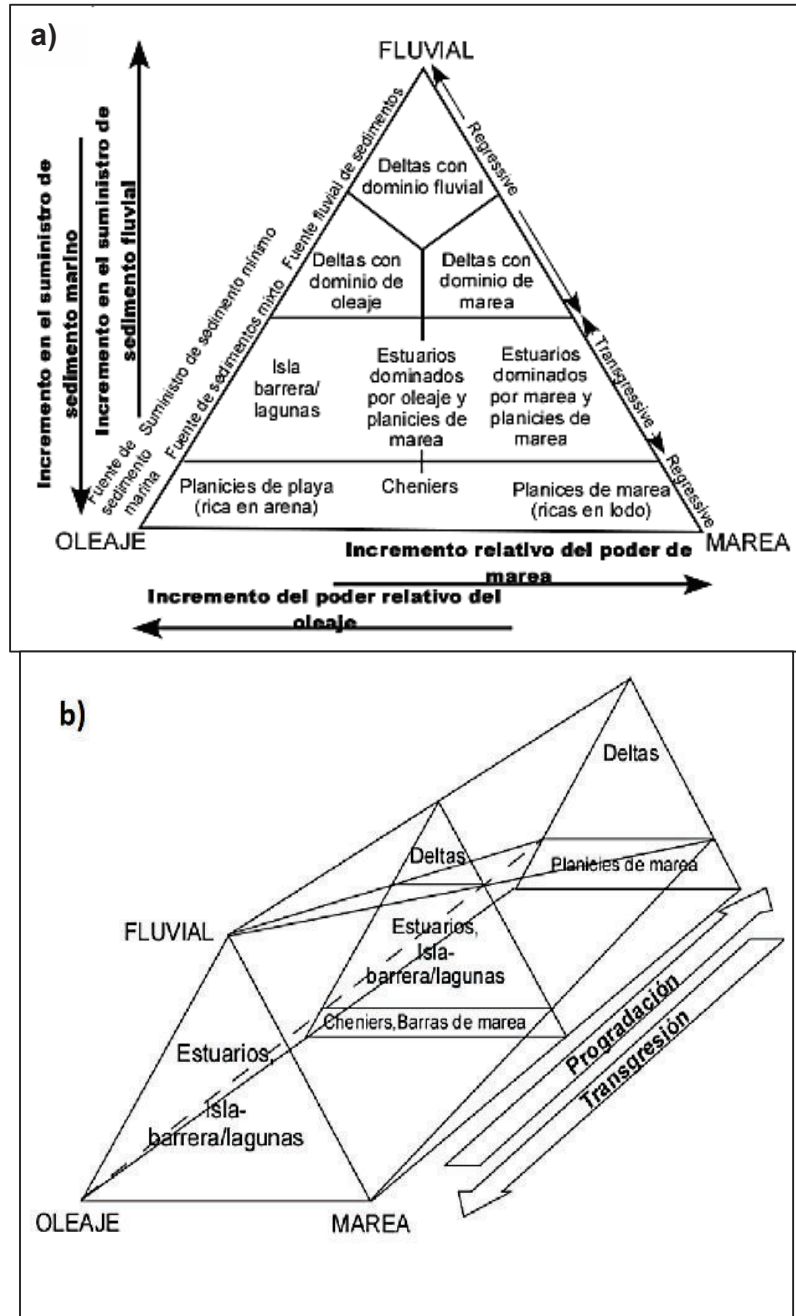
Se los clasifica de acuerdo al sistema alimentador, el volumen, tamaño de grano, procesos de retrabajamiento debido al oleaje, mareas y tormentas, procesos por retrabajamiento gravitacional, gradiente del río y gradiente y profundidad de la cuenca, así como los cambios relativos en el nivel del mar (Figura 3.3)

#### **3.2.1.1 Deltas**

Son estructuras convexas que se destacan en una costa frente a la desembocadura de un río y que se forman cuando el aporte de sedimentos supera la redistribución por procesos marinos tales como olas, corrientes y mareas. En este sentido los deltas son fundamentalmente consistentes con una progradación (Bhattacharya, 2010). La distribución de las facies internas (Figura 3.4) y morfología externa depende de:

- La interacción de la pluma del río con procesos marinos tales como olas, áreas, tormentas, corrientes oceánicas y retrabajamiento biogénico
- Posición física del delta en la cuenca, tal como el borde de plataforma
- Drenajes dentro de la cuenca

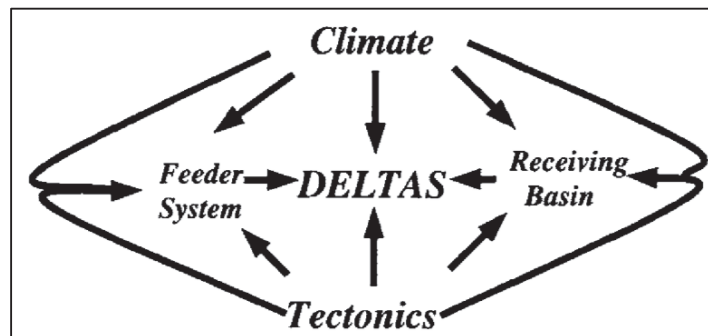
- El clima
- Régimen tectónico.



**Figura 3.3** a) Diagrama ternario de la clasificación basado en los procesos para todos los sistemas costeros excepto los sistemas de grano grueso, b) Modelo de la evolución de los ambientes costeros a medida que el nivel relativo del mar y el suministro de sedimentos cambian para dar paso a transgresiones y regresiones (Tomado de Reading, 2005)

- Condiciones del flujo:
  - a. Si el flujo de los ríos es más denso (hiperpícnico) que el cuerpo permanente de agua (se detalla dentro del prodelta)
  - b. Si el flujo de los ríos es posee igual densidad (homopícnico) que el cuerpo permanente de agua
  - c. Si el flujo de los ríos es menos denso (hipopícnico) que el cuerpo permanente de agua

Las características deposicionales del delta incluyen canales distributarios, barras de desembocadura de ríos, bahías distributarias, llanos cubiertos por mareas (tidal flats), crestas de marea (tidal ridges), playas, dunas eólicas, pantanos y planicies de evaporitas (Coleman, 1976 en Arche, 2010)



**Figura 3.4** Marco conceptual para entender la interacción del clima y tectónica en ambientes deltaicos (Tomado de Hart, 1995)

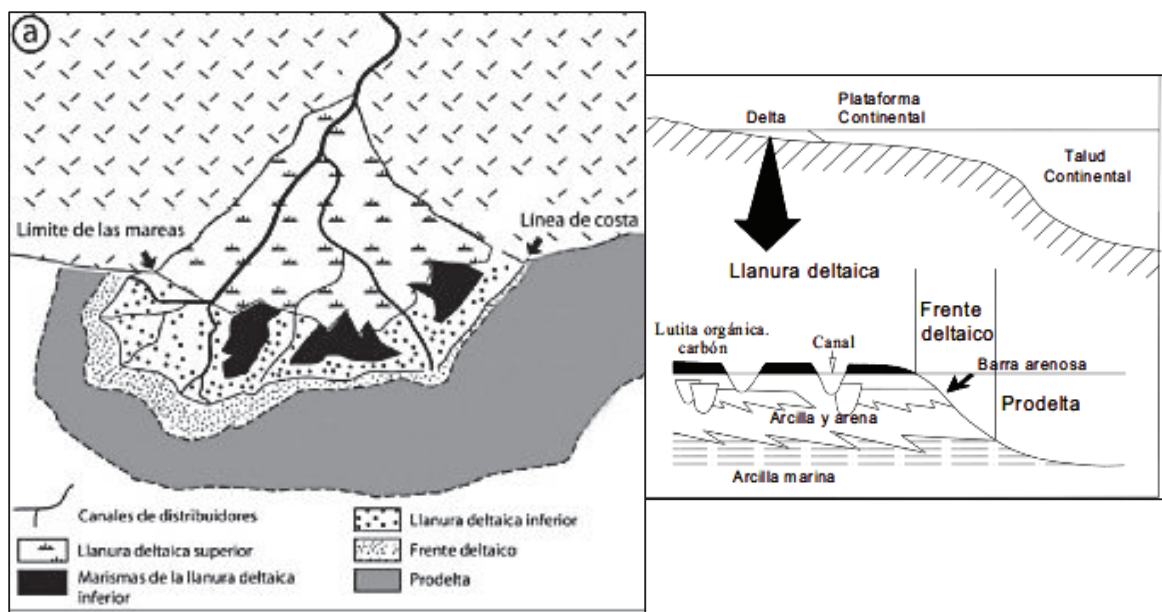
El ambiente donde se genera el delta posee su característica geométrica propia y su característica del reservorio típica.

#### 3.2.1.1.1 Morfología de los deltas

Todo delta se forma en la desembocadura de un sistema fluvial bien estructurado, y aunque su morfología final puede ser muy variable, el proceso de formación siempre es básicamente el mismo: Las corrientes fluviales, cargadas de sedimentos, desaceleran y se expanden al entrar en cuerpos de agua de grandes dimensiones al dejar de estar confinadas, depositando gran parte o la totalidad de

su carga sólida; se suele producir una granoselección, con los sedimentos más gruesos acumulados cerca de la desembocadura y los más finos en áreas más alejadas.

Como un delta constituye un depocentro importante, necesita, asimismo, un régimen tectónico de subsidencia activa y continuada que garantice la acumulación de sus características sedimentarias. El delta posee dos partes bien diferenciadas: una subárea o llanura deltaica (procesos del río son dominantes) y otra subacuática, dividida a su vez en una parte proximal o frente deltaico (procesos del río y de la cuenca interactúan) de pendiente acusada (1-5°) y otra distal o prodelta (principalmente sedimentos finos), de mucha menor inclinación (Figura 3.5)



**Figura 3.5 a)** Zonación teórica de un delta, **b)** Escala relativa de los deltas respecto a la plataforma continental, y organización interna (Modificado de *Bhattacharya (2006) en Archie, 2010 y Jaillard, 1993*)

### ***Llanura Deltáica***

Es la parte más interna del delta, donde la vegetación crece rápidamente formándose extensos y potentes depósitos de turba, representa la parte emergente del delta, la cual forma una llanura de inundación plana, subárea y con marismas, se desarrolla después que el delta ha rellenado el espacio en la

plataforma. Está cortada por una red de brazos fluviales más o menos bifurcados, llamados *canales distributarios*, que transportan el agua y los sedimentos hacia las desembocaduras del delta, están caracterizados por depósitos arenosos cuyo espesor alcanza la profundidad del canal (Corrales et al, 1977 en Arche,1992).

Se divide en dos partes: una superior o interna, siempre por encima de la acción marina, que está dominada por los procesos fluviales y otra inferior externa, donde se da la interacción de procesos fluviales y marinos y que alcanza hasta el límite superior de la marea (Olariu et al., 2012). Esta incluye una variedad intensa de subambientes no marinos, salobres, paralíticos a humedales incluyendo pantanos, llanuras cubiertas por mareas, lagoon y bahías distributarias

### ***Frente Deltaico***

Es la zona de interacción entre los procesos fluviales y de la cuenca. Es una plataforma marina somera que bordea la llanura deltaica, donde se acumula una gran parte de los sedimentos llevados por los ríos distributarios. En las zonas de desembocadura, los sedimentos son generalmente arenosos y forman barras de desembocadura que progradan sobre las arcillas más extensas del prodelta. Hacia el mar y entre las desembocaduras, los sedimentos se vuelven más finos y arcillosos (Corrales et al, 1977).

El frente deltaico dominado por ríos típicamente consiste de una compleja asociación de canales distributarios terminales y barras de desembocadura que se unen para formar conjuntos de barras y lóbulos deposicionales (Bhattacharya, 2006). Las facies arenosas del frente proximal muestran bajo ángulo con estratificación cruzada y rara vez estratificación cruzada hummocky. El frente medio posee facies de arenas de grano fino con capas horizontales con algunos ripples, canales y estratificación con bajo ángulo

Dentro del frente del delta puede encontrarse cuerpos de arena en forma de lóbulos conocidos como cliniformes (Figura 3.6), geometría típica de depósitos deltaicos caracterizados por una progradación.



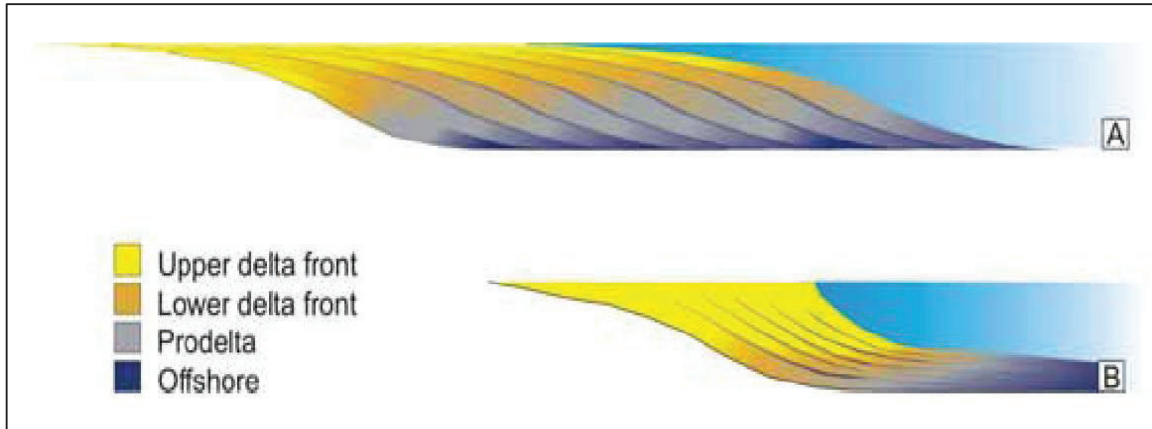
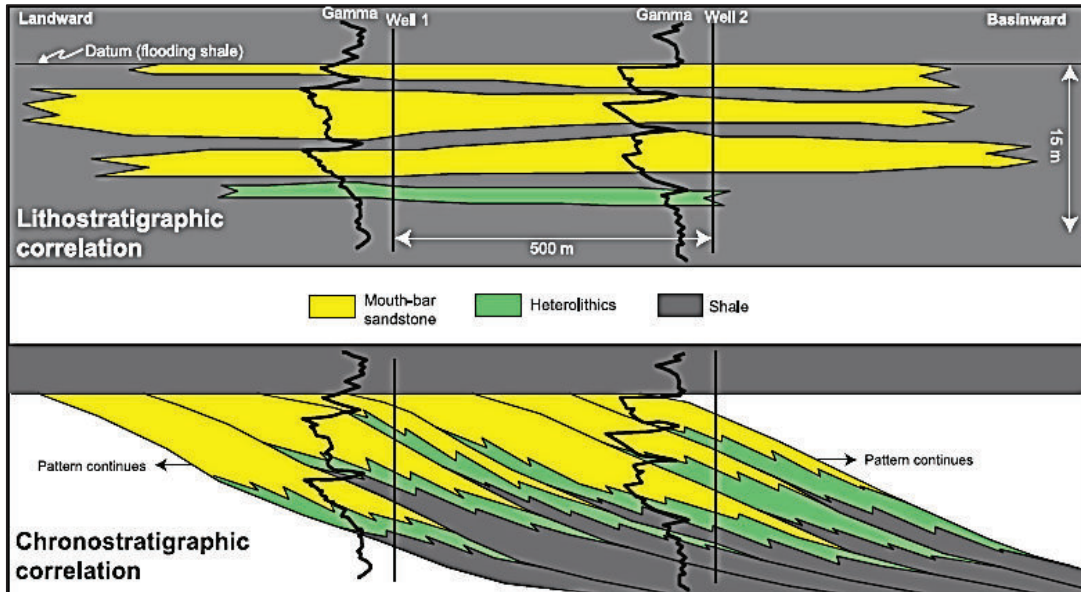


Figura 3.6 a) Clinoformo sigmoidal, b) Clinoformo oblicuo. Puede desarrollarse clinoformo sigmoidal donde suficiente acomodación es desarrollada y clinoformo oblicuo donde excede la sedimentación a la acomodación (Modificado de Vail (1977) en Vassel, 2007)

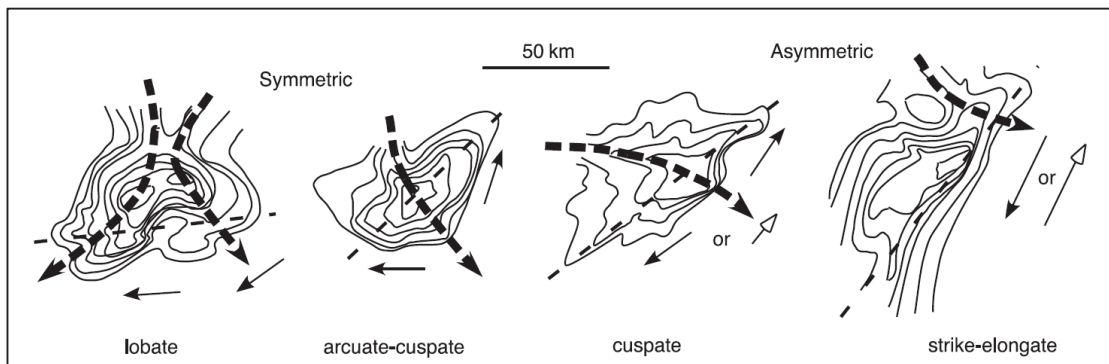
Un **clinoformo** es un límite de capa que buza hacia la cuenca que guarda registro de una superficie paleo-deposicional. Similares características son visibles en sísmica (Mitchum, 1977 en Vassel, 2007) donde la geometría de los clinoformos pueden ser observados. Los clinoformos pueden ser sigmoidales u oblicuos. Un clinoformo sigmoidal está compuesto de topset, foreset y bottomset que indican que la acomodación es creada a través de progradación y son característicos de facies de prodelta dominado por lutitas. Cuando la no acomodación es creada (durante la caída del nivel del mar o mar en reposo) se forma clinoformo oblicuo, resultando solo la formación de foreset y bottomset (Driscoll y Karner en Vassel, 2007). Los clinoformos son cuerpos de arena que poseen una compleja geometría de parasecuencia y formas, caracterizados por inclinación de las arenas buzando hacia la cuenca intercaladas con lutitas (Gani y Bhattacharya, 2005)

Esta geometría puede ser observada con mayor detalle y grado de certeza en perfiles sísmicos, aunque en deltas recientes los cuerpos pueden ser observados con el estudio de núcleos y secciones de registros (Figura 3.7)



**Figura 3.7** Modelo de correlación de pozos en un ambiente deltaico lacustrino. Correlación litoestratigrafica (**gráfico superior**), asumiendo que no existe inclinación en los cuerpos de arena hacia la cuenca, correlación cronoestratigrafica (**grafico inferior**) asumiendo inclinación hacia la cuenca de los cliniformes (Tomado de Bhattacharya, 2010)

Coleman y Wright, 1975 reconocen que la geometría de los cuerpos de arena dentro del delta pueden reflejar importancia relativa de los procesos marinos y fluviales, ya que los mapas de los cuerpos de arena pueden mostrar morfologías clásicas del delta (Figura 3.8)



**Figura 3.8** Forma de los lóbulos en deltas dominados por ríos (izquierda) y deltas dominados por olas (derecha). Deltas simétricos y asimétricos pueden ser identificados (Tomado de Bhattacharya, 2010)

Olariu et al., (2010) propone que las capas hiperpícnicas son más extensas a lo ancho (strike) que a lo largo (dip). Aunque este es un resultado intuitivo ya que los lóbulos de los deltas dominados por ríos son elongados.

### ***Prodelta***

Es la parte más externa y profunda del delta, se extiende desde el límite marino del frente deltaico, que es donde termina la sedimentación de arena de la barra de desembocadura, hasta la línea donde comienza la sedimentación de arcilla. La acumulación de limos y arcillas es por decantación y procesos gravitacionales, luego que la arena de la carga de fondo es dejada en el frente deltaico. En su fondo más distal, el prodelta pasa gradualmente al fondo abisal de la cuenca marina. La tasa de sedimentación es muy elevada y los sedimentos de grano fino están intensamente bioturbados.

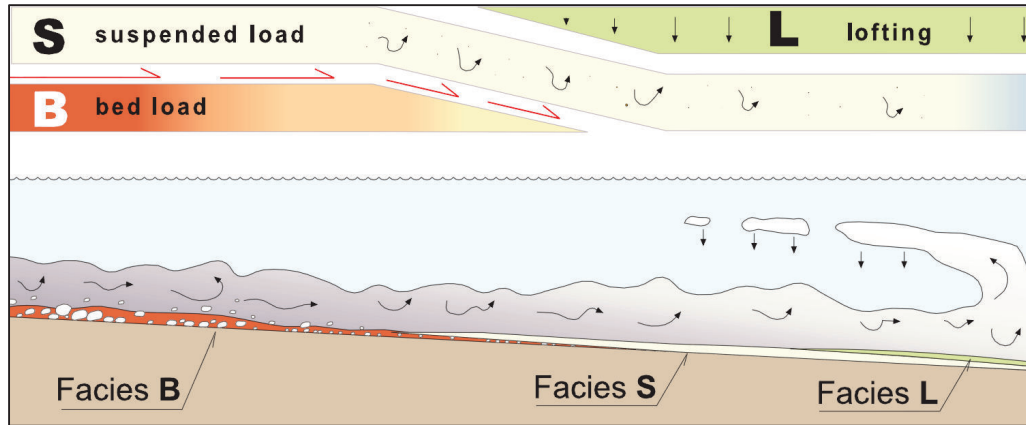
La preservación de laminación de limos o arenas es común cuando existe influencia de ríos (Bhattacharya, 2006)

- ***Flujos hiperpícnicos***

Este tipo de flujos pueden ocurrir cuando el entorno marino somero es salobre, como ocurre en muchos frentes de delta. Es también importante en sistemas alimentadores de agua profunda, especialmente durante tiempos de caída del nivel del mar con plataformas estrechas donde el río puede depositar directamente sedimentos en aguas profundas (Figura 3.9).

El resultado de la depositación de flujos hiperpícnicos ocurre cuando las aguas afluentes son de mayor densidad que las receptoras, se produce una corriente basal de alta densidad que lleva los sedimentos a zonas profundas, por lo tanto limita mucho el crecimiento del delta (Bhattacharya, 2006). Este tipo de flujo es característico de los deltas dominados por ríos

Los flujos hiperpícnicos difieren de otras turbiditas porque poseen facies gradadas bien desarrolladas y contactos erosionales de intrasecuencia. La genética del sistema hiperpícnico en ambientes marinos comprende tres facies principales (Figura 3.9):



**Figura 3.9** Representación esquemática de flujos hiperpícnicos (Tomado de: Zavala, 2011)

- *Carga de sólidos del fondo (bed load), Facies B*, son de grano grueso y relacionadas a fuerzas de arrastre provistas a través de un flujo turbulento.
- *Carga suspendida, Facies S*, están compuestas por arenas de grano fino y originadas del colapso gravitacional de la carga en suspensión dentro de un flujo de corta vida.
- *Procesos lofting, Facies L*, son el resultado de la caída de granos de arena muy fina, arcillas, restos vegetales y micas de plumas lofting principalmente de áreas de márgenes de flujo

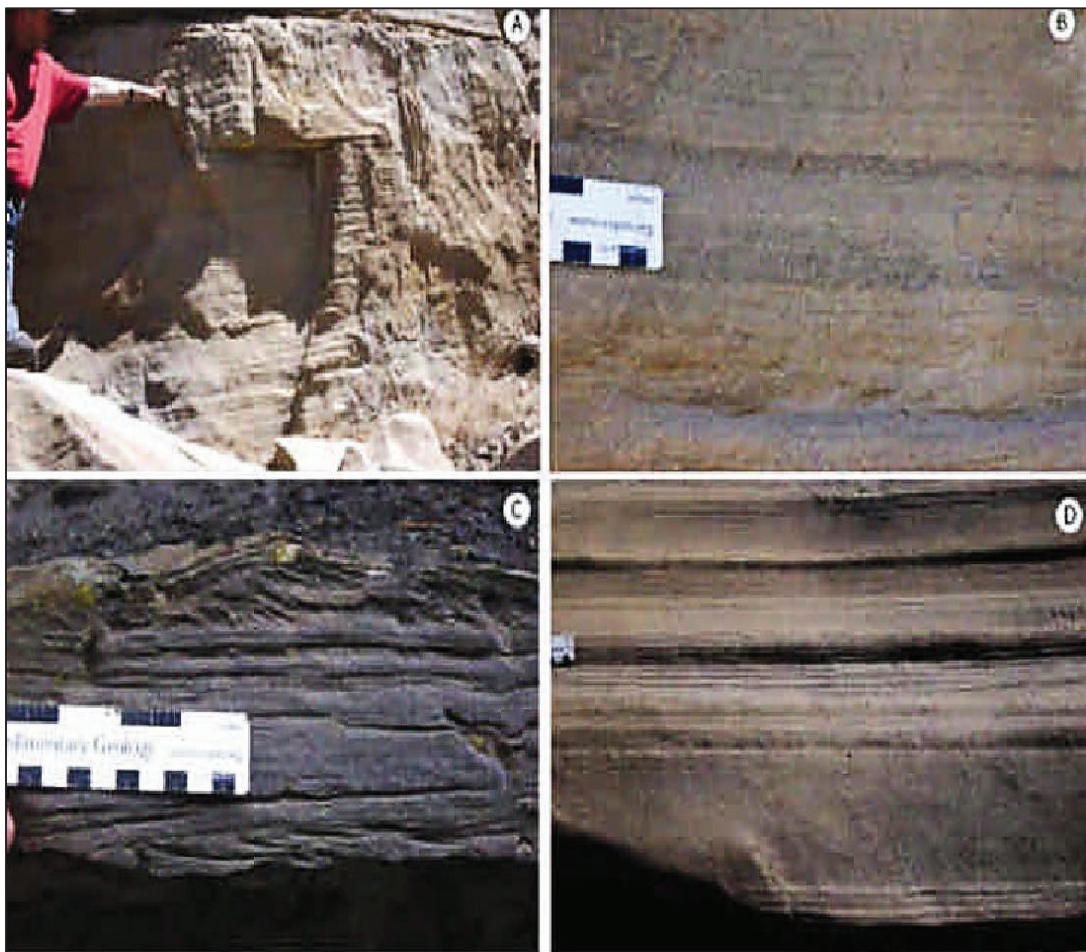
Las corrientes turbidíticas generadas por flujos de río forman depósitos conocidos como **hiperpícnitos** (turbiditas apiladas) (Mulder et al., 2003 en Bhattacharya, 2009) que incluyen componentes arenosos y arcillosos muy finos que localmente muestra estratificación rítmica (Figura 3.10)

#### 3.2.1.1.2 Tipos de deltas

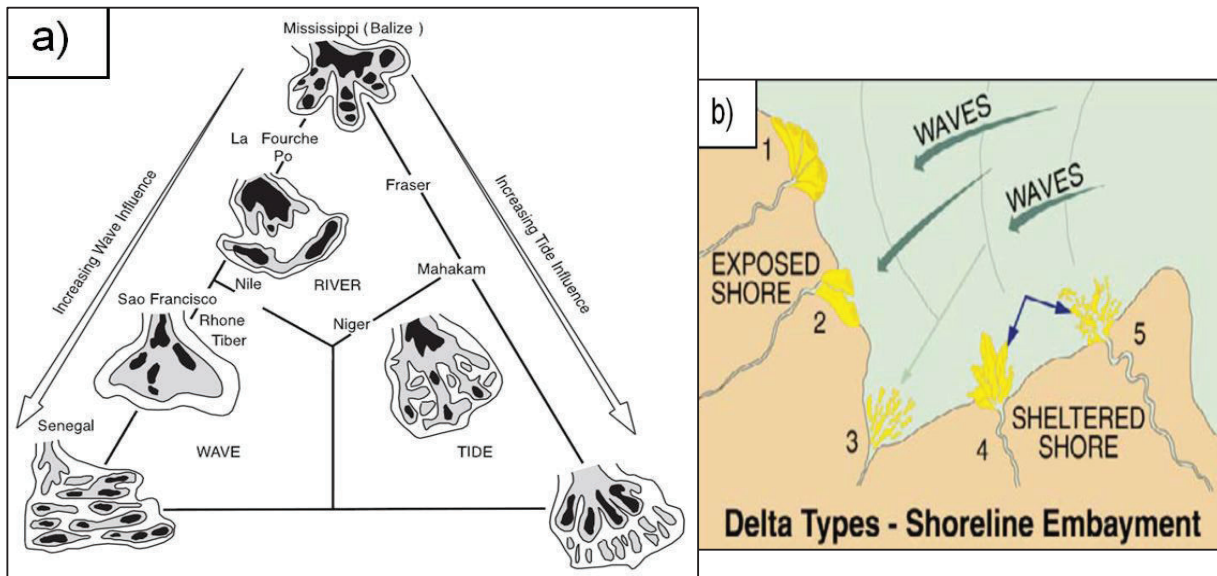
Los tipos de deltas se desarrollan dependiendo del balance entre los procesos fluviales y de la cuenca, y en la cantidad del suministro de sedimento y retrabajamiento existente.

Los deltas se clasifican en (Shepherd, 2009) (Figura 3.11):

- Deltas dominados por ríos, donde las corrientes del río alcanzan la cuenca para depositar sedimentos más allá de la línea de costa.
- Deltas dominados por mareas donde la planicie deltáica es penetrada por estuarios largos en forma de chimeneas (“funnel”). Los deltas marinos son considerados los más importantes debido al volumen de sedimentos transportados y sedimentados.
- Deltas dominados por oleaje, donde la depositación está controlada en la línea de costa.



**Figura 3.10** Facies sedimentaria que indica depositación de flujo hiperpicnico derivado de un río **A)** Intervalos de arena fina con laminación plana, **B)** Capas de variación entre arena fina y media, **C)** Alternancias de laminación de ripples, paralela plana, **D)** Alternancias de laminación plana paralela con arenas sin estructuras (Tomado de Olariu, 2008)



**Figura 3.11 a)** Geometría de los seis tipos de delta de Coleman y Wright (1975) ploteados en la clasificación de Galloway (1975), **b)** Esquema de deltas dominados por olas (1 y 2), dominado por marea (3), dominado por ríos (4 y 5) (Tomado de Bhattacharya, 2001 y Slatt, 2006)

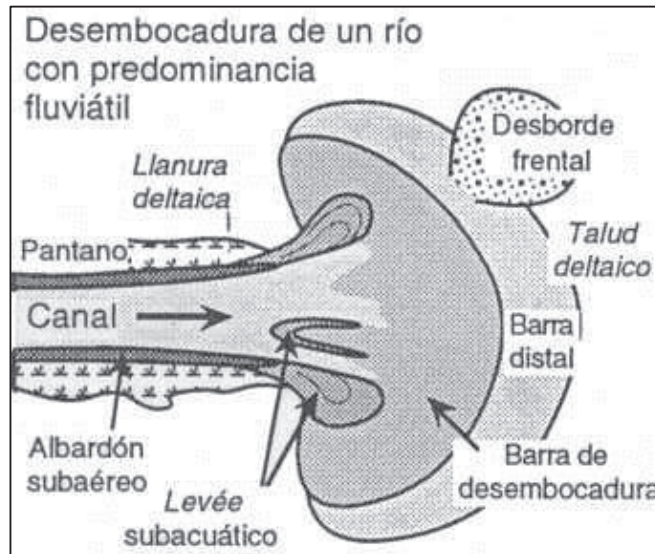
Esta clasificación, además enfatiza en general la importancia de la forma de los cuerpos de los sedimentos en correlación al tipo de delta

### ***Deltas con predominancia fluvial***

Las fuerzas básicas que controlan los fenómenos en la desembocadura (Bates, 1953; Bonham-Carter y Sutherland, 1968; Coleman, 1976; Wright, 1977 en Archie, 2010); son: la inercia y la difusión turbulenta asociada, la fricción turbulenta con el fondo de la cuenca de recepción y la flotabilidad del efluente con respecto al fluido de la cuenca (Figura 3.12).

Dos tipos de deltas pueden ser reconocidos, los que son generalmente lobulados desarrollados en zonas costaneras someras, y los alargados cuando se edifican en aguas más profundas. Morfológicamente los *canales distributarios* forman una red ramificada a partir del río principal, son estrechos y de sinuosidad débil, lo que contrasta con el río principal; frecuentemente más meandriforme. En las desembocaduras de los canales se forman las *barras de desembocadura*. Son cuerpos arenosos en forma de abanico, que progradan sobre las arcillas del prodelta. La secuencia que resulta es granocreciente y gradual. Las arenas de

dichas barras son generalmente más sucias y finas que la de los canales, pero tienen una extensión geográfica más amplia. (Elliot, 1986; Allen, 1989 y Chamley, 1989 modificado por Jaillard, 1993)

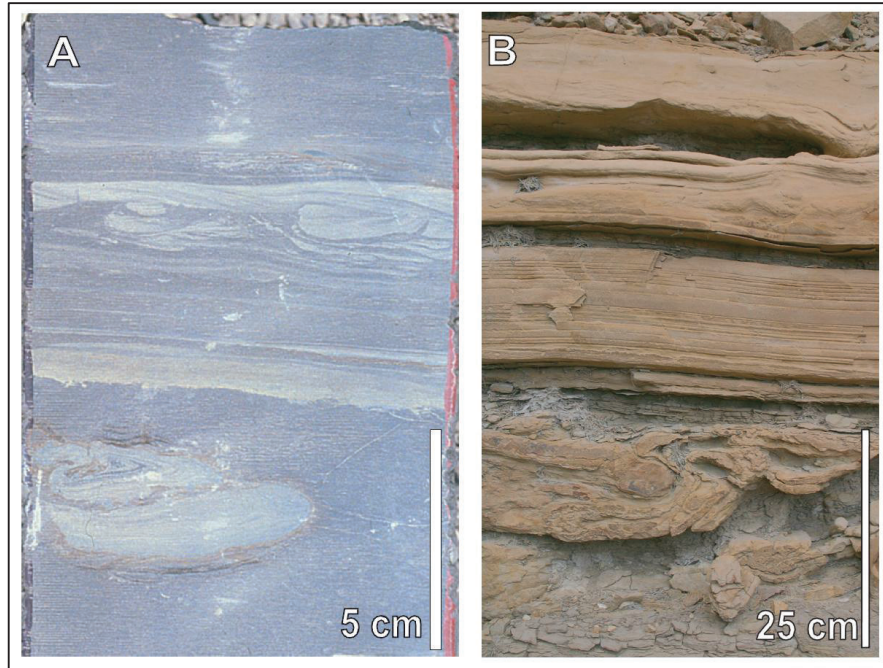


**Figura 3.12** Organización de las desembocaduras deltaicas dominadas por procesos sedimentarios fluviales (Tomado de Rodríguez, 2002)

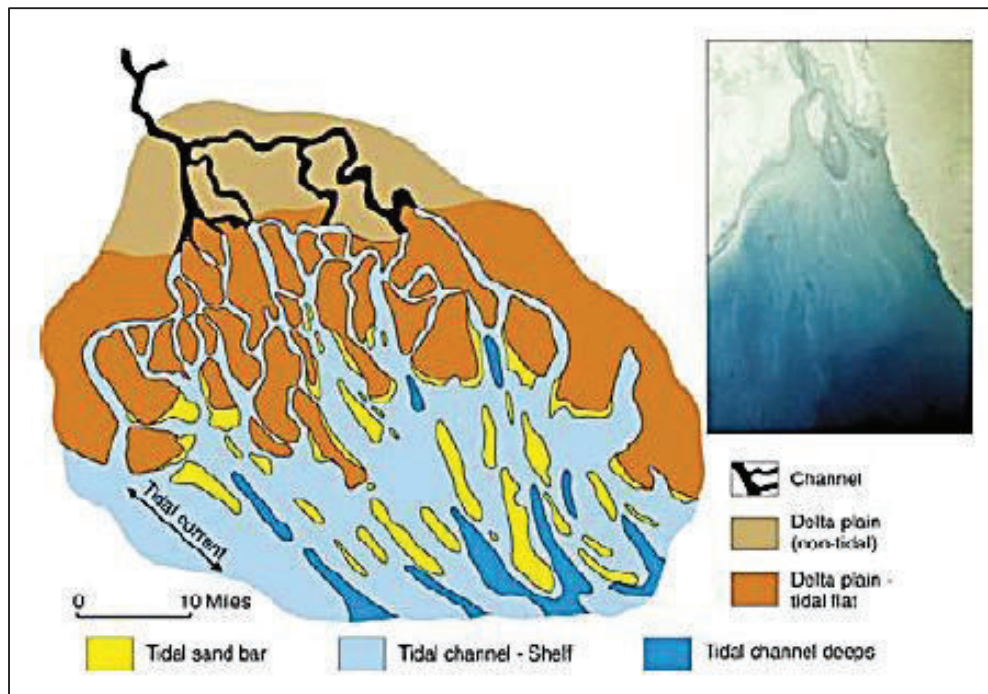
En deltas dominados por ríos, los sedimentos del prodelta son típicamente laminados y heterolíticos en capas delgadas de lutitas con o sin arenas. Las lutitas y areniscas son masivas y pueden formar capas gradadas. Las capas gradadas reflejan depositación de flujos hiperpícnicos generados en la boca del río durante inundaciones de alta descarga (Wright, 1977 en Bhattacharya, 2006). Características de suaves deformaciones resultan de tasas de sedimentación alta y son comunes en deltas con influencia de ríos (Figura 3.13)

### ***Deltas con predominancia de las mareas***

Si el río desemboca en un mar macromareal (rango mareal mayor de 4 m) los procesos en su desembocadura sufren también grandes modificaciones. Así, las corrientes mareales interfieren con las fluviales provocando una rápida mezcla de aguas en la vertical, y disminuyendo así la importancia de la flotabilidad. Las corrientes mareales son casi siempre más importantes que las fluviales (Figura 3.14)



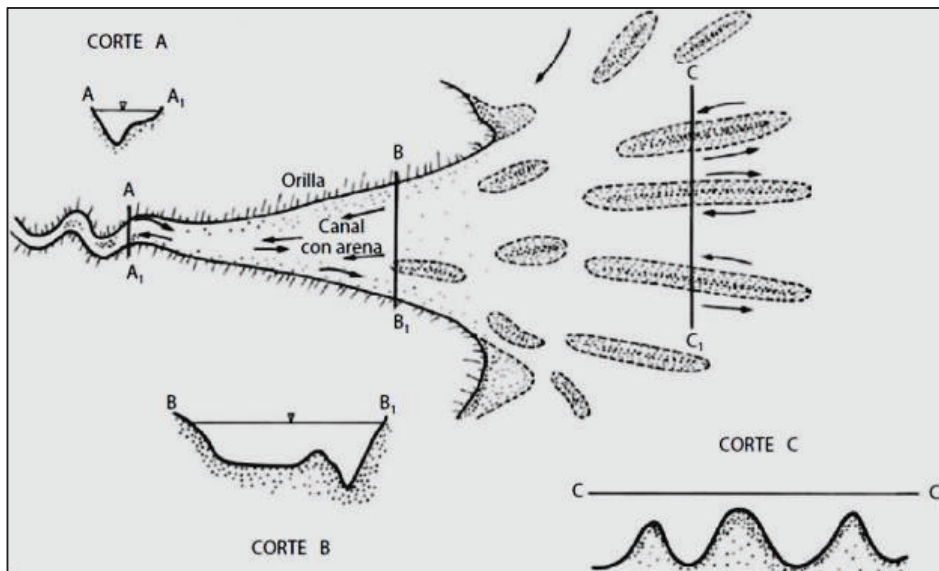
**Figura 3.13** Estructuras de deformación (load casts) en **A)** Lutitas de prodelta **B)** Capas de arenisca deformada sobreyacidas por capas laminadas-paralelas a onduladas del frente deltaico (Tomada de *Bhattacharya, 2006*)



**Figura 3.14** Ilustración esquemática de un delta dominado por mareas (Tomado de *Slatt, 2006*)



Se caracteriza por canales distributarios con desembocadura ensanchada, bordeadas por llanuras tidales arcillosas (tidal flat, mud flat) y canales meandriiformes aguas arriba. Los *canales distributarios* generalmente carecen de albardones (levées). En el canal se acumulan arenas, a menudo bajo la forma de barras de meandros. Estos depósitos son más extensos que los de los deltas fluviátiles. Las *zonas intercanales* de la llanura deltáica están constituidas por llanuras limosas tidales y pantanos. En las desembocaduras, la arena es depositada bajo la forma de barras tidales, cuya forma depende de la acción de las corrientes de flujo y refluo; a veces están alargadas otras veces lobuladas. Contiene figuras de corriente con sentidos opuestos traduciendo las direcciones opuestas de flujo y refluo (Figura 3.15)



**Figura 3.15** Sedimentación teórica en la desembocadura de un río dominado por las mareas (Modificado de Wright (1977); en Archie, 2010)

Progradan sobre la arcillas marinas del prodelta, formando secuencias granocrecientes con base gradacional (Elliot, 1986; Allen, 1989 y Chamley, 1989 modificado por Jaillard, 1993). La progradación de deltas de este tipo da lugar a depósitos con grandes cambios laterales de facies, debidos a la complejidad de las corrientes que distribuyen los sedimentos, migración lateral rápida de los canales distribuidores y de las barras longitudinales de desembocadura y relleno o excavación de nuevos canales en períodos de tiempo muy cortos.

La morfología del canal y las colinas con una tendencia perpendicular a la línea de costa, es una de las principales características de los deltas dominados por marea, y puede ser claramente detectado en los mapas de litofacies (Roger, 1984). La granocrecencia y la baja bioturbación indican progradación deltaica (Bhattacharya, 2006)

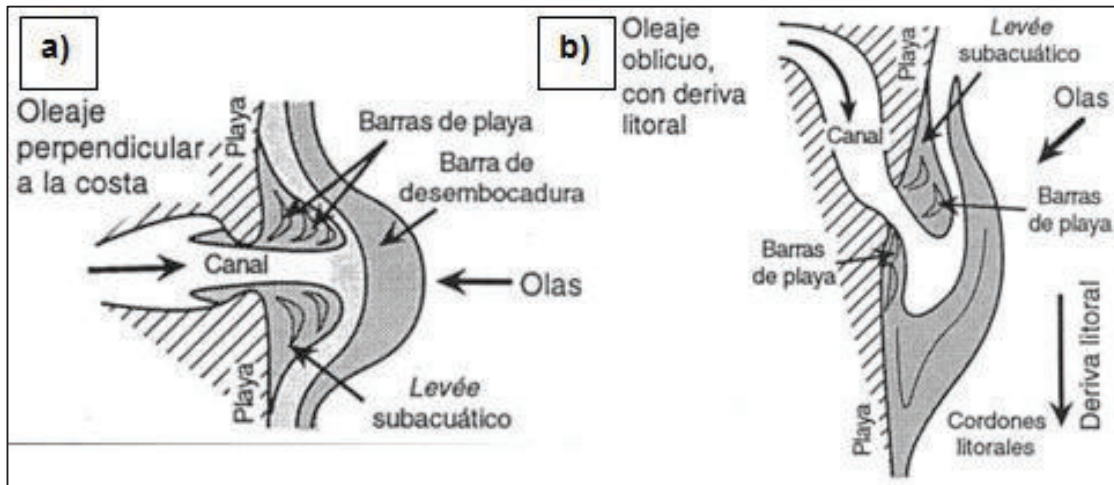
### ***Deltas con predominancia de oleajes***

Si la plataforma continental frente a un delta es de pendiente pequeña, la energía de las olas se amortiguará casi por completo antes de alcanzarle, pero, en otras condiciones, el oleaje modificará profundamente los procesos en la desembocadura (Wright, 1977). La interacción olas-efluente hace que éstas rompan en profundidades mayores de las normales y la mezcla agua dulce-agua salada se intensifique.

Esta deceleración y mezcla provoca una sedimentación rápida dando lugar a la formación de una barra en forma de luna creciente y grandes diques subacuáticos en la desembocadura; la acción de las olas retoca el techo de los diques, formándose barras de rompientes que migran hacia tierra por encima de los *levees*. Si el río tiene una descarga continua, la desembocadura se mantiene abierta, pero si es estacional puede cerrarse temporalmente por un cordón litoral. El perfil final es mucho menos convexo que en el caso de acción fluvial única. Las corrientes de resaca se concentran en los flancos del delta y pueden transportar gran cantidad de arena hacia la plataforma. Normalmente, la redistribución de los sedimentos es asimétrica y la forma inicial del delta se modifica profundamente (Figura 3.16)

La situación normal es que los vientos dominantes, y por tanto el oleaje, sean oblicuos a la costa. Entonces la situación anterior se modifica por la presencia de una deriva costera de los sedimentos más o menos acusada. Los sedimentos de origen fluvial se re trabajan en forma de extensos cordones playeros, y si la acción es muy intensa el delta no se distingue ya de una costa lineal clástica. El juego entre aporte fluvial (continuo o estacional) y el oleaje (temporales) puede dar una serie de cordones playeros paralelos si la descarga de sedimentos es suficientemente importante. En la zona deltaica situada en la cabecera de la

deriva litoral, la influencia del oleaje y estructuras resultantes es mayor que en la zona de cola de la deriva, que recibe la mayor parte de la carga sólida de los canales distribuidores (Battacharya, 2006).

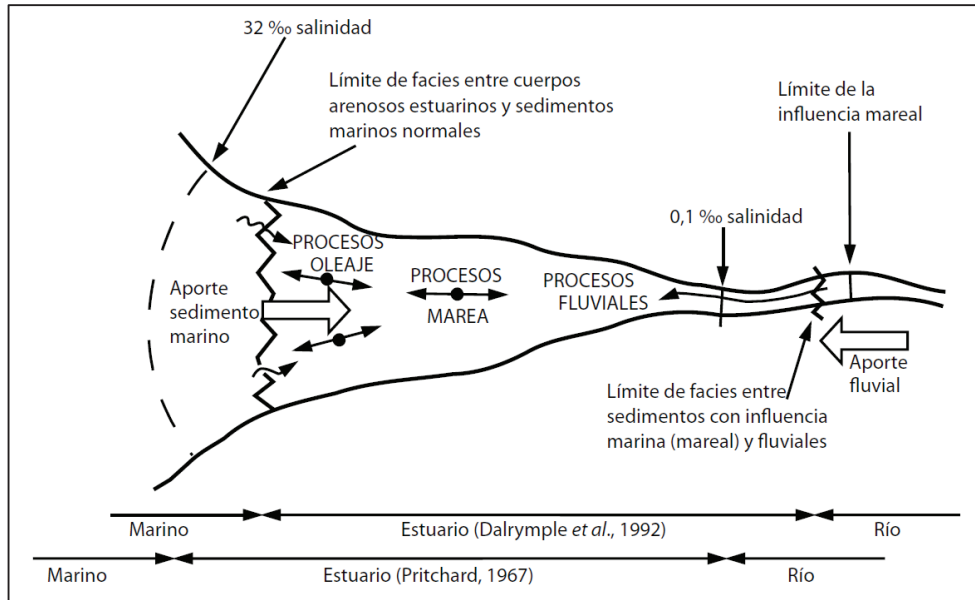


**Figura 3.16** Organización de la desembocadura de un río en una costa dominada por el oleaje, las olas pueden llegar perpendicularmente a la costa (a), u oblicuamente (b), induciendo una deriva continental (Tomado de Rodríguez, 2002)

La influencia del oleaje depende, evidentemente, de su energía, pero también se puede ver modificado por la pendiente de la plataforma continental y por la capacidad del río de modificar ésta mediante aportes de sedimentos; cuanto más baja sea la pendiente de la plataforma, la atenuación de la acción del oleaje será mayor.

### 3.2.1.2 Estuarios

Es una desembocadura de un río, donde hay una mezcla de agua dulce y agua de mar con la acumulación de sedimentos en los confines del estuario, pero sin ninguna acumulación en el mar. Desembocaduras de los ríos ordinarios son entornos donde no hay una mezcla significativa de las aguas y los sedimentos introducidos por el río, son retrabajados y llevados por procesos tales como las olas y las mareas (Shepherd, 2009) (Figura 3.17).



**Figura 3.17** Representación esquemática de un estuario según Dalrymple et al., 1992 y Pritchard, 1967 (Tomado de Archie, 2010)

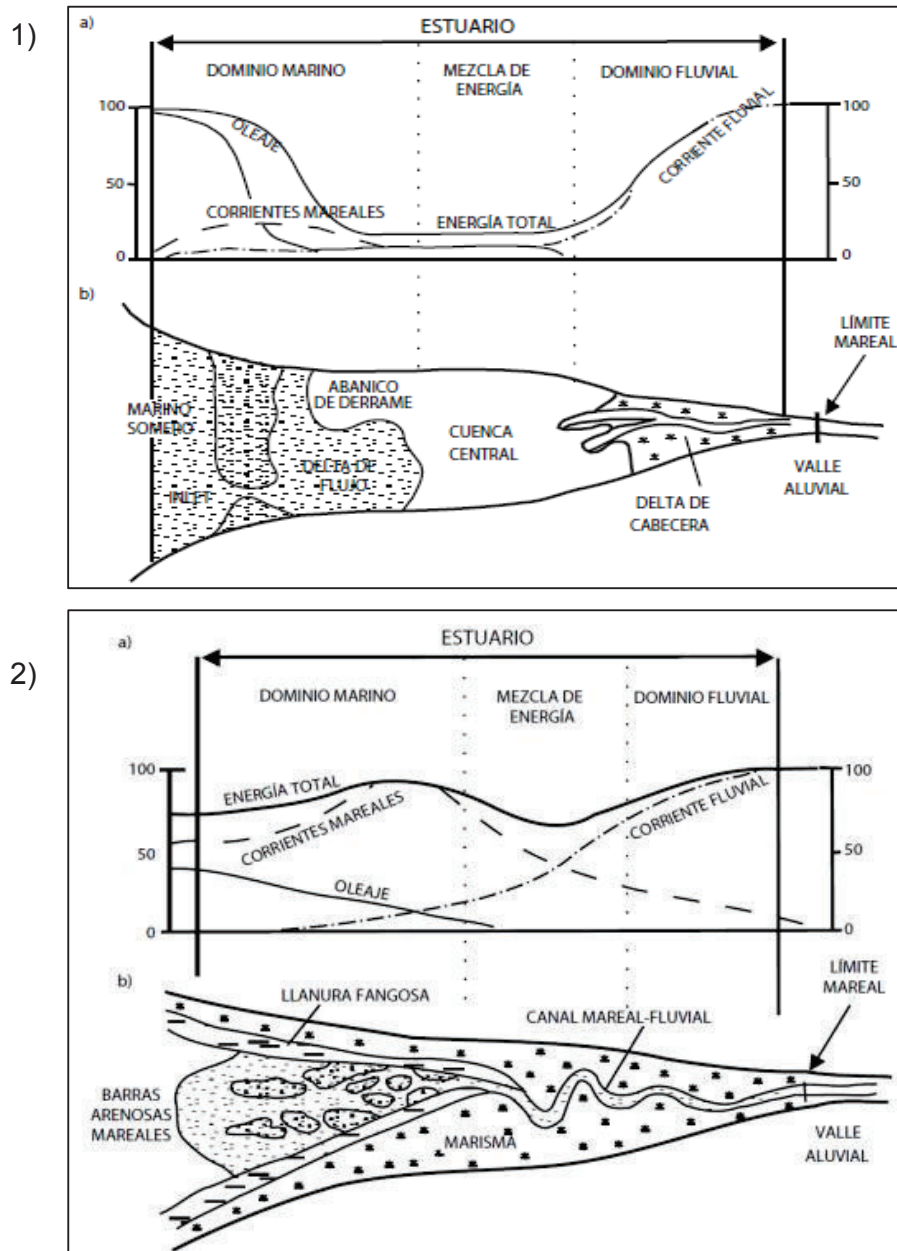
Esta definición implica que un estuario no es un tipo de delta, sino un sistema independiente, cuyo desarrollo depende de la morfología de la costa y de un contexto eustático transgresivo. Por lo tanto son sistemas de corta duración a la escala geológica, ya que si aumentan los aportes sedimentarios o si baja la velocidad del alza eustática, el estuario se rellena y se convierte en delta. Según esta definición, la instalación de una sedimentación estuarina traduciría una transgresión eustática. Mientras que la progradación de un delta representaría el prisma de alto nivel. Es decir que si suceden en el tiempo. Por lo tanto depósitos estuarinos se encuentran intercalados dentro de las cuencas deltáicas, formando sistemas llamados *parállicos*, es decir, fluvial distal con intercalaciones marinas o salobres (Dalrymple et al., (1992) en Jaillard, 1993)

Los estuarios están caracterizados por dividirse en tres zonas:

*Zona exterior (distal o boca)*, dominada por procesos marinos (corrientes de oleaje y/o mareales), que induce una sedimentación gruesa (arenas) y el transporte neto de carga de fondo es hacia el continente.

*Zona central*, de baja energía donde las corrientes marinas igualan a la energía fluvial y se caracteriza por la depositación de sedimentos de grano fino.

*Zona interna*, dominada por procesos fluviales pero con influencia de marea, que introduce sedimentación gruesa, donde el transporte neto de los sedimentos es hacia el mar (Archie, 2010).



**Figura 3.18** 1) Estuarios dominados por el oleaje: a) Variación de la energía, b) Distribución de facies en planta. 2) Estuarios dominados por mareas: a) Variación de energía, b) Distribución de facies en planta (Modificado de Dalrymple et al., (1992) en Archie, 2010)

### *3.2.1.2.1 Tipos de estuarios*

Debido a que los estuarios se desarrollan durante transgresiones que provocan la inundación y desaparición de los deltas, existen dos tipos de estuarios (Figura 3.18):

#### ***Estuarios dominados por olas***

Este tipo de estuarios se caracterizan por una alta energía en la boca, un mínimo muy pronunciado en la parte central, y nuevamente una significativa energía fluvial en la cabecera.

#### ***Estuarios dominados por mareas***

En este tipo de estuarios, la energía de la corriente de marea excede la energía del oleaje en la boca del estuario y construye barras mareales longitudinales, que rompe la energía del oleaje, si existe. Además poseen forma de embudo en planta que acelera las corrientes de marea aguas arriba, hasta el punto donde la fricción contra el fondo y los bordes compensen dicha energía. La energía fluvial decrece aguas abajo.

Una vez conocidos los aspectos más importantes de los deltas y los estuarios, es bueno hacer una distinción entre ellos para lograr una mejor identificación del medio ambiente (Dalrymple et al., 1992)

#### ***Delta***

- Progradación hacia el mar de la línea de costa de origen fluvial
- Recibe sedimentos derivados directamente del río alimentador
- Contiene facies fluviales (dominantes), de oleaje y de marea
- Transporte de sedimentos unidireccional
- Puede existir solamente cuando el suministro de sedimentos excede al levantamiento y/o subsidencia del nivel del mar
- Exhibe una tendencia progradacional

## ***Estuario***

- Posición hacia el mar de un sistema de valle inundado
- Recibe sedimentos tanto de fuentes fluviales como marinas
- Contiene facies de marea, oleaje y fluvial
- Representan transporte bidireccional de sedimentos
- Puede existir solamente durante el levantamiento del nivel del mar
- Es definido como un sistema deposicional transgresivo
- Pueden transformarse en deltas solo después de que los estuarios se hayan llenado completamente

## **3.3 CONCEPTOS GENERALES DE ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL**

La estratigrafía secuencial, constituye una subdivisión de la estratigrafía, y tiene una gran variedad de definiciones, siendo la más simple “la subdivisión del relleno sedimentario de las cuencas en paquetes relacionados genéticamente, limitados por disconformidades y/o sus conformidades correlativas” (Emery y Myers, 1996)

### **3.3.1 SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS**

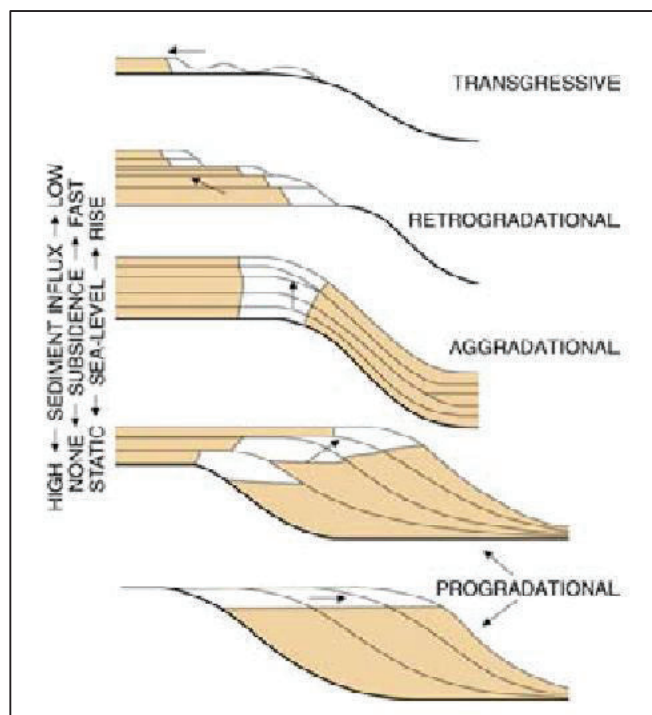
Para este caso se tomara en cuenta solamente aquellas superficies estratigráficas que se asemejan al estudio realizado.

- **Borde de secuencia:** Es el contacto que separa los paquetes de estratos caracterizados por un similar estado de depositación. Tales contactos representan límites de secuencia que marcan cambios en el régimen de la depositación y es importante para la correlación regional. El estudio de los límites no están aislados del análisis de facies (Catuneanu, 2002)
- **Superficie de Máxima Inundación:** Es la superficie que corresponde a la mayor transgresión marina, sedimentos pelágicos-hemipelágicos, marinos profundos y de plataforma asociados a esta superficie son el resultado de tasas de depositación lentas, estos forman secciones condensadas. Una

superficie de máxima inundación es un marcador de correlación crono-estratigráfico utilizado a escala regional y local (Emery y Myers, 1996)

### 3.3.2 ESTILOS DE APILAMIENTO DE SEDIMENTOS

- **Progradación:** Migración hacia la cuenca de las facies cuando el suplemento de sedimento excede el espacio de acomodación. La progradación se expresa por cambios hacia la cuenca con la formación de cliniformes (Figura 3.19 y 3.22).
- **Agradación:** Acreción vertical de los estratos cuando el suplemento sedimentario y la tasa del espacio acomodación están aproximadamente balanceadas (Figura 3.19).
- **Retrogradación:** Migración hacia tierra de facies cuando la tasa del suplemento sedimentario es menor que el espacio de acomodación. Movimientos hacia tierra de la línea de costa se refiere a la trasgresión (Figura 3.19).



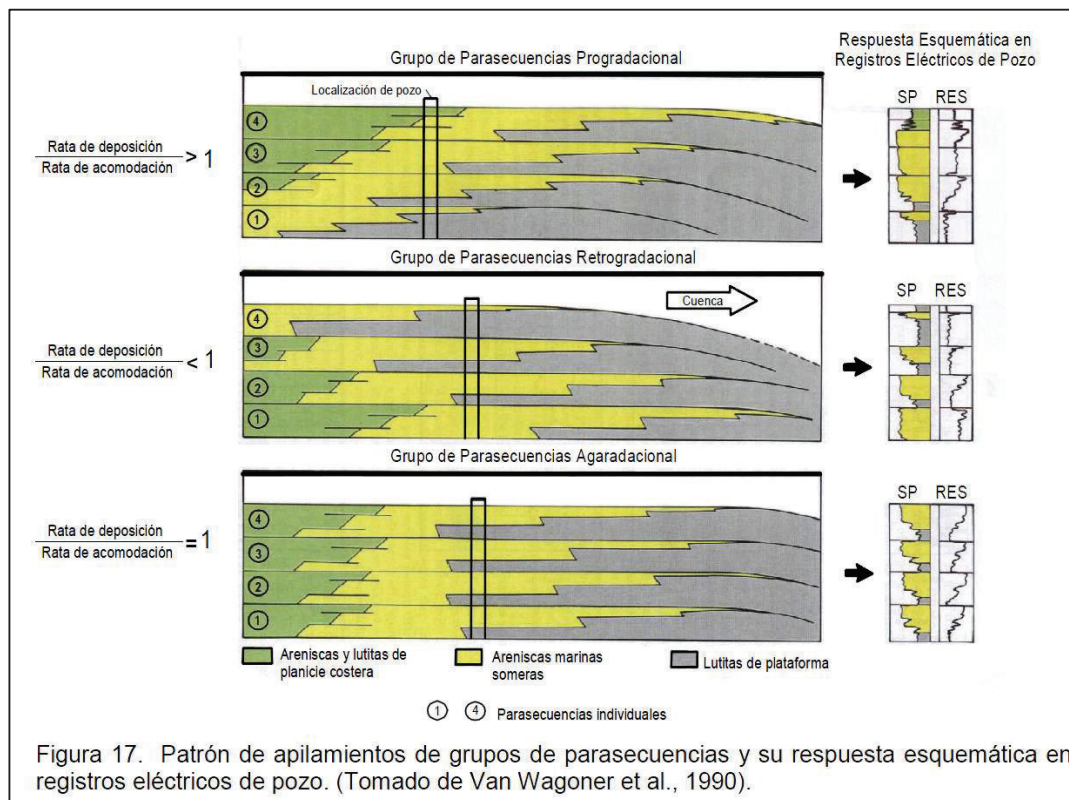
**Figura 3.19** Arquitectura deposicional definida por la efluencia de sedimentos, subsidencia y el nivel del mar (Tomado de Slatt, 2006)



### 3.3.3 PARASECUENCIA

Son sucesiones relativamente concordantes de estratos o grupos de estratos genéticamente relacionados, limitados por superficies marinas de inundación o por sus superficies correlativas (Van Wagoner et al., 1990). La Parasecuencia es una de las unidades estratales fundamentales en la secuencia estratigráfica (Mulholland, 1998).

- **Grupo de parasecuencias:** Es una sucesión de parasecuencias genéticamente relacionadas, formando un patrón de apilamiento distintivo, limitado por una superficie de inundación o por sus superficies correlativas, pueden ser: progradacionales, retrogradacionales y agradacionales (Figura 3.20), dependiendo de la razón existente entre la tasa de acomodación y la tasa de depositación (Van Wagoner et al., 1990)

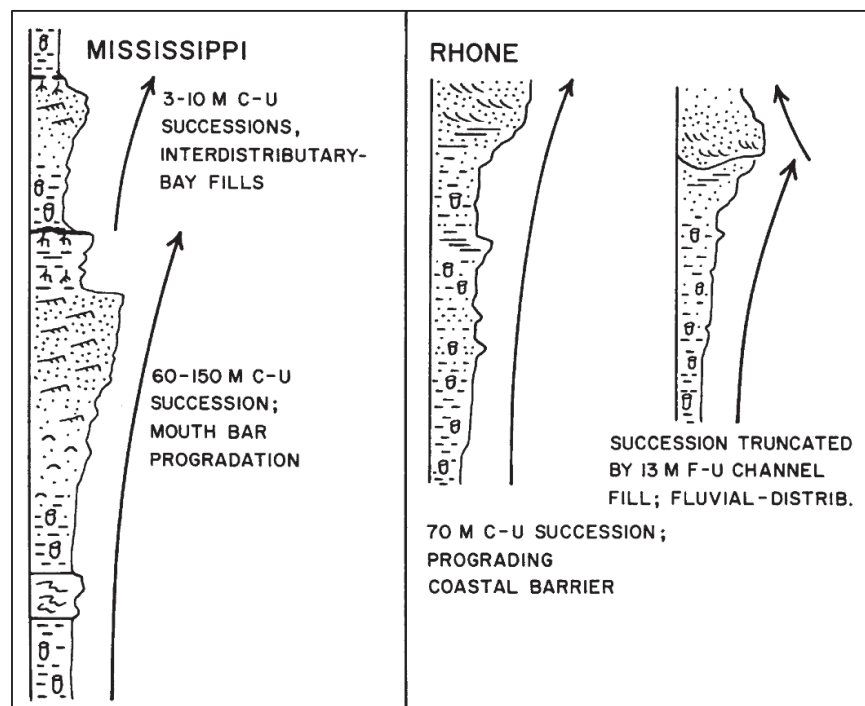


**Figura 3.20** Patrón de apilamientos de grupos de parasecuencias y su respuesta esquemática en registros de pozos (Tomado de Van Wagoner et al., 1990)

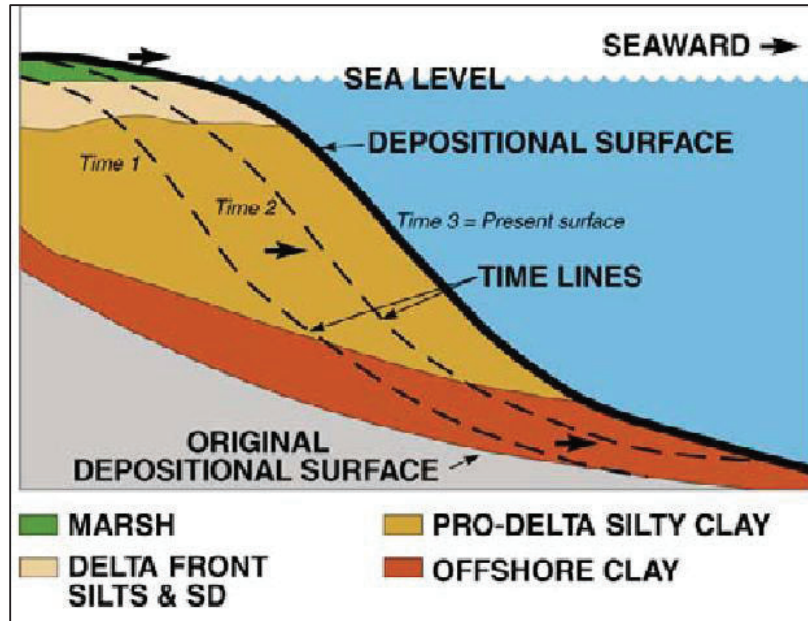
- **Parasecuencia progradacional:** Parasecuencias sucesivamente jóvenes son depositadas hacia la cuenca cuando existe una regresión marina.

La progradación del delta (Figura 3.21) comúnmente produce una sucesión de facies de grano grueso hacia el tope mostrando una transición de facies más finas del prodelta a facies más arenosas del frente del delta y ambientes de barra de desembocadura (Elliott, 1986 en Bhattacharya, 2010)

Dependiendo de la trayectoria de la línea de costa durante la progradación, facies significativas de la planicie del delta pueden acumularse por encima y detrás del frente deltaico (figura 3.22)



**Figura 3.21** Típica sucesión de facies con granocrecencia formada como resultado de la progradación de lóbulos deltaicos y barras de desembocadura (Tomado de Bhattacharya, 2010)



**Figura 3.22** Proceso de la progradación de un delta. Las líneas de tiempo forman clinoformas y cortan límites de facies porque las facies migran hacia el mar durante la progradación (Tomado de Slatt, 2006)

- **Secuencia:** Es una sucesión relativamente concordante de estratos relacionados genéticamente limitados por disconformidades y sus conformidades correlativas (Mitchum et al., 1977). Las parasecuencias y grupos de parasecuencias son las unidades fundamentales que forman las secuencias.

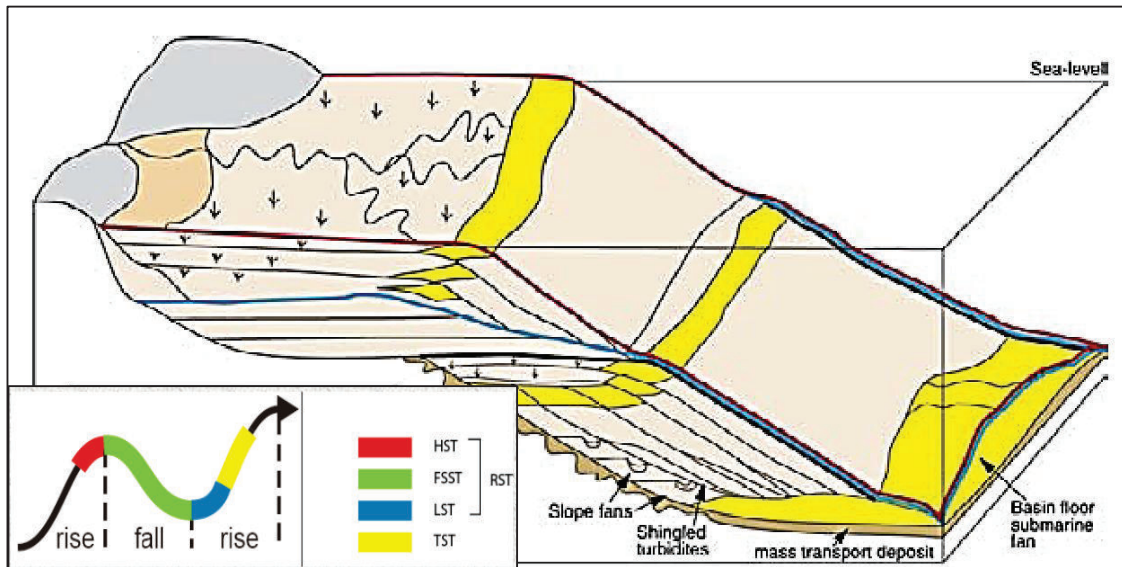
### 3.3.4 SYSTEMS TRACTS

Los cortejos sedimentarios son secuencias deposicionales y son interpretadas mediante los patrones estratales de apilamiento, posición dentro de la secuencia y tipos de superficies o límites, y se les asigna posiciones particulares dependiendo de las fluctuaciones eustáticas (Catuneanu, 2002)

#### 3.3.4.1 Highstand systems tract (HST)

El HST se forma durante el estado tardío de la subida del nivel del mar, generando una regresión normal de la línea de costa. Consecuentemente la

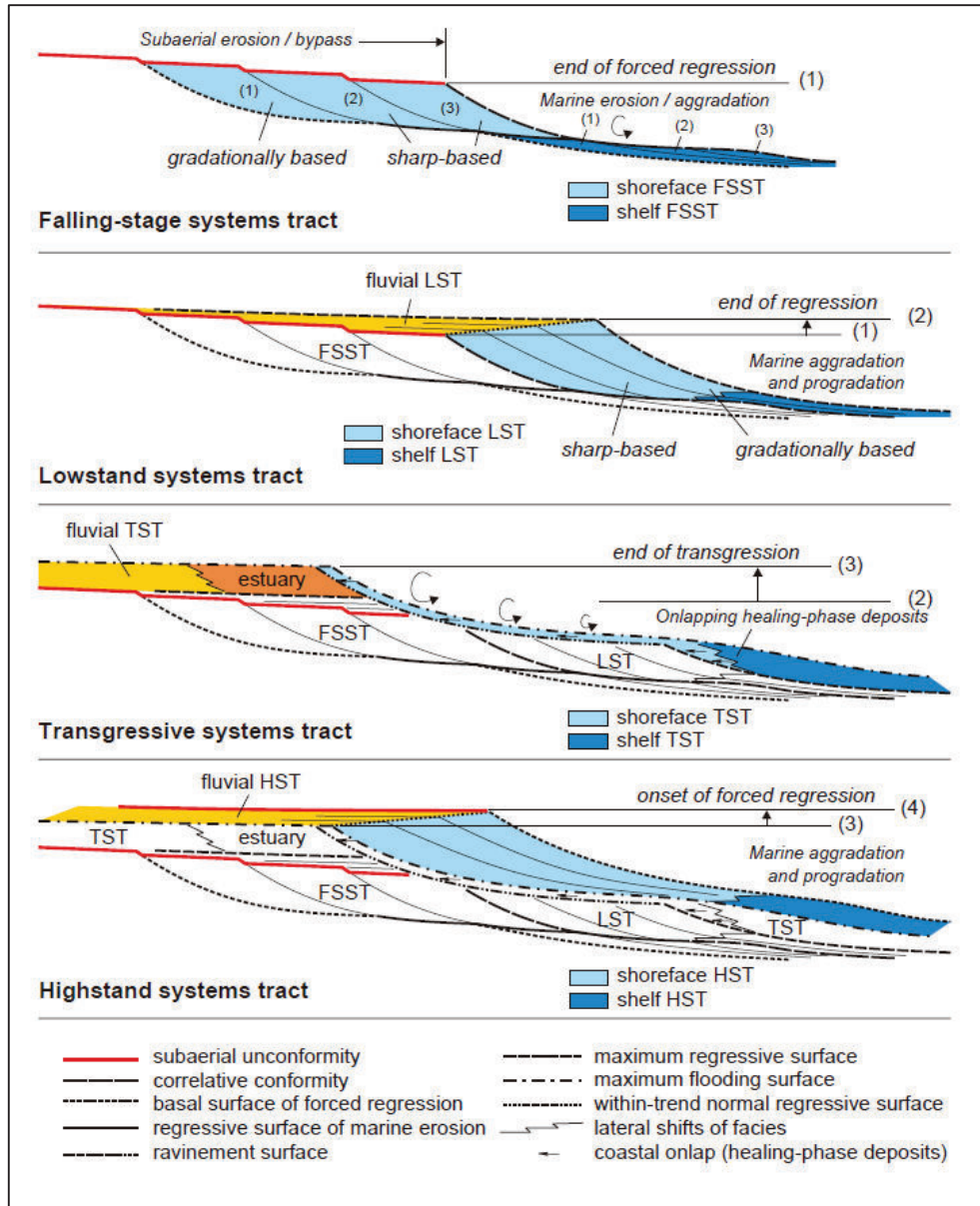
tendencia deposicional y los patrones de apilamiento son dominados por una combinación de procesos de agradación y progradación con geometrías de clinoformas (Figura 3.23).



**Figura 3.23** Característica del perfil de la plataforma de la cuenca durante la caída en la tasa de la subida del nivel del mar (Modificado de Slatt, 2006)

El HST es limitado en la base por una superficie de máxima inundación y al tope por una superficie basal de una regresión forzada y la porción más vieja de una superficie regresiva de la erosión marina (Figura 3.24)

Parasecuencias en el HST hacen onlap sobre el límite de secuencia en dirección del continente y hacen downlap sobre la superficie de transgresión en la dirección del mar.



**Figura 3.24** Arquitectura detallada de los cotejos sedimentarios y las superficies estratigráficas en la zona de transición entre ambientes fluvial y marino somero (Tomado de Catuneanu, 2006)

## **CAPÍTULO 4**

### **INTEGRACIÓN DE DATOS DE POZOS, ATRIBUTOS SÍSMICOS Y REGISTROS ESPECIALES**

#### **4.1 RECOPIACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE INFORMACIÓN**

Este estudio está basado en la recopilación de información de 158 pozos, pertenecientes a las Areniscas M-1, de la formación Napo, ubicados en el Noreste de la Cuenca Ecuatoriana.

El uso del software es importante para el estudio de los datos recopilados, por lo que como paso previo a la evaluación de la configuración geológica, se debe realizar la carga de la información de los pozos al programa utilizado (Petrel, propiedad de Schlumberger). Esta información incluye los registros tomados por las herramientas. Ver Anexo 1.

Adicionalmente se utilizó información de:

- Núcleos:
  - Análisis convencional perteneciente a los pozos con núcleo: P53 y P87.
  - Registros gamma ray espectrales perteneciente a los núcleos: P53 y P87.
- Datos de presiones de 42 pozos.
- Cubo sísmico.

#### **4.2 ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS DATOS RECOPIADOS**

Una vez cargados los datos en el programa, los datos de núcleo fueron ajustados en profundidad para correlacionar las propiedades petrofísicas derivadas de los registros. Al editar y validar todas las curvas cargadas en Petrel, se obtuvo una mejor información de los registros que pueden ser usados para la evaluación.

#### **4.2.1 INFORMACIÓN DE NÚCLEO**

La información disponible corresponde a núcleos de los pozos P53 y P87.

- Para el pozo P53 se adquirió una profundidad de investigación de 62 pies, pertenecientes a la Arenisca M1
- Para el pozo P87 se adquirió una profundidad de investigación de 59 pies, pertenecientes a la Arenisca M1

##### **4.2.1.1 Análisis Convencional de Núcleo**

Mediante la recopilación de la información proporcionada (fuente confidencial), acerca de los informes existentes, referentes a las descripciones de láminas delgadas, y de levantamiento de núcleos, se propone una noción, de las características deposicionales, para la Arenisca M1 en el área en estudio. Se hará referencia particularmente de los aspectos: petrográficos, sedimentológicos, y de facies que ayuda a realizar un análisis más detallado en la zonificación de la Arenisca.

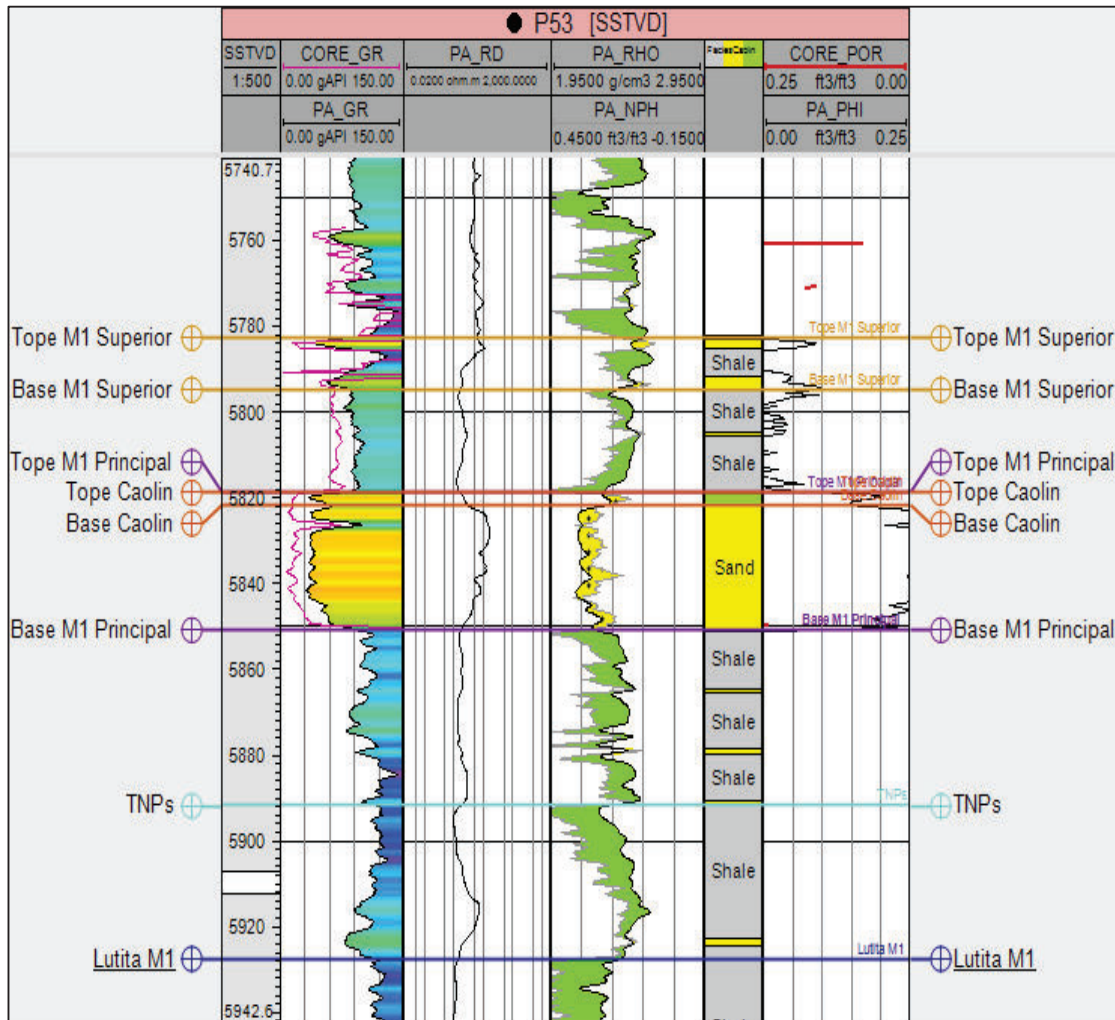
La información de los análisis convencionales de núcleo incluyó datos de porosidad y permeabilidad, además, de que poseen un juego completo de registros eléctricos (Figura 4.1).

#### **4.2.2 REGISTROS DE POZOS**

Para cada uno de los pozos en estudio se observó la correlación en profundidad de los registros de resistividad, densidad, neutrón y potencial espontáneo con respecto al registro de rayos gamma, además del análisis de los registros de gamma ray espectrales. Donde se determinó los topes y bases de la Lutita M1 que representa un marcador regional, Arenisca M1 Principal, Arenisca M1 Superior y de las Areniscas con contenido de caolinita.

Se determina a las areniscas con contenido de arcilla caolinita ya que las curvas son modificadas por el contenido de la misma, además el porcentaje del

contenido de caolinita es variable dependiendo del ambiente de depositación, aumentando donde existe interacción de agua dulce con agua salobre.

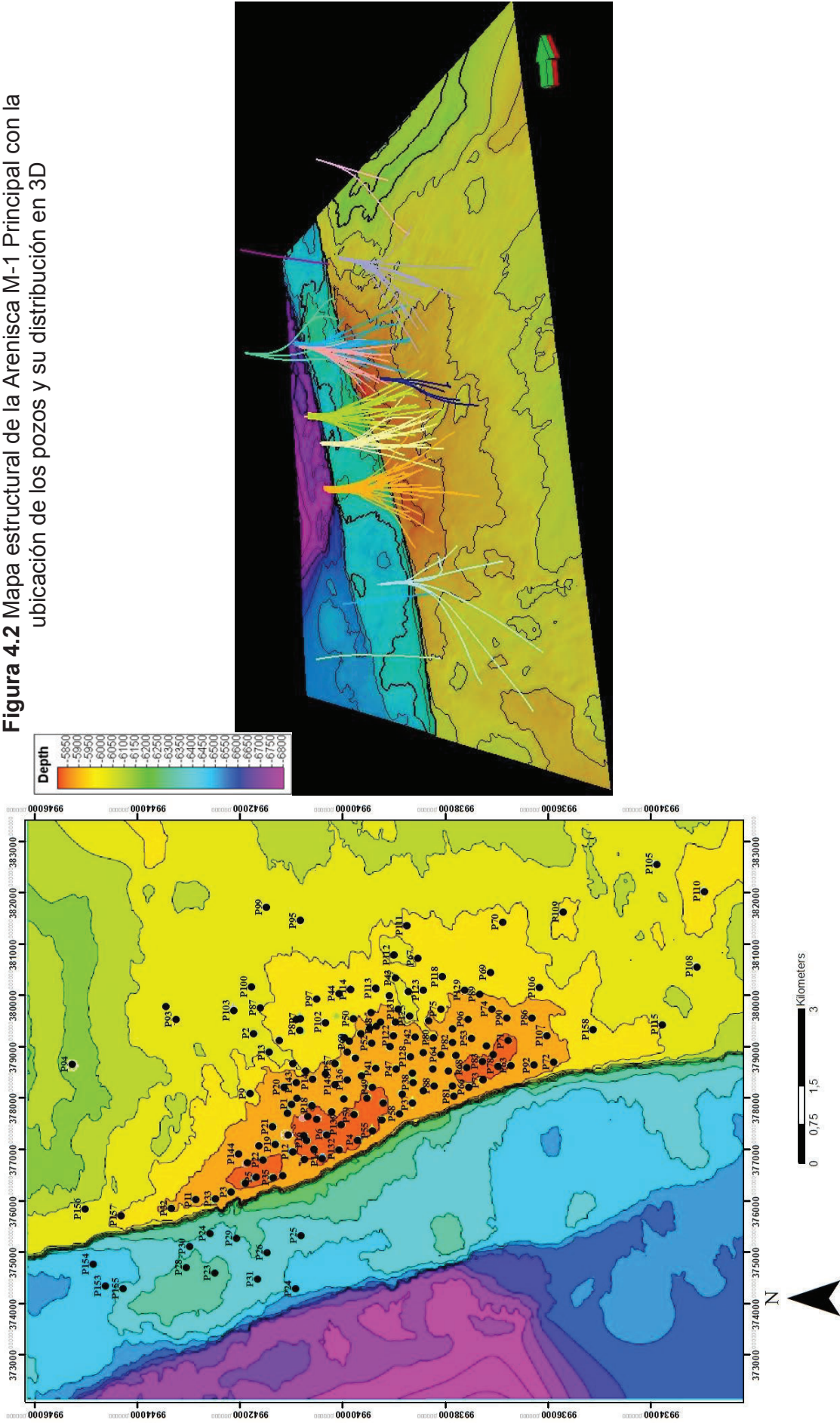


**Figura 4.1** Registros eléctricos del pozo P53 correlacionado con los datos de porosidad, permeabilidad y gamma ray tomados en el núcleo.

En el siguiente gráfico (Figura 4.2) se observa la distribución areal de los pozos en tres dimensiones y la desviación que posee cada uno de ellos, pudiéndose observar que el máximo ángulo de inclinación supera los 30° en algunos de los pozos, en las zonas de interés y por ende, existe variación en el buzamiento y en los espesores de las arenas de interés, datos que deben ser tomados en cuenta para no causar confusiones.



**Figura 4.2** Mapa estructural de la Arenisca M-1 Principal con la ubicación de los pozos y su distribución en 3D



Para visualizar la desviación de cada pozo, debido a que no todos los pozos son verticales, se debe incluir una base de datos que contenga posicionamiento X-Y, ángulo de desviación con la horizontal (desvi) y ángulo de desviación con la vertical (azimut), conocido como los SURVEYS, todos estos valores sirven para:

- Cálculo de la profundidad verdadera (TVD)
- Verdadero recorrido del pozo
- Posible afectación de la lectura de los espesores netos en las diferentes arenas
- Buzamientos de las arenas

#### 4.2.2.1 **Electrofacies**

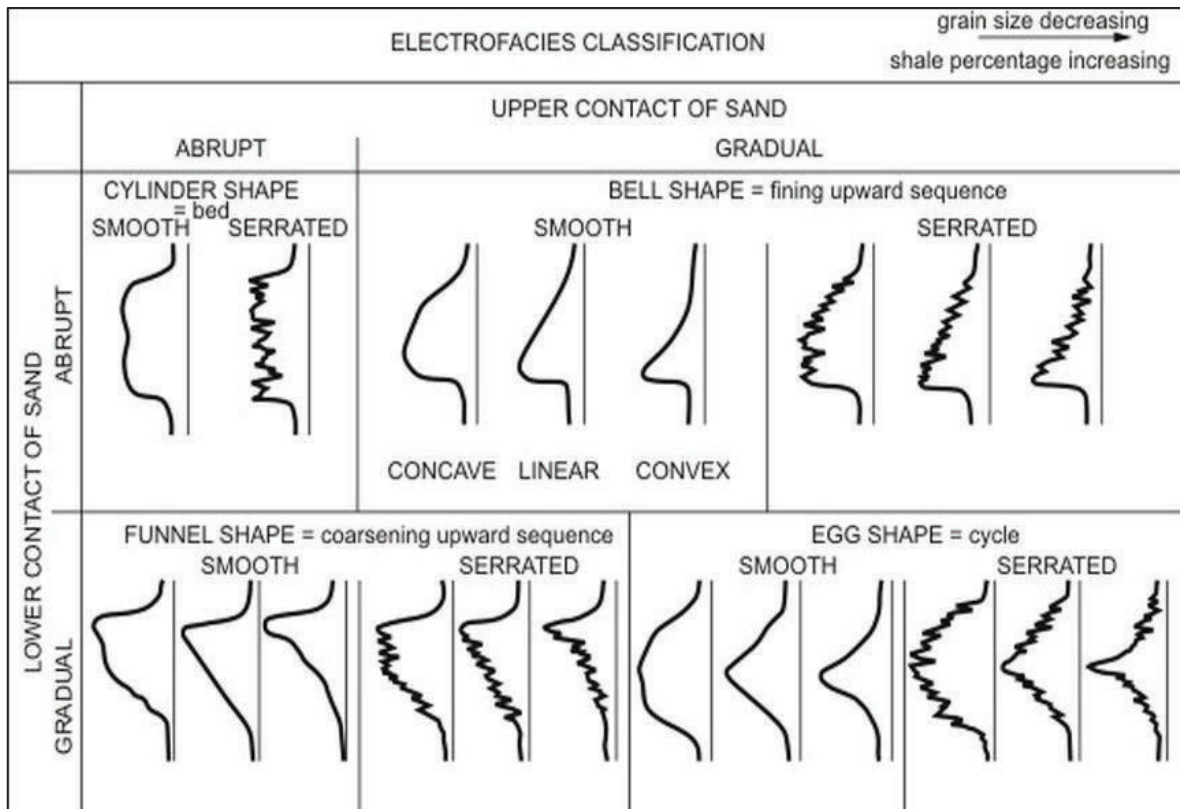
El término “electrofacies” fue introducido por Serra y Abbott (1980) y fue definido como un set de respuestas de registros que caracterizan un evento o permite que estos se distingan de otros.

Con las electrofacies se establece columnas litológicas verticales, se identifica secuencias sedimentarias y se correlacionan secciones de un pozo con otro. Los registros más utilizados con esta finalidad son aquellos cuya respuesta está influenciada por los cambios litológicos y no por los fluidos contenidos en la roca, tales como: potencial espontáneo (Sp), rayos gamma (Gr), densidad, neutrón, resistividad y acústico. (CIED, 1998)

El criterio utilizado para la caracterización de facies, consiste en identificar la forma del registro. En las curvas SP o GR, se debe estudiar el tipo de contacto entre arenas y lutitas, el carácter de la curva (lisa o aserrada, cóncava, rectilínea o convexa); de esta forma se obtiene una idea de la granulometría, el efecto de arcillosidad y los niveles de energía (Figura 4.3).

La forma del registro posee una relación directa con el tamaño de grano (Rider, 2000):

- Si el GR o SP posee forma de embudo, es decir, un engrosamiento hacia arriba, puede tratarse de una progradación deltáica o una progradación marino somera.
- Si el GR o SP posee forma de campana, es decir, un afinamiento del grano hacia arriba, puede tratarse de un canal aluvial/fluvial pero también de una plataforma arenosa transgresiva.



**Figura 4.3** Diagrama generalizado que muestra las respuestas de rayos GR o del registro SP (Tomado de Elseiver, s.f.)

Pero se debe tener cuidado con la evaluación de las electrofacies, ya que el gamma ray es modificado por la cantidad de Potasio, Thorio y Uranio que pueden dar valores altos de gamma ray y aun así tratarse de areniscas. Por lo que para este estudio se toma en cuenta la relación del gamma ray junto con la resistividad, neutrón-densidad y posterior a esto en los registros donde no se tienen bruscos cambios sobre las areniscas se efectúa la evaluación de electrofacies

### 4.2.3 INTERPRETACIÓN SÍSMICA

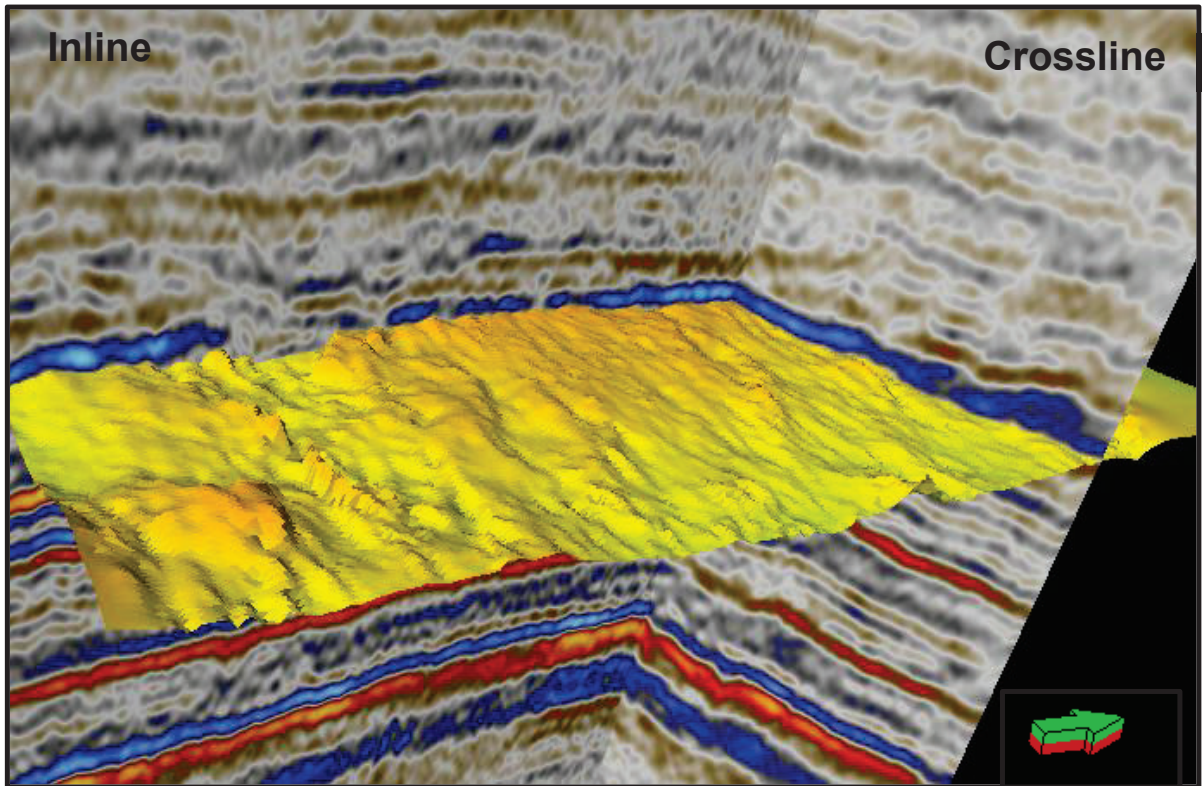
La interpretación sísmica se realiza partiendo del punto con mejores datos de correlación sísmico-geológica, por ejemplo un pozo con un sismograma sintético, de ahí se elegirán dos o tres reflectores continuos con importante significación geológica y/o prospectiva, desde ese punto se irá llevando el picado de los reflectores, con colores y nombres distintivos, en dirección a algún otro pozo con atado de datos entre sísmica y geología, en caso de contar con ellos. A la vez durante este avance es necesario ir interpretando fallas, al menos las de mayor importancia.

Este gradual avance de la interpretación es conveniente hacerlo en sísmica 2D cerrando rectángulos de la malla, para ir con mayor certidumbre, dado que si al terminar la vuelta se llega un reflector arriba o uno abajo del punto de partida, significa que habrá que revisar dónde se ha cometido un error.

Por otro lado, en sísmica 3D se van interpretando líneas (inlines) paralelas y cercanas, cada dos o cuatro líneas, por comparación de cada una con la siguiente, y a la vez se va controlando con dos o tres transversas que las cruzan en ciertos sectores estratigráficos, por ejemplo en el bloque alto y en el bloque bajo respecto a una falla importante que es perpendicular a las líneas que se está rayando. También se puede controlar con secciones horizontales y visualizaciones en perspectiva (Figura 4.4).

Las líneas intermedias pueden completarse en una etapa posterior con alguna opción de seguimiento automático de horizontes, la cual en casos favorables se puede emplear desde el principio de la interpretación, aunque siempre se deben controlar sus resultados y corregir todo lo que haga falta.

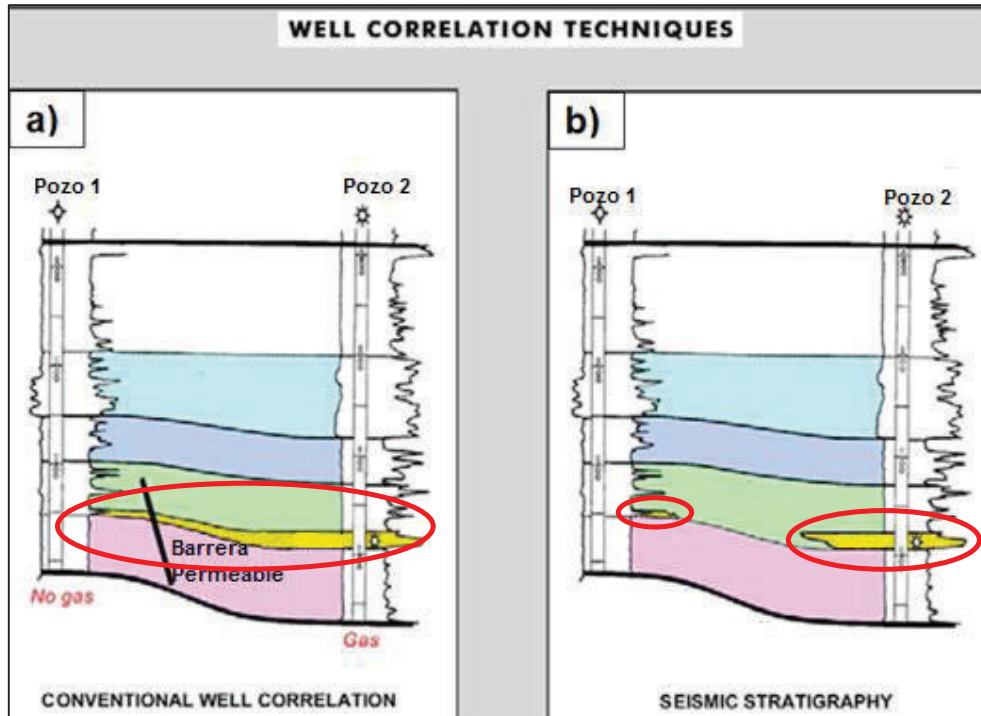
Conforme la investigación avanza se podrá nominar las fallas, agregar las más pequeñas, rayar reflectores adicionales y eventualmente recurrir al cálculo y visualización de atributos sísmicos, etc.



**Figura 4.4** Cubo sísmico 3D, mostrando una línea inline y otra crossline en la base de M-1 Principal

Por último, o en forma progresiva, se podrá hacer el grillado y curvado de mapas isócronos y otros. Con este fin se deben dibujar previamente los polígonos de falla en planta, para cada nivel guía que se desee mapear, de modo que las curvas o contornos se ajusten al esquema de bloques geológicos interpretados.

La sísmica además ayuda a determinar de mejor manera la continuidad de las litologías; ya que, estratigrafías convencionales de acuerdo con datos obtenidos a partir de estudios de afloramientos, muestras de roca y mediciones petrofísicas de pozos permiten la identificación de litofacies, el medio ambiente de la deposición y la asignación de las edades. Pero los datos entre estos puntos de calibración normalmente se interpolan, y a menudo de una manera muy somera (Veeken, 1997), por lo que se puede obtener conclusiones erróneas sobre la naturaleza de los cambios en la geología del subsuelo (Figura 4.5).



**Figura 4.5** a) Tope y base de la correlación estratigráfica obtenida por interpolación de los resultados de registros eléctricos. b) Tope y base de la correlación estratigráfica obtenida de datos sísmicos (resultados más confiables) (Tomado de Veeken, 2007)

En la estratigrafía sísmica, la sísmica de reflexión proporciona una interpretación menos errónea para llevar a cabo procedimientos de interpolación. Igualmente permite la extrapolación hacia áreas menos exploradas, por lo que proporciona un medio para hacer predicciones sobre la evolución geológica en cuencas desconocida, donde el control es escaso.

## CAPÍTULO 5

### DISCUSIÓN Y RESULTADOS

#### 5.1 ANÁLISIS DE NÚCLEOS

##### 5.1.1 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

El análisis petrográfico tiene como base las descripciones de varias láminas delgadas elaboradas por CoreLab, las mismas que fueron obtenidas a partir de muestras de núcleos, que exponen principalmente las composiciones mineralógicas, porcentaje de minerales, las características texturales, diagénesis, y datos de porosidad.

Se elaboró cuadros que resumen la composición mineralógica y las características texturales

##### 5.1.1.1 Petrografía de la Arenisca M-1 en el pozo P53

Sobre la base de los análisis de nueve láminas delgadas descritas por CoreLab pertenecientes a la Arenisca M-1, se elaboró un cuadro resumen de la composición mineralógica y las características texturales (Tabla 5.1 y Figura 5.1)

ZONA	ARENISCA M-1
CLASIFICACIÓN	Cuarzoarenitas
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA	Cuarzo monocristalino (60%), trazas de feldespatos (4%) (microclina), trazas de mica (4%) (moscovita), minerales pesados (3%) y opacos (3%) subredondeados (pirita), arcilla caolinita (2%) (autígena, relleno primario de poros) está reemplazando parcial o totalmente a las micas y raramente se observa como disolución de

	feldespatos, clorita (1%) está asociada con la infiltración de las arcillas, además posee bitumen (1%) (trazas) probablemente se encuentre como revestimiento de los poros, posee clastos de lodolita (1%)
<b>TAMAÑO DE LOS GRANOS</b>	Existe variabilidad en el tamaño de los granos, va de muy fino (60µm) a grueso (0,5mm). Predomina el tamaño de grano fino. Los contactos son puntuales.
<b>SELECCIÓN</b>	El sorteo es muy pobre a moderado
<b>MATRIZ</b>	Arcillas depositadas en espacios intragranulares (13%)
<b>MATERIAL CEMENTANTE</b>	Sílice (10%), generalmente cuarzo depositado como sobrecrecimiento de los granos de cuarzo, localmente el cemento es calcáreo (1%)
<b>POROSIDAD</b>	Va de 7.7 a 21.5%, dominado por macroporos primarios intragranulares
<b>FENÓMENOS DIAGENÉTICOS</b>	Compactación física, crecimiento secundario de los granos de cuarzo

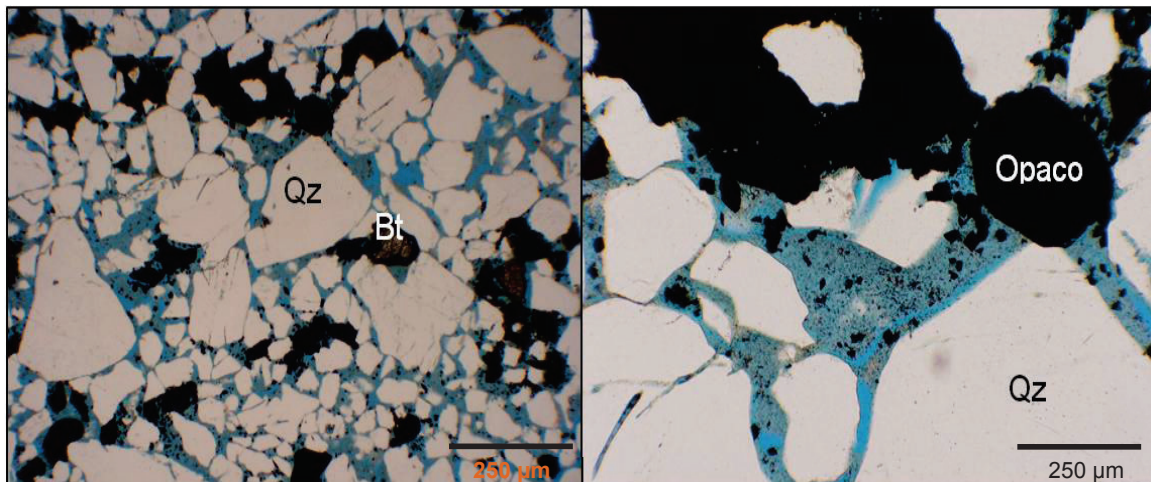
**Tabla 5.1** Análisis petrográfico de la Arenisca M-1 del pozo P53 (*Modificado del informe presentado por Corelab, 2002*)

Posee una permeabilidad de 2043 md y se caracteriza por ser un excelente reservorio

En la siguiente lámina delgada (Figura 5.1) se puede observar granos de **cuarzo** (60%) monocristalino, muy rara vez se trata de granos de cuarzo policristalino; dispersos líticos de **arcilla alterada o meteorizada** (10%); **minerales opacos** (5%) posiblemente pirita, subredondeados, negros; **rutilo** (5%), posible **materia orgánica** (4%), **arcillas** (3%) entre la garganta de los poros y alrededor de los minerales. Matriz arcillosa (13%) depositada en espacios intragranulares. Se puede observar laminación definida por la concentración de minerales opacos y



rutilo, pobre sorteo, en general los minerales se encuentran redondeados a subredondeados. Tratándose de una cuarzoarenita.



**Figura 5.1** Análisis de la sección delgada del pozo P53 a 6599.75ft (Tomado de Corelab, 2002)

#### 5.1.1.2 Petrografía de la Arenisca M-1 en el pozo P87

Sobre la base de los análisis de láminas delgadas descritas por Corelab (2002) pertenecientes a la Arenisca M-1, se elaboró un cuadro resumen de la composición mineralógica y las características texturales (Tabla 5.2 y Figura 5.2)

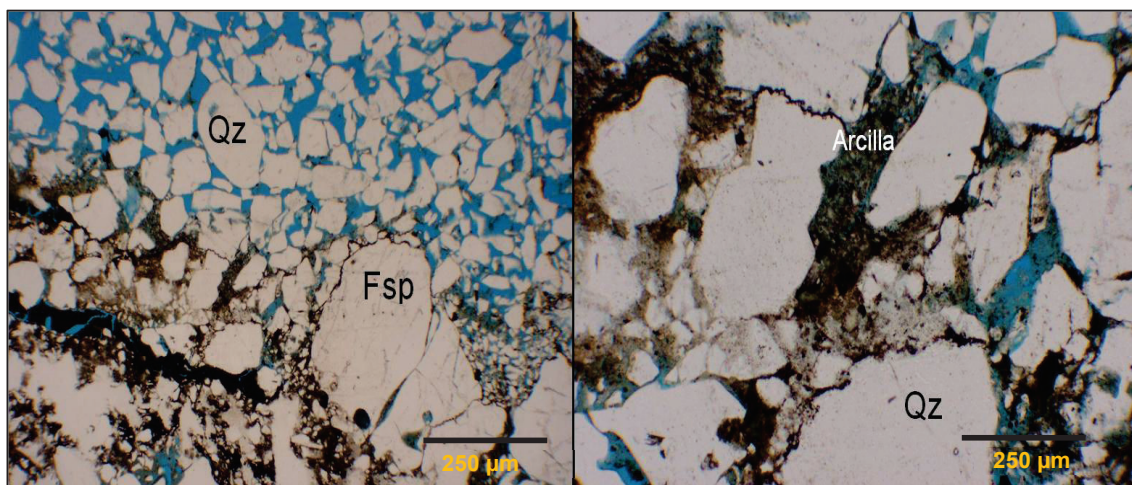
ZONA	ARENISCA M-1
<b>CLASIFICACIÓN</b>	Cuarzoarenitas
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA</b>	Cuarzo (65%), feldespato potásico (3%), muscovita detrítica (2%), magnetita (2%) ocurre como granos subredondeados a subeuhedral y minerales pesados como zircón (1%). Biotita (1%), apatito (1%) y raramente turmalina (1%).
<b>TAMAÑO DE LOS GRANOS</b>	Grano medio (0.5mm) a grueso (2mm)

<b>SELECCIÓN</b>	Moderado a buen sorteo
<b>MATRIZ</b>	Arcillas (20%) (caolinita lo que reduce la porosidad hasta a un 15%)
<b>MATERIAL CEMENTANTE</b>	Sílice (6%), generalmente cuarzo depositado como sobrecrecimiento de los granos de cuarzo, localmente el cemento es calcáreo
<b>POROSIDAD</b>	18 a 30%
<b>FENÓMENOS DIAGENÉTICOS</b>	Crecimiento secundario de los granos de cuarzo

**Tabla 5.2** Análisis petrográfico de la Arenisca M-1 del pozo P87 (*Modificado del informe presentado por Corelab, 2002*)

Posee una permeabilidad de 1344 md

En la siguiente lámina (Figura 5.2) se observa una cuarzoarenita con granos subredondeados a subangulares, con sorteo pobre y localmente moderado, posee minerales de cuarzo monocristalino (65%); clastos (10%) granulares alargados, que son principalmente clastos de lodolita; feldespato potásico (3%); rutilo (3%); zircón (2%); minerales opacos (1%); muscovita (<1%). Matriz arcillosa (10%), cemento silíceo (5%).



**Figura 5.2** Análisis de la sección delgada del pozo P87 a 6913.15ft (*Tomado de Corelab, 2002*)

## **5.1.2 ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO**

El análisis sedimentológico tiene como objeto la descripción y análisis macroscópico de los núcleos (Figura 5.3). Las principales observaciones macroscópicas realizadas, se presentan en una columna sedimentológica compuesta

### **5.1.2.1 Sedimentología de la arenisca M1 en el pozo P53**

Se ha tenido acceso a la descripción de los núcleos, así como informes con observaciones adicionales realizadas por Consulting (2002). También se tuvo acceso a fotografías de los núcleos, donde se ha podido verificar estas observaciones (Figura 5.4)

### **5.1.2.2 Sedimentología de la arenisca M1 en el pozo P87**

Se ha tenido acceso a la descripción de los núcleos, así como informes con observaciones adicionales realizadas por Consulting (2002). También se tuvo acceso a fotografías de los núcleos, donde se ha podido verificar estas observaciones (Figura 5.5)

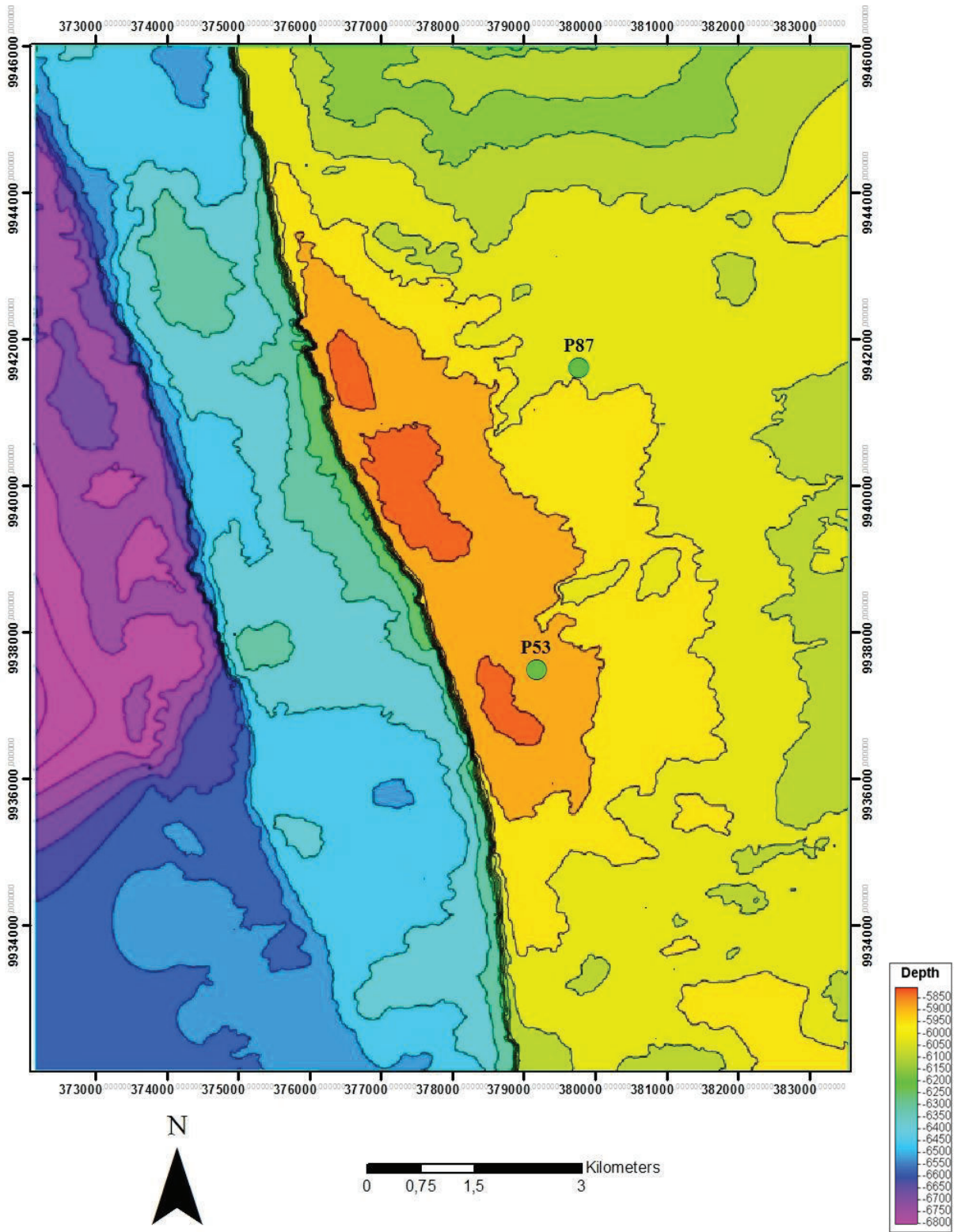
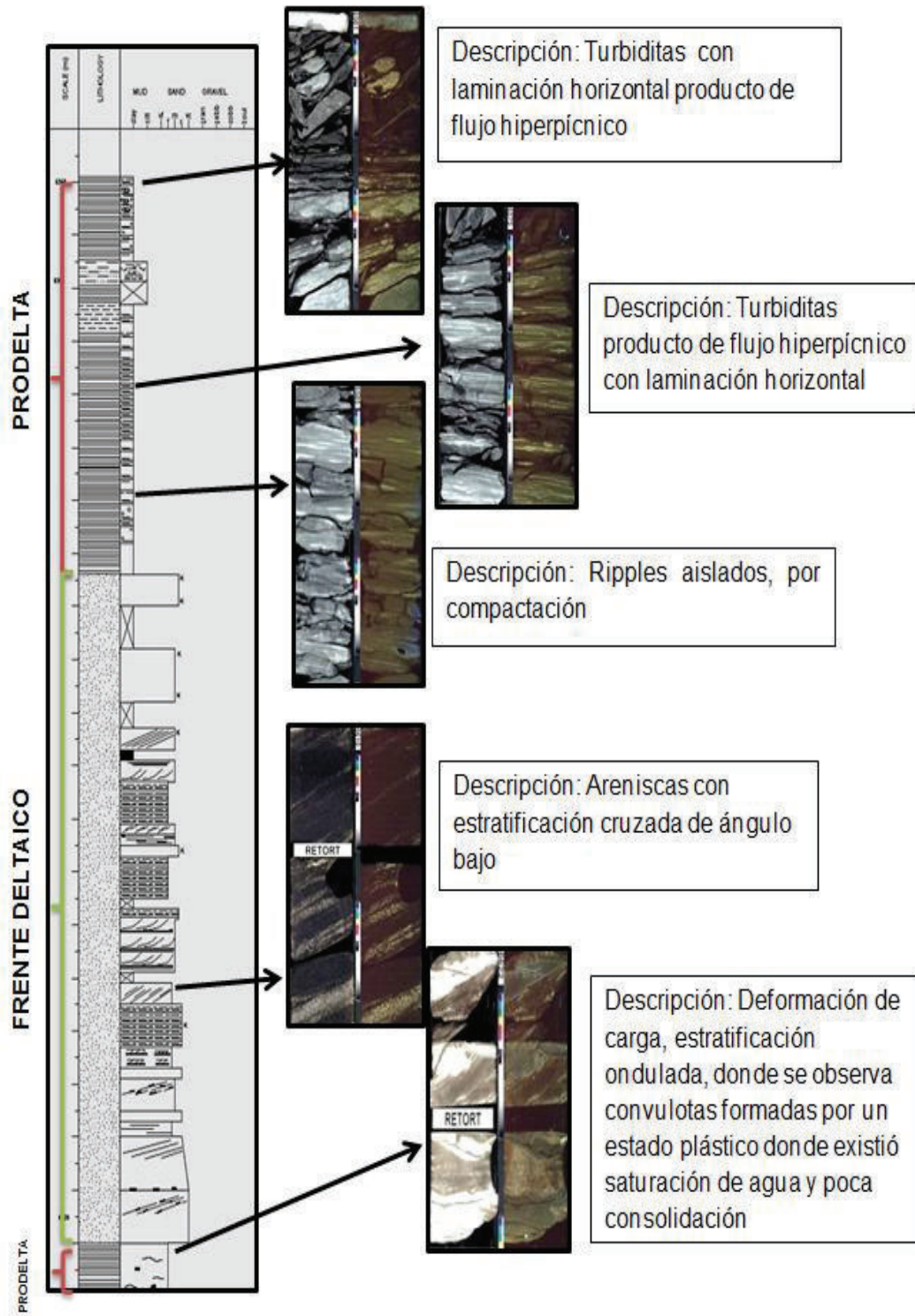
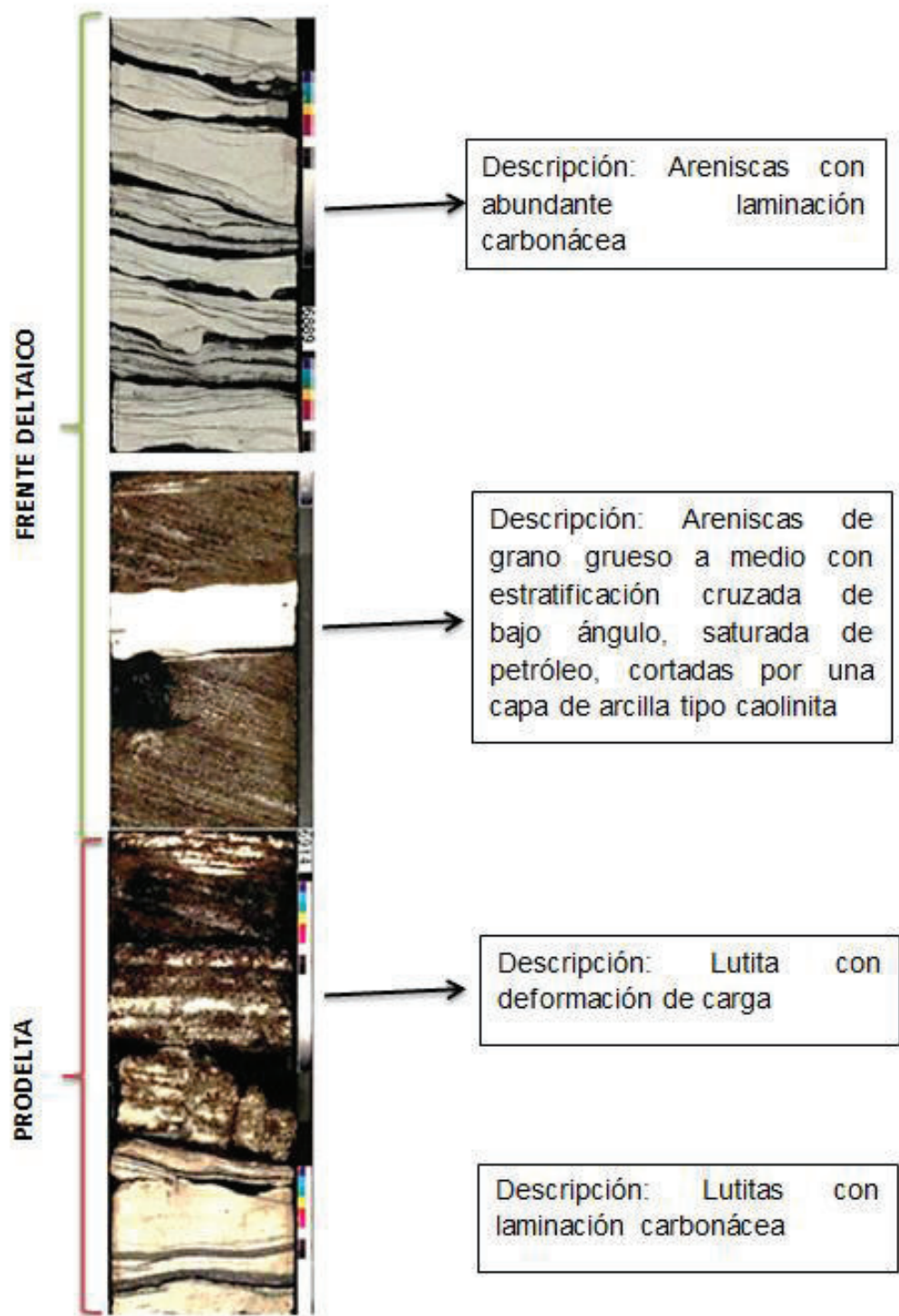


Figura 5.3 Ubicación de los pozos con núcleo



**Figura 5.4** Columna indicando la sedimentología de la Arenisca M-1 en el pozo P53 (Modificado de Corelab, 2002)



**Figura 5.5** Columna indicando la sedimentología de la Arenisca M-1 en el pozo P87 (Modificado de Corelab, 2002)

### 5.1.3 FACIES Y PALEOAMBIENTE SEDIMENTARIO

Una facies “es un cuerpo tridimensional de sedimentos o roca, cuya génesis puede ser bien inferida de su composición, petrografía, geometría externa, estructura sedimentaria, contenido inorgánico, relación estratigráfica y facies asociadas” (Fisher y Brown, tomado de Mousalli, 2010)

Un paleoambiente sedimentario fue definido por Spalleti como un “concepto de carácter inductivo y analógico ya que a través de la descripción minuciosa de los atributos de la roca sedimentaria y de la determinación de una serie de propiedades escalares y vectoriales inherentes a su textura, composición y estructura, se pretende reconstruir la intensidad y el carácter de los procesos que actuaron durante la depositación (Robles, s.f.).

#### 5.1.3.1 Facies y paleoambiente sedimentario en el pozo P53

El pozo P53 se encuentra muy cerca de la falla que limita el campo hacia el Oeste. En el núcleo se reconocen dos facies sedimentarias correspondientes a los medio ambientes sedimentarios (Figura 5.6):

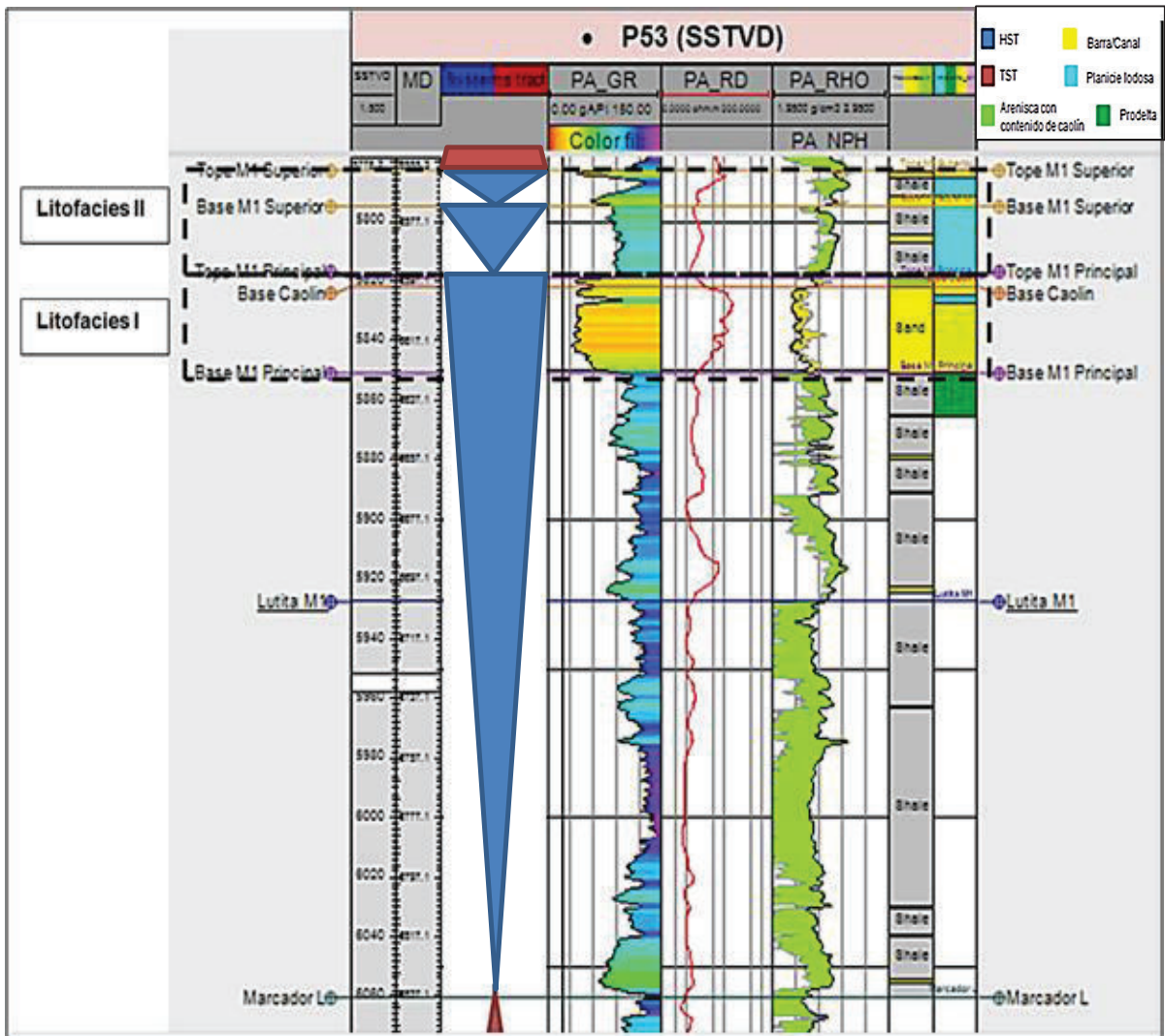
Descripción de las litofacies presentes en M1:

- **Litofacies I:** Areniscas con estratificación cruzada de grano fino a muy grueso.

Sobre una base erosiva se encuentran capas apiladas de areniscas con estratificación cruzada, se evidencia tres niveles de capas finas hacia arriba; esto sugiere que existió variabilidad en el flujo.

La litofacies I fue formada en condiciones donde el flujo de corriente es unidireccional con suficiente poder para transportar material de tamaño de guijarros y modelarlo en largos bedforms como megaripples y dunas. Sin embargo tamaños gruesos uniformes, sugieren que alguna variabilidad en la intensidad del flujo es causada por la presencia de clastos de lodolitas que implica alguna depositación de corrientes inactivas. Las corrientes inactivas se producen en la

llanura deltaica abandonada, una vez que esta alcanzado una gran extensión y los distributarios cambian de posición y comienza a progradar un nuevo sistema (Sánchez de la Torre et al., 1981)



**Figura 5.6** Registros eléctricos del pozo P53 dividido en las dos facies sedimentarias establecidas

La depositación es interpretada como el resultado de depositación de ríos de grano grueso como corriente entrecruzada arenosa o canales meandricas de grano grueso, que puede ser relacionada con ríos distributarios.

- **Litofacies II:** Areniscas compactas y lutitas, lutitas interestratificadas



Descansa sobre un contacto basal erosivo. La sucesión es variable con dos parasecuencias de engrosamiento y capas más finas en la parte superior, sin embargo la calidad del reservorio es extremadamente pobre en todo el intervalo.

Las capas de las arenas poseen menos de un metro de espesor, son de grano fino. Las lutitas y lodolitas son gris oscuras a negras y con fisibilidad variable. La superficie basal erosiva fue cortada por procesos submarinos como corrientes de ondas o mareas. Se concluye que dentro de M-1 existen al menos dos discordancias presentes, uno a la base del reservorio de M1 principal y otro al tope (Tabla 5.3).

<b>Systems tract</b>	<b>Intervalo (pies)</b>
indeterminado	6400(TNS) - 6514
<b>Disconformidad (límite K-T)</b>	
HST	6514 - 6553
TST	6553 - 6561
<b>Límite de secuencia (79 Ma)</b>	
HST	6561 - 6584,5
TST	6584,5 - 6624
<b>Límite de secuencia (80 Ma)</b>	
HST	6624 - 6660 (BNS)

**Tabla 5.3** Secuencias estratigráficas del pozo P53 (Modificado de Petrel Robertson Consulting, 2002)

Llorente (2003) reporta en la Arenisca M1, a 6530 pies, la presencia de helechos de agua dulce especialmente fragmentos de Azolla, así como la presencia de esporomorfos de palma que se correlacionan con la especie actual nypa, característica de zonas salobres. Esto apunta a un ambiente donde habría una confluencia de condiciones de aguas frescas y aguas salobres con posiblemente la influencia de mareas (por ejemplo: complejos de llanuras de inundación en zonas deltáicas bajas, llanuras costeras, complejos de zonas lagunares, marismas, etc)

En otro estudio se reportan:

- A los 6563.8 pies características de una superficie inundada con restricción en la circulación de mar abierto.

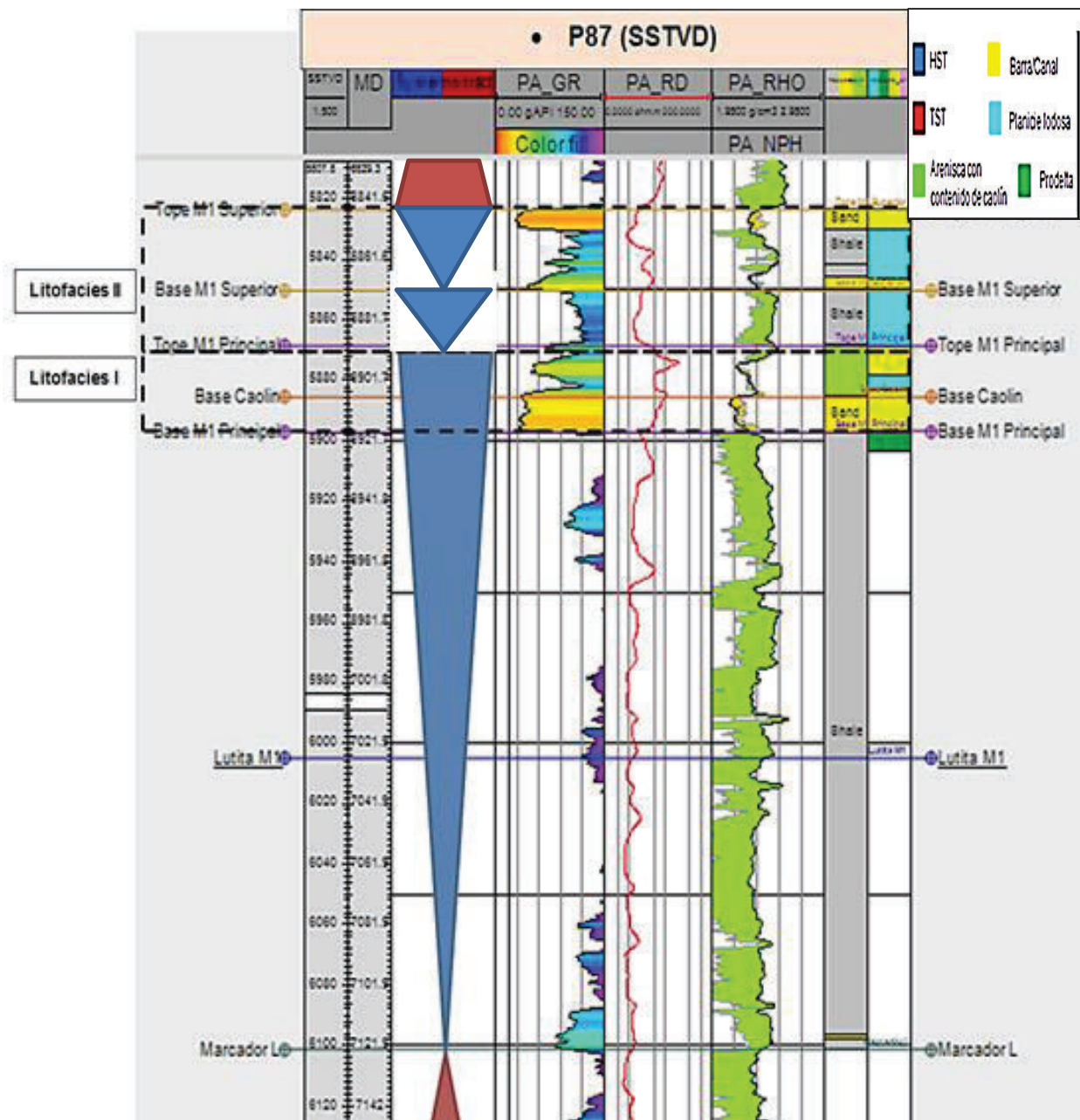
- A 6589.5 y 6586.5 pies la presencia de diversos dinocyst con peridinoid y dinogymnioid bien representados que son característicos de un ambiente de plataforma interna. Esta comparación con las muestras sobreyacidas, como Araucaricities sugieren que la planicie costera fue inundada por el mar en esta época. Estas características sugieren depositación en un ambiente transgresivo.

Por la posición del pozo en el área y ya que los espesores de la secuencia caolinítica superior son menores y las arenas limpias en la parte inferior de la secuencia están menos sorteadas, ubica al pozo en la parte distal del ambiente de llanura costera dominado por mareas

#### **5.1.3.2 Facies y paleoambiente sedimentario en el pozo P87**

El pozo P87 se encuentra al Este de la estructura, la descripción del núcleo y el análisis petrofísico de los registros eléctricos muestran que la secuencia M1 se compone de dos zonas (Figura 5.7):

- La parte inferior de la secuencia está compuesta por capas gruesas de arenas de grano medio a grueso, bien sorteadas, bien seleccionadas y con porosidades que varían entre 18 a 30%, lo que se manifiesta en arenas friables con estructuras sedimentarias de alta energía, como estratificación cruzada. Sitúan esta secuencia en la parte baja de la progradación de la línea de costa, en un ambiente de llanura costera interna dominada por mareas.
- La parte superior de esta secuencia muestra evidencias de una transgresión marina con la presencia de delgadas capas de sedimentos de grano fino a medio, intercalados con niveles arcillosos, bioturbados y con la presencia de abundante caolinita en la matriz de la roca que reduce su porosidad a un rango de 15 a 20%, lo que sitúa a esta zona en un ambiente costero de plataforma externa dominada por mareas



**Figura 5.7** Registros eléctricos del pozo P87 dividido en las dos facies sedimentarias establecidas

#### 5.1.4 ANÁLISIS DE LOS RAYOS GAMMA ESPECTRALES

Los registros espectrales de U, Th, K fueron usados para definir tendencias de progradación o somerización del ambiente de depósito, analizar el tipo de arcilla que se encuentra en los pozos y que afecta la lectura de varios registros como lo

son: registros de rayos gamma, densidad-neutrón y resistividad, además del análisis del ambiente sedimentario.

Como primera instancia se realizó el crossplot K vs Th que es extensamente usado para reconocer la asociación del mineral arcilloso y la discriminación de micas y feldespatos (Figura 5.8).

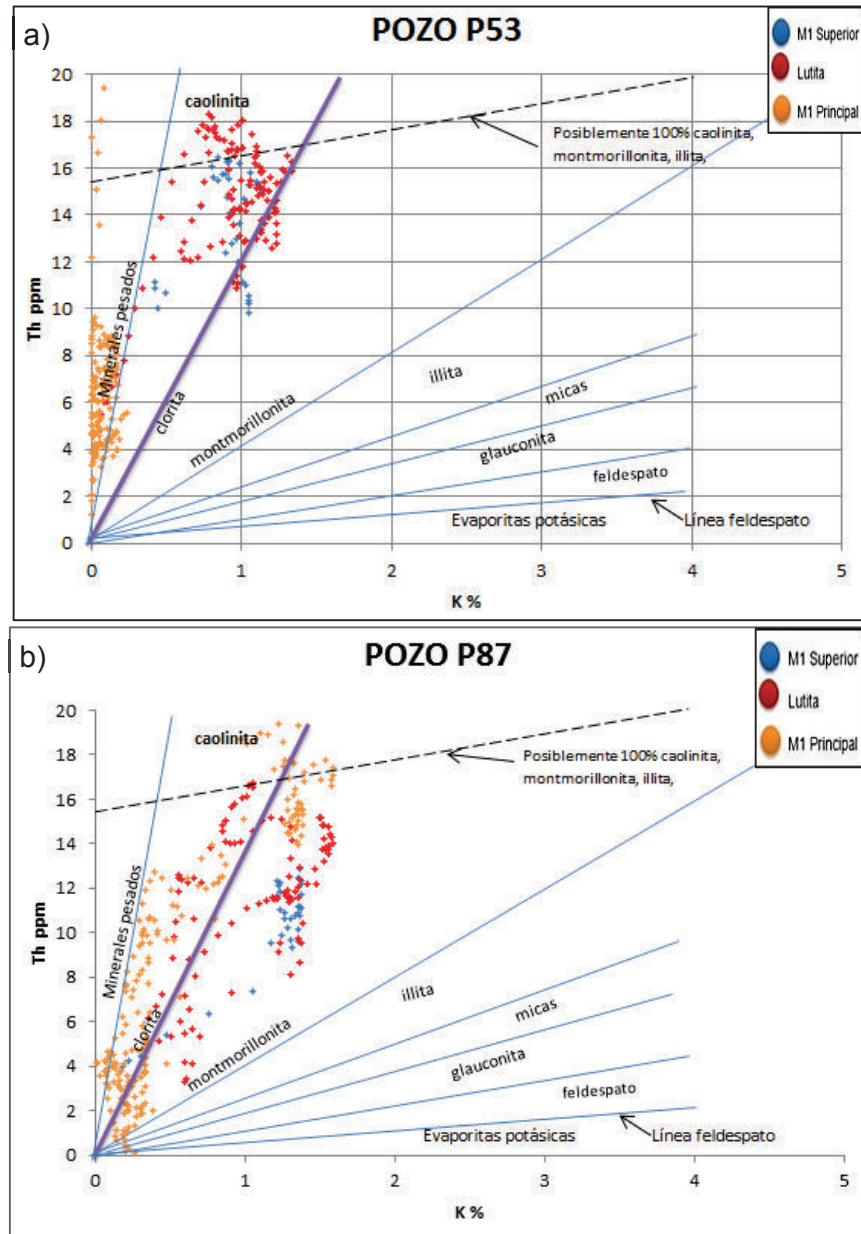
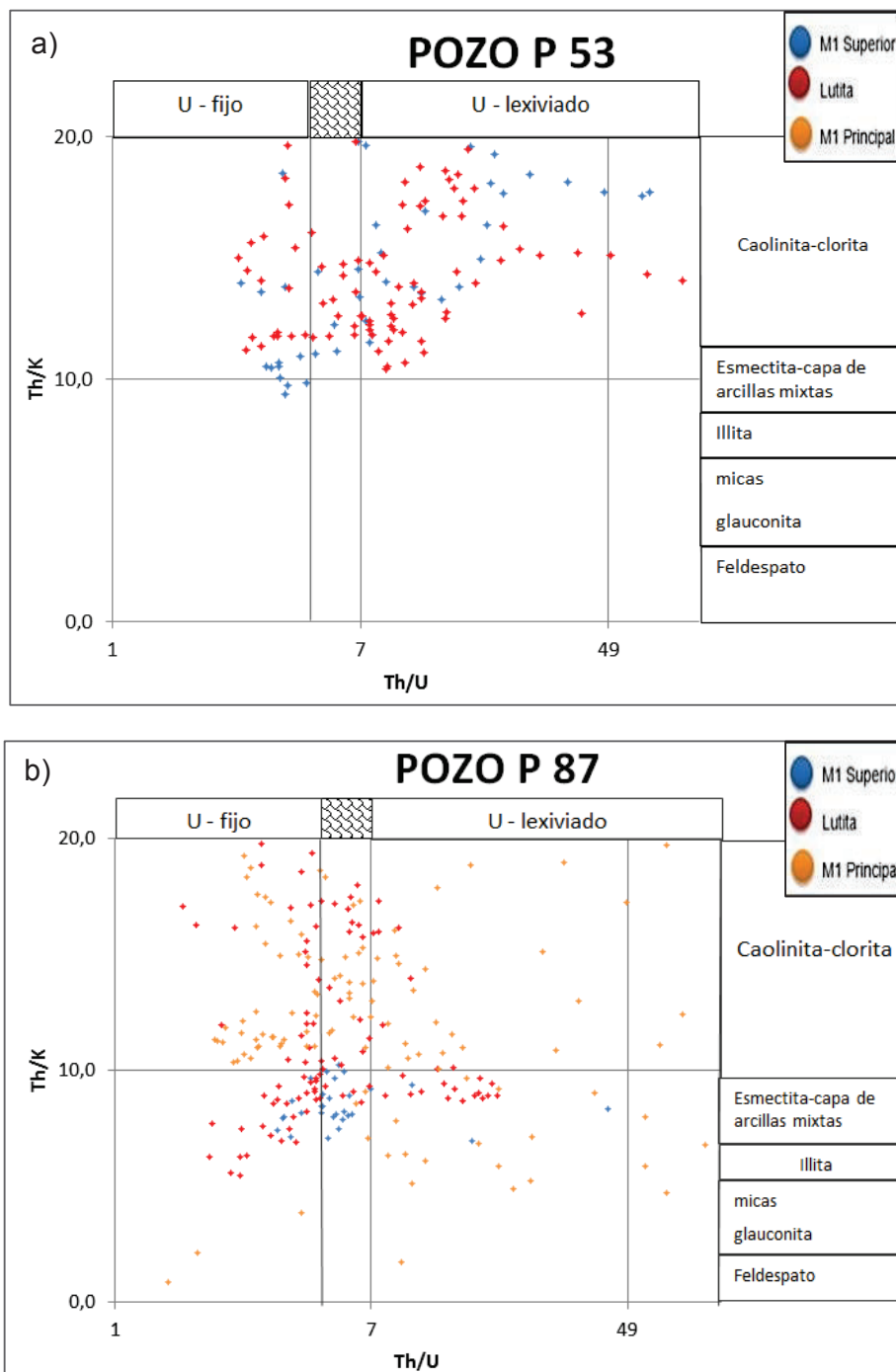


Figura 5.8 Crossplot K vs Th para a) Pozo P53, b) Pozo P87

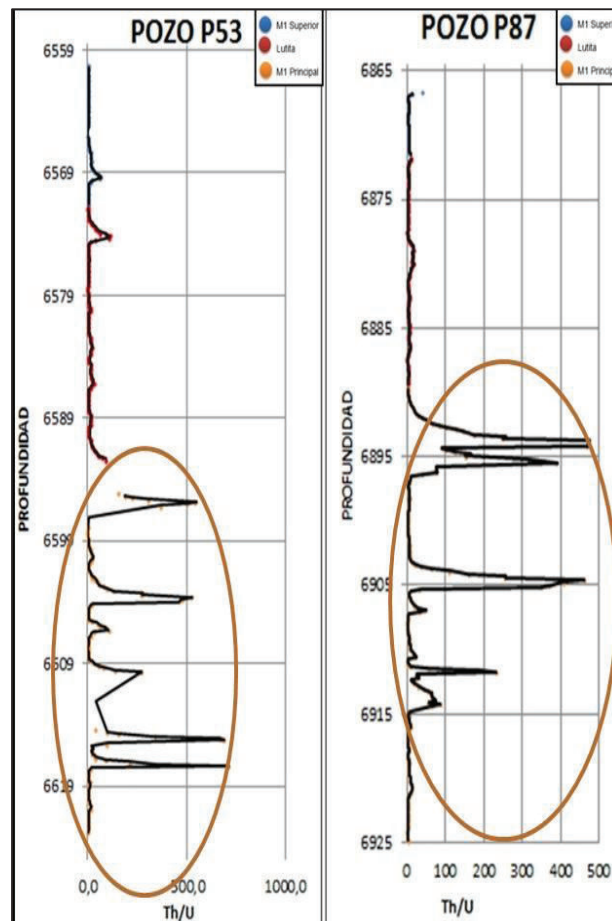
Donde claramente se distingue que el tipo de arcilla predominante para el pozo P53 es caolinita y en el pozo P87 existe caolinita en mayor proporción y esmectita en menor proporción. Por lo que se realizó el crossplot Th/U vs Th/K (Figura 5.9).



**Figura 5.9** Crossplot Th/U vs Th/K para a) Pozo P53, b) Pozo P87

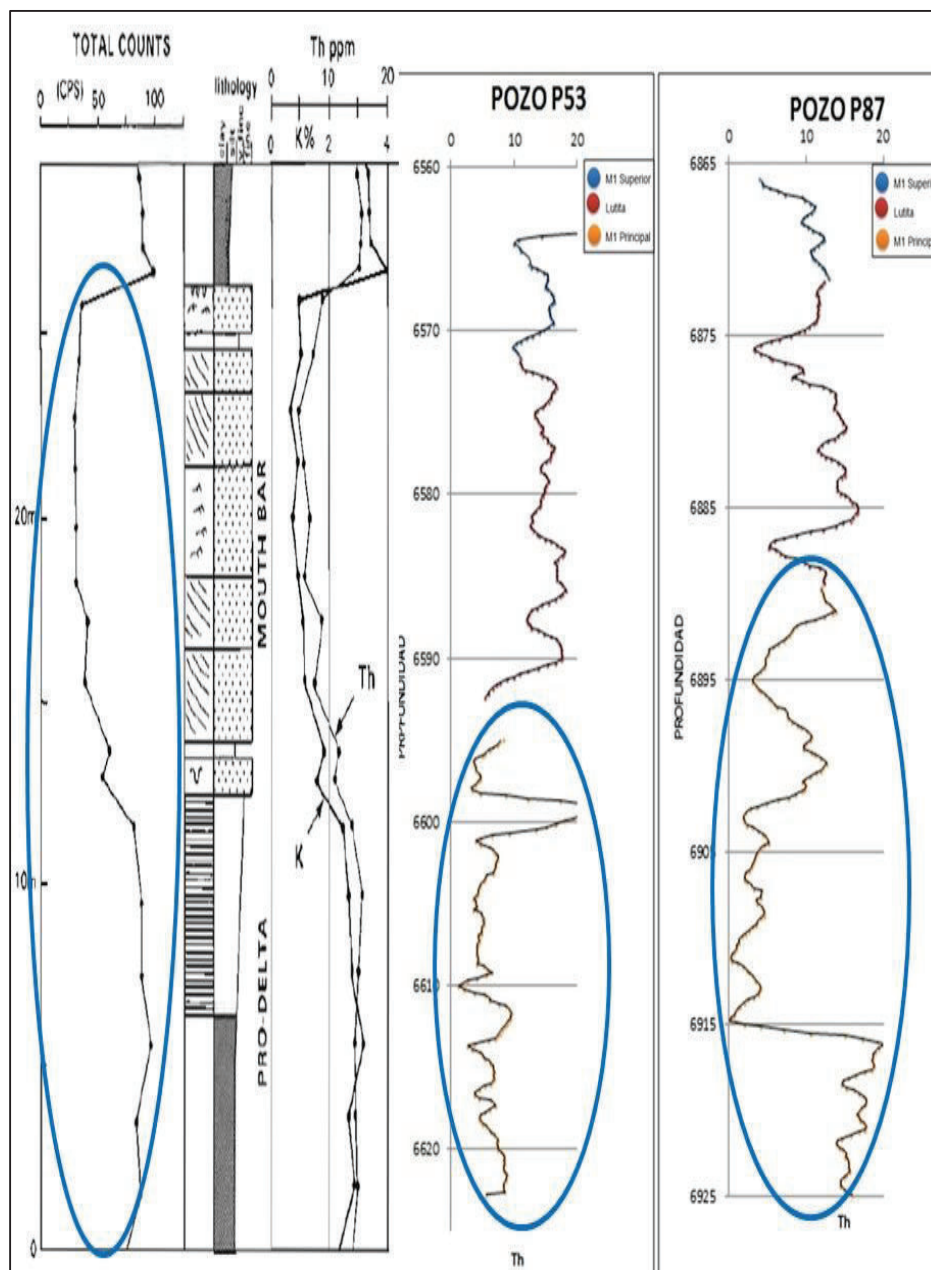
Donde se determina al igual que en la figura 5.8 que para el pozo P53 la arcilla predominante es la caolinita, mientras que para el pozo P87 existe oscilación entre facie mineral de arcilla caolinítica a illita, posiblemente vinculado con un ambiente de agua dulce deltaico y marino.

Las inconformidades presentes en los pozos se determinaron donde existen extremas concentraciones de U. Este es un resultado somero que claramente necesita más evidencias para asegurar este resultado. Repeticiones altas a medias de Th/U probablemente reflejen una alta variabilidad lateral en facies clásticas e interacción entre aguas dulces y salobres (canales distributarios, bahías, depósitos marinos marginales), que puede ser esperado en un complejo de delta. Además se observa un incremento en Th/U hacia el tope de la Arenisca M1 Principal, que es relacionable con un sistema deltaico progradante (Figura 5.10)



**Figura 5.10** Crossplot Th/U vs profundidad

El ambiente de depositación de la Arenisca M1 Principal con la ayuda del Crossplot Th vs Profundidad (Figura 5.11) se puede correlacionar análogamente con un frente deltaico (barras de desembocadura) para los pozos P53 y P87, donde existe incremento de Torio en las mismas.



**Figura 5.11** Sistema deltaico (análogo) tomado de Rider (2000) comparado con lo pozos P53 y P87

## 5.2 ANÁLISIS DE REGISTROS ELÉCTRICOS

Se requirió de un estudio detallado de los registros eléctricos de cada pozo. Donde se determinó porcentajes y espesores de cada una de las litologías que conforman los intervalos de la Arenisca "M-1", para ello los topes y bases de cada registro fueron definidos gracias al análisis de la respuesta de los diferentes registros como: gamma ray, resistividad, densidad, neutrón, efecto fotoeléctrico y acústico, lo que permitió determinar la continuidad lateral de las arenas. De esta forma se obtuvieron mapas que permitieron reconocer la geometría y tendencia de depositación de los cuerpos arenosos.

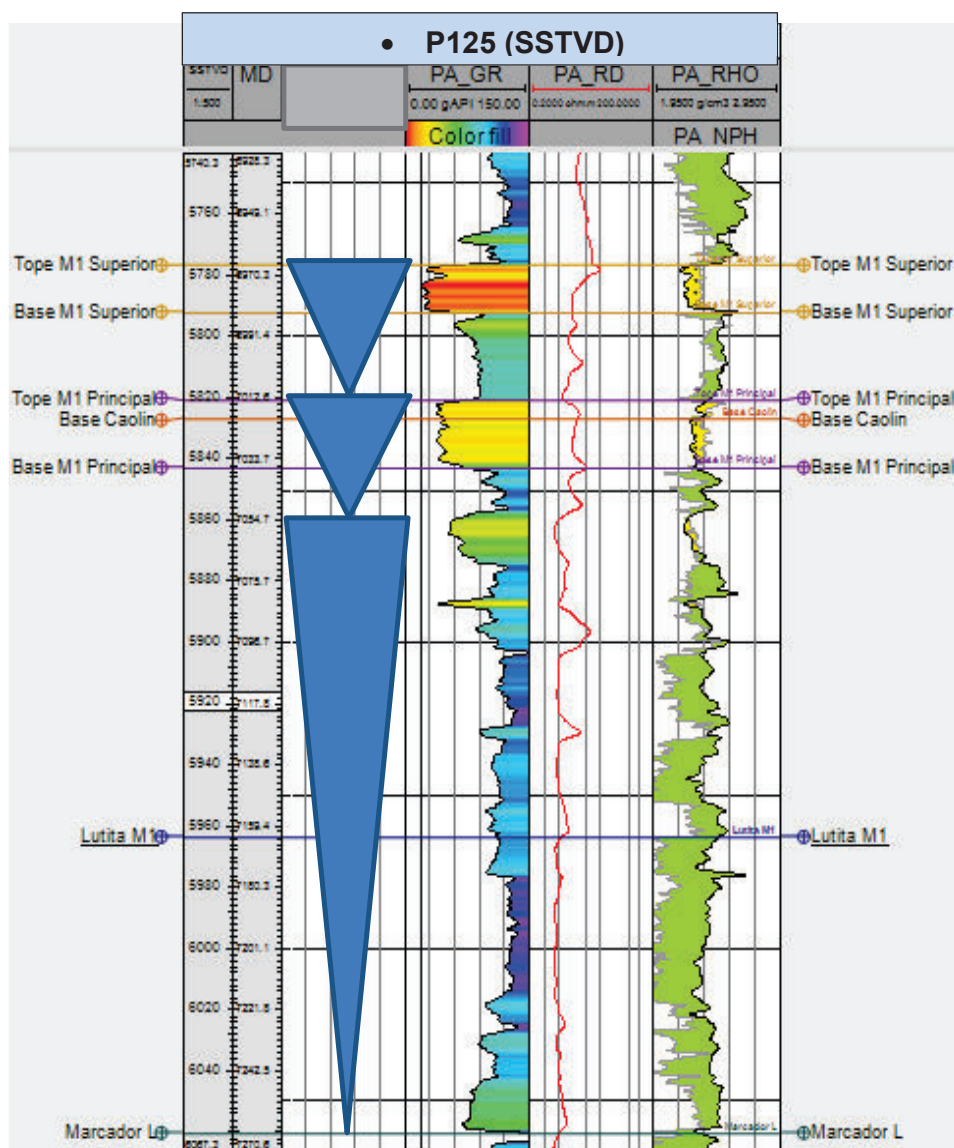
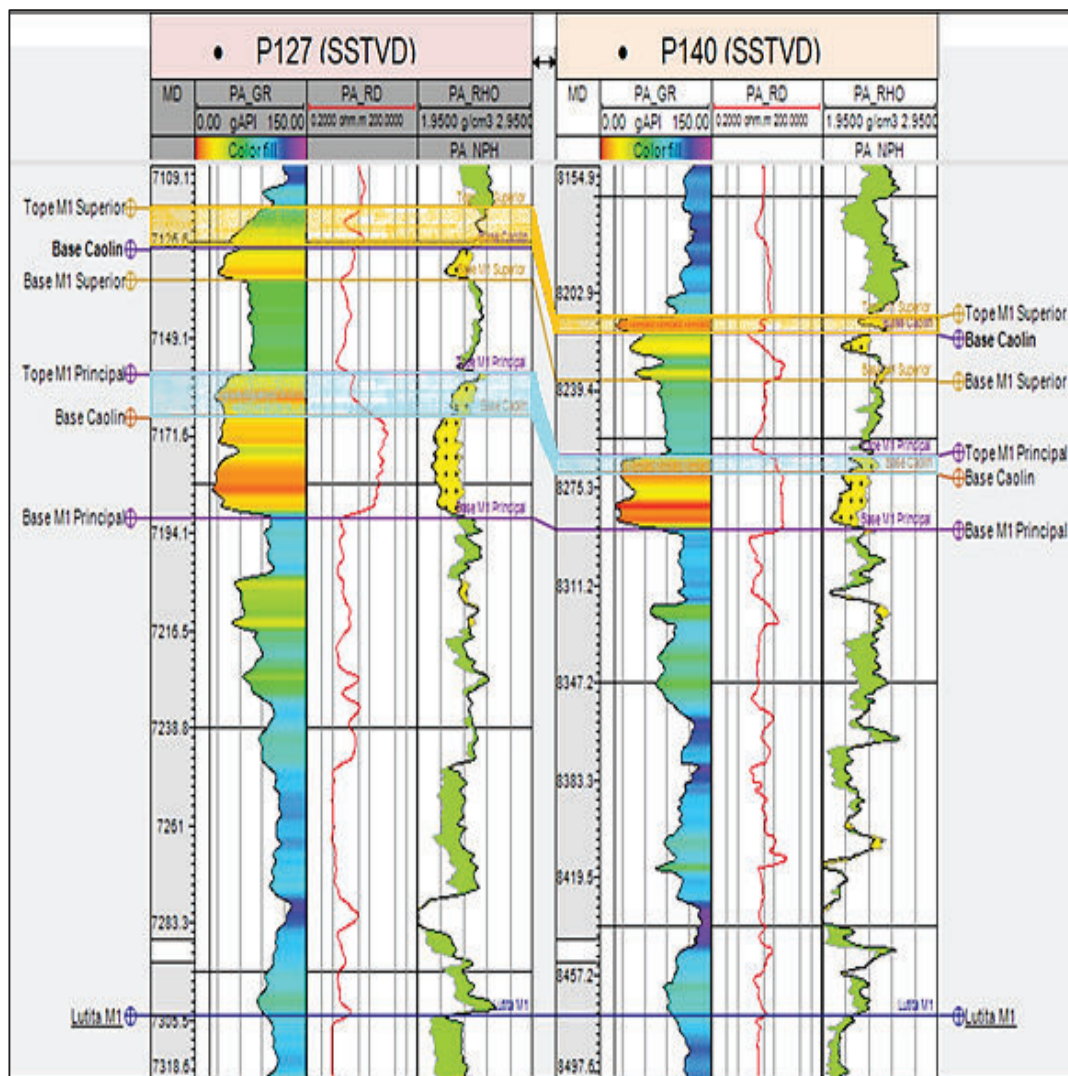


Figura 5.12 Arenisca M1 donde se observa las secuencias progradantes



Esta interpretación se basa en correlaciones con marcadores regionales a nivel de la Cuenca Oriente (Lutita M1). Además el análisis de los registros eléctricos permite reconocer secuencias (sets) progradantes que corresponden a parasecuencias (Figura 5.12)

Adicional a esto utilizando los registros de gamma ray, resistividad y densidad-neutrón, se delimitó en cada pozo la caolinita que se localiza al tope de la Arenisca M-1 Principal y M-1 Superior (Figura 5.13), donde se obtuvo una correlación de la caolinita presente en el campo.



**Figura 5.13** Registro gamma ray, resistividad y densidad-neutrón de la Arenisca M-1 donde se observa la caolinita que afecta a la lectura de los registros

La caolinita que se observa en las muestras del campo es relativamente de tamaño grueso; según Hurst e Irwin (1982) en Boles (2004) la caolinita formada por precipitación de aguas meteóricas es de tamaño  $>20\mu\text{m}$  mientras que los cristales que fueron formados en aguas marinas son típicamente más pequeñas por lo que se concluye que los tamaños de los cristales pueden surgir de mezclas de agua dulce y agua marina, en ambientes proximales, consistente con un ambiente deposicional deltaico. Por lo cual se determinó en los pozos la caolinita, para establecer donde existió mezclas de agua dulce y agua marina.

### **5.2.1 MAPAS ISÓPACOS**

Teniendo listo los topes y bases de las Areniscas M-1 Principal y M-1 Superior, se construyó mapas de espesores donde se pueda observar las tendencias de adelgazamiento/engrosamiento de las arenas.

Para la Arenisca M1 principal (Anexo 2), se determinó cuerpos de arena con una orientación NE-SO. Existe gruesos espesores de arena hacia el NE del campo entre 50 pies y bajos espesores al SO, indicando que la fuente del aporte sedimentario está ubicado al NE del campo en estudio.

La Arenisca M1 superior (Anexo 3) posee grandes espesores hacia el NE enseñando una disminución gradual de la arena hacia el SO del campo

### **5.2.2 MAPAS DE ELECTROFACIES (AMBIENTES)**

Los mapas de electrofacies, se basaron en la identificación de las formas y en especial de las características de los registros de Rayos Gamma (GR), Potencial Espontáneo (SP), Resistividad y Densidad (RHOB), que permitió identificar los diferentes ambientes de depositación en la Arena M1.

En el campo se encontraron electrofacies relacionadas con canales de delta, barras de desembocadura, bahías distributarios y sedimentos finos relacionados al prodelta (Figura 5.14 y 5.15)

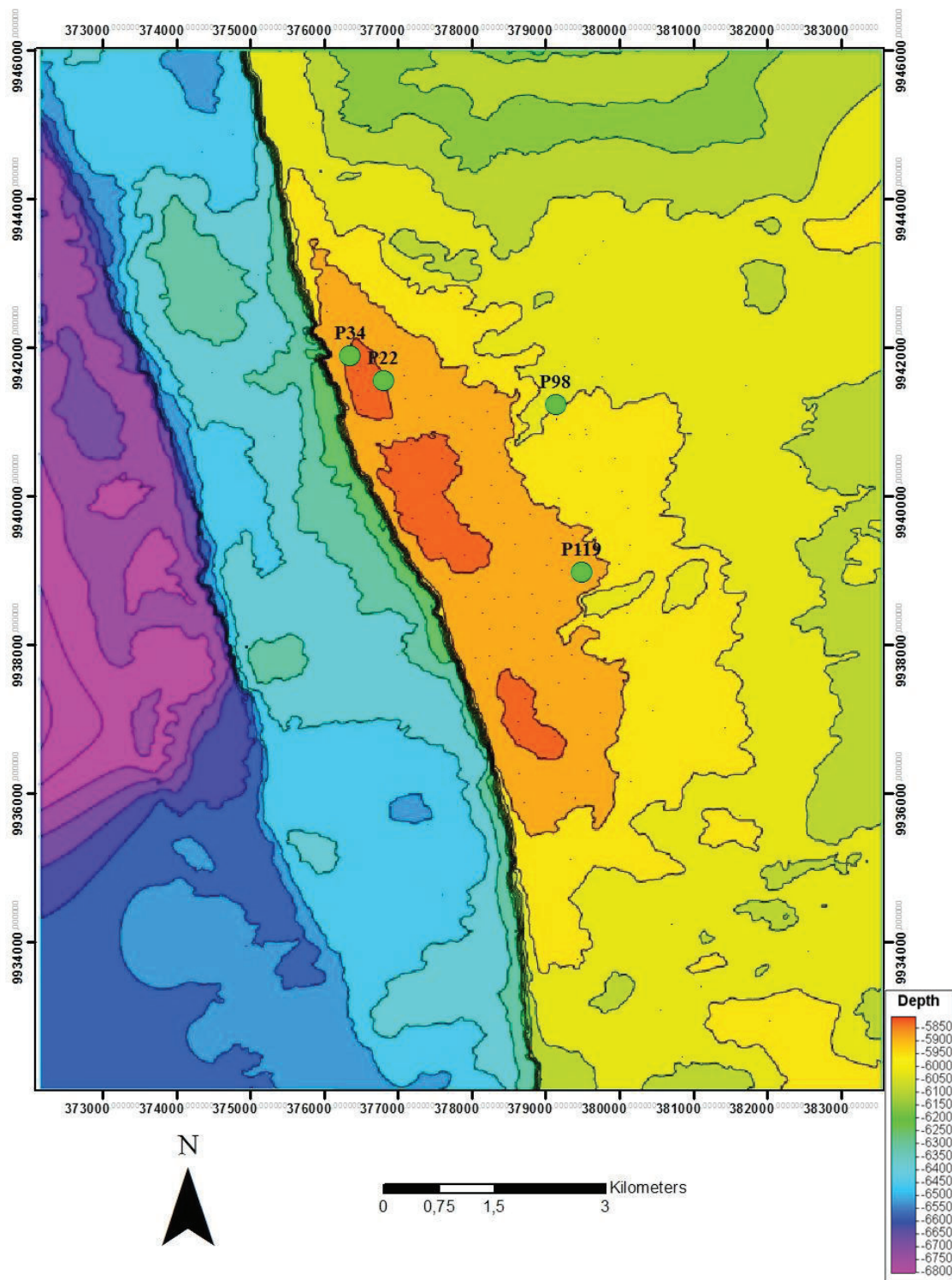


Figura 5.14 Mapa ubicación de los pozos utilizados para el análisis de las electrofacies

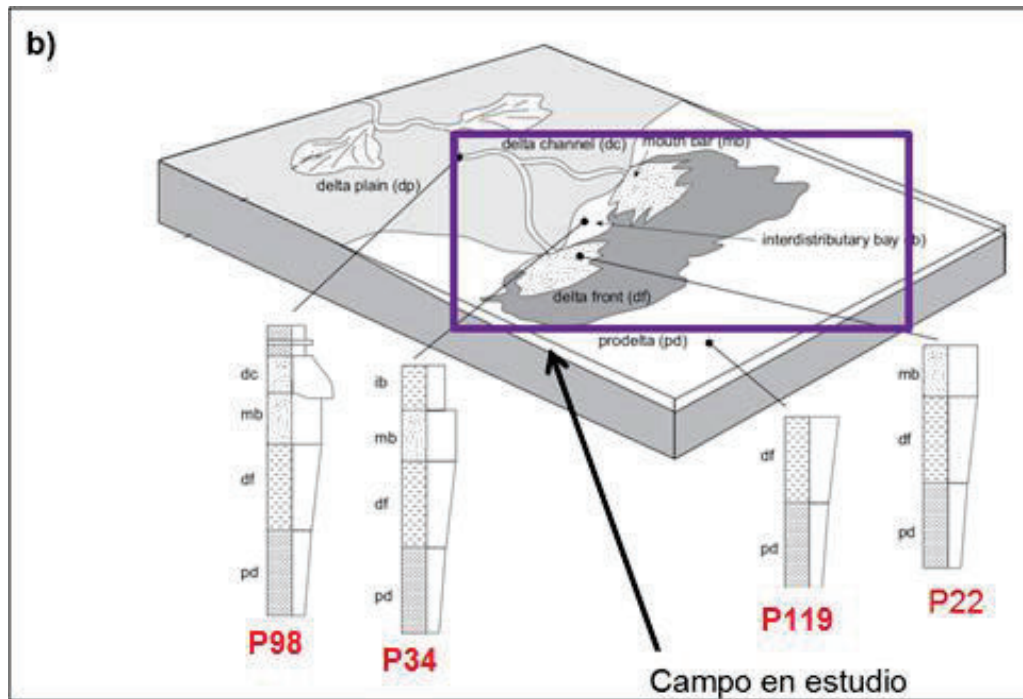
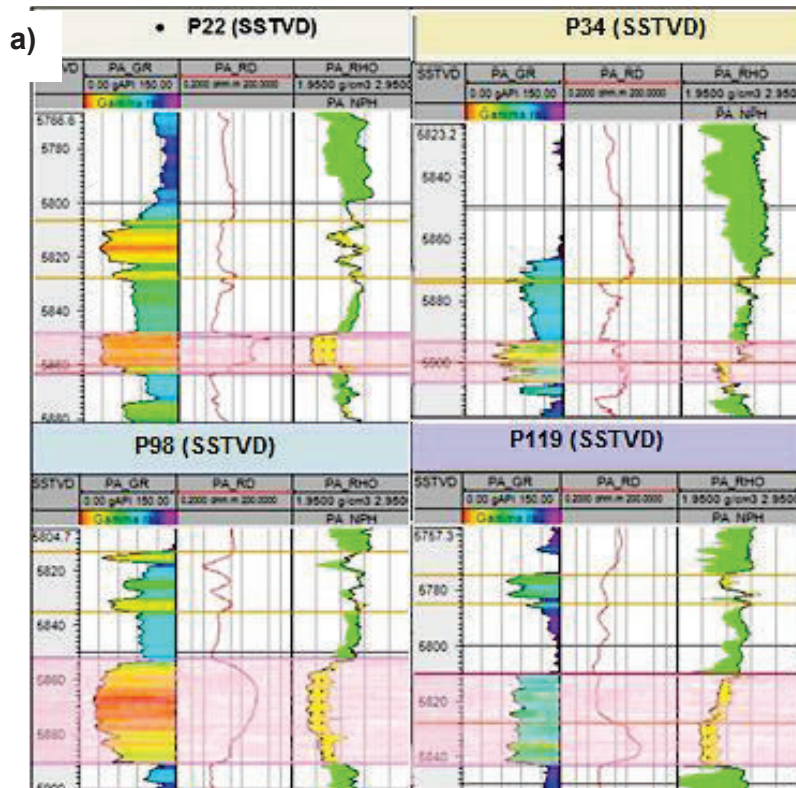


Figura 5.15 a) Correlación de electrofacies relacionadas al campo, b) Electrofacies del campo de estudio modificado de Nichols (2009)

En base a lo analizado inicialmente y con estudios anteriores se determina que la Arenisca M1 Principal está dentro de un delta (Figura 5.15 (b) y 5.16).

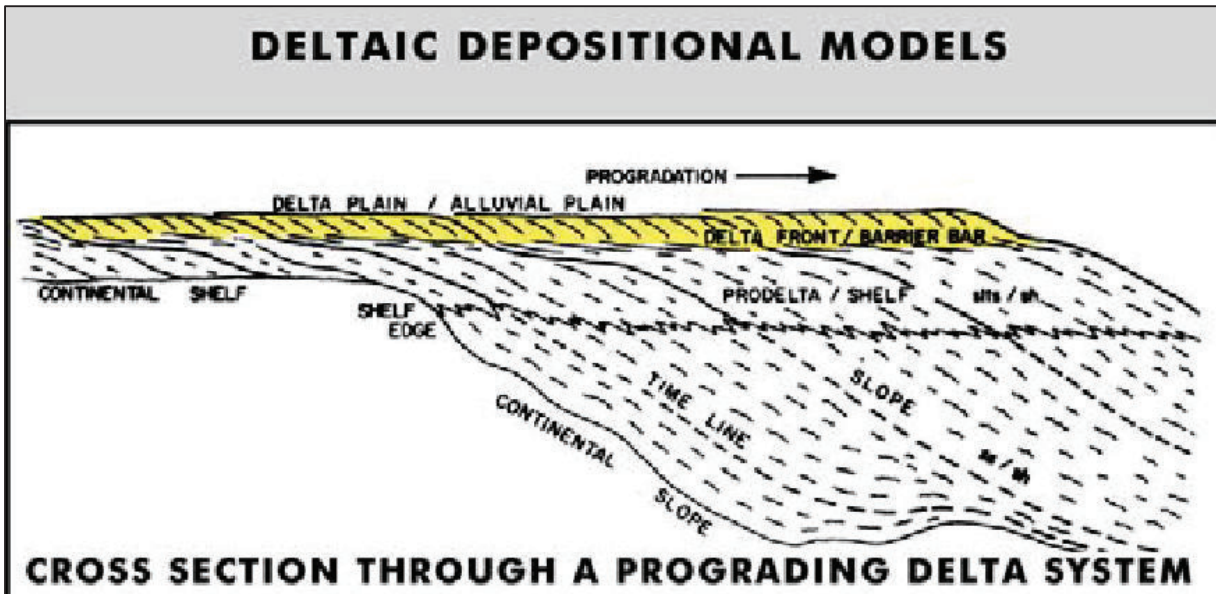


Figura 5.16 Progradación deltaica (Tomado de Vassel, 2007)

### 5.2.3 CONTINUIDAD LATERAL DE LA ARENISCA M1

El estudio se realiza a partir de un análisis secuencial, cuya característica principal, es la de realizar correlaciones estratigráficas a través de líneas de tiempo, que permiten la predicción de los equivalentes estratigráficos laterales.

En esta sección los topos y bases de las arenas estudiadas fueron definidos gracias al análisis de la respuesta de los diferentes registros como: gamma ray, resistividad, densidad y neutrón. Lo que permitió determinar la continuidad lateral de las arenas, como se observa en algunos de las secciones estratigráficas aquí presentadas. Los cortes fueron horizontalizados en la Lutita M1 que es un marcador de tiempo.

Para el siguiente análisis se realizaron varios cortes (Figura 5.17) entre ellos:

- Dos cortes en la dirección N-S
- Diez cortes en la dirección NE-SW, de los cuales se tomaron 4 para este estudio

- 1 corte NW-SE

Analizados los cortes con dirección N-S, siendo los mismos los cortes **A-B** y **C-D** (figura 5.18 y 5.19) se determina que el espesor de las arenas es variable, por lo que se concluye que las arenas se localizan formando cuerpos independientes (clinoformas), además se tiene evidencias de que los cortes se hallan cortando transversalmente a los cuerpos de arena que forman los clinoformas.

Analizado el corte con dirección NO-SE (**E-F**) se puede observar que el espesor disminuye hacia los extremos del corte y aumenta en el centro para la Arena M1 Principal, mientras que para la Arena M1 Superior los espesores varían irregularmente aumentando su grado de arcillosidad hacia el SE como se puede observar en la figura 5.20

Se puede observar también en los cortes **N-O**, **R-S**, **T-U** y **I-J** que los espesores de las arenas disminuyen gradualmente hacia el SO, mientras que aumenta la arcillosidad, lo que nos da una idea clara de la dirección de la depositación de las arenas siendo la misma NE-SO, teniéndose los mayores espesores hacia el NE del campo. Cabe recalcar que los cortes se encuentran transversalmente cortando a los cuerpos de arena (clinoformas) (Figura 5.21, 5.22, 5.23, 5.24). Este cambio de espesores está directamente relacionado al ambiente en el cual fue depositada la Arenisca M-1, controlado por la progradación de un sistema deltaico desde el este, hacia las zonas distales hacia el oeste, en donde desaparecen las arenas y son reemplazadas por lodos.

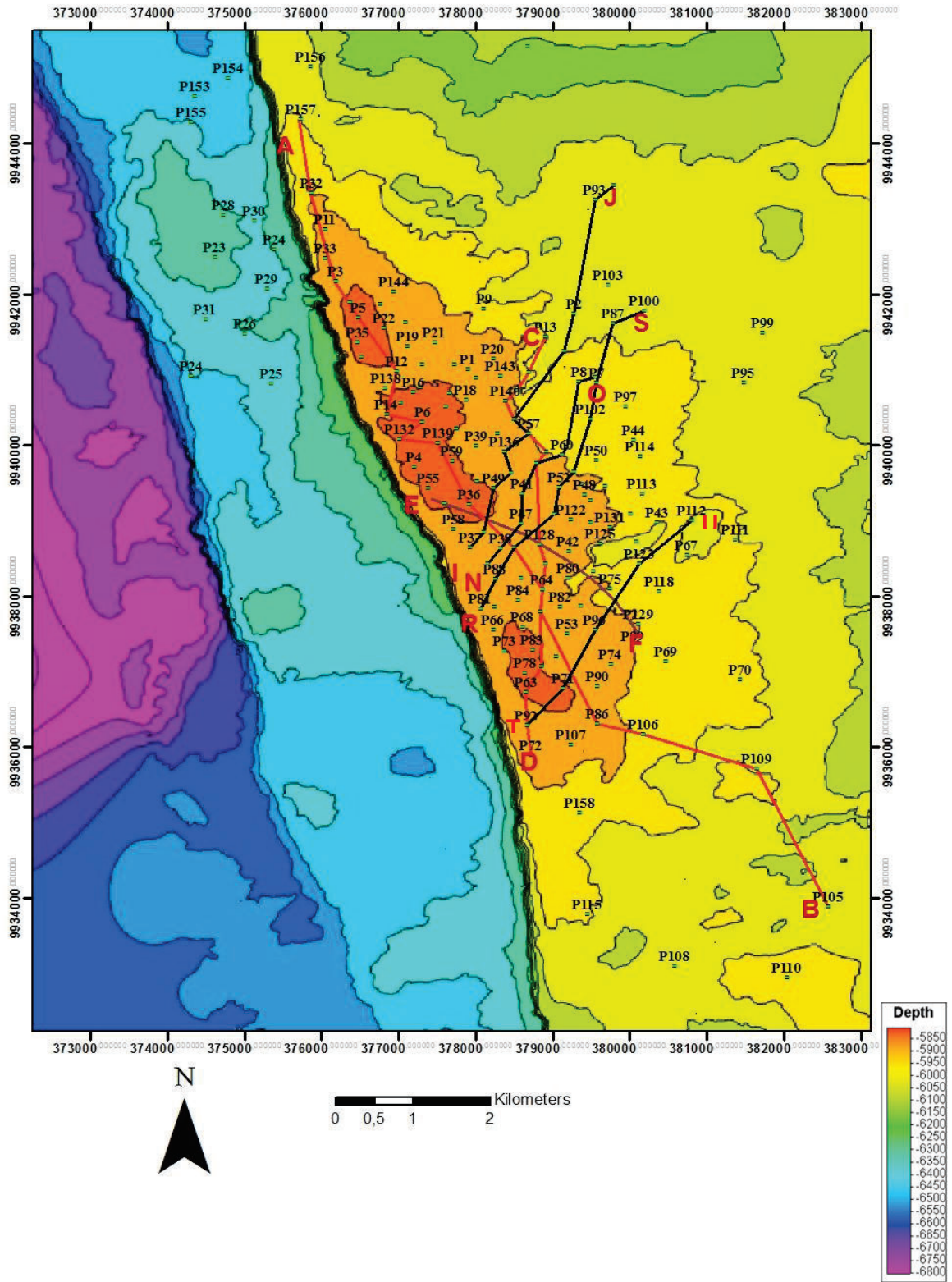
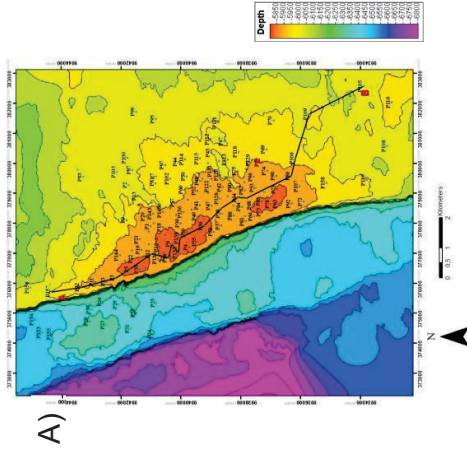
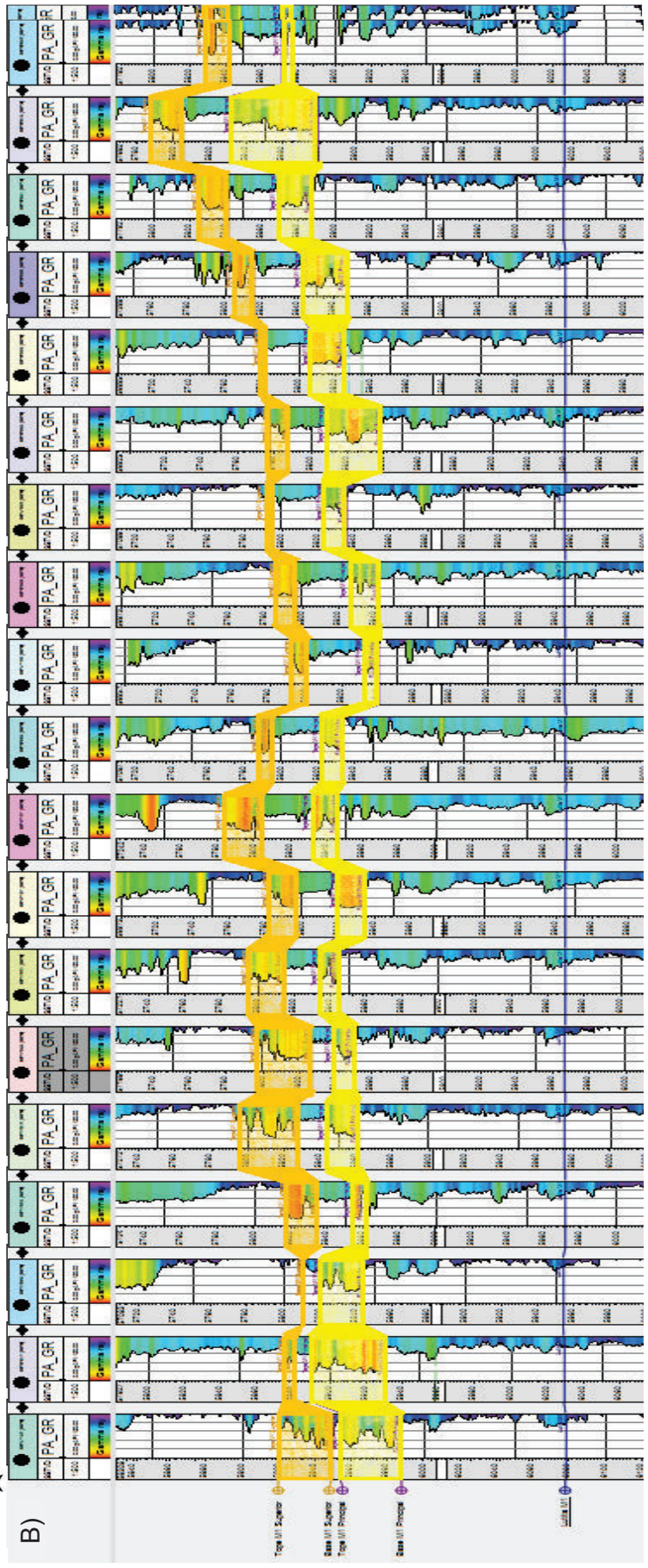


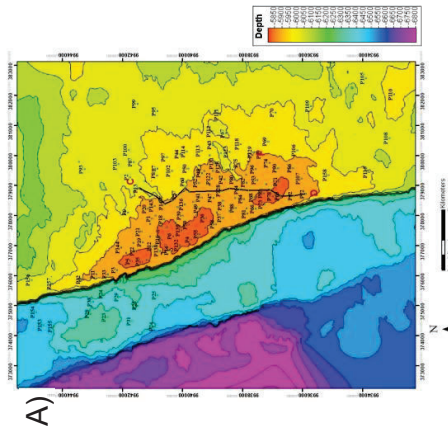
Figura 5.17 Cortes estratigráficos realizados en el campo



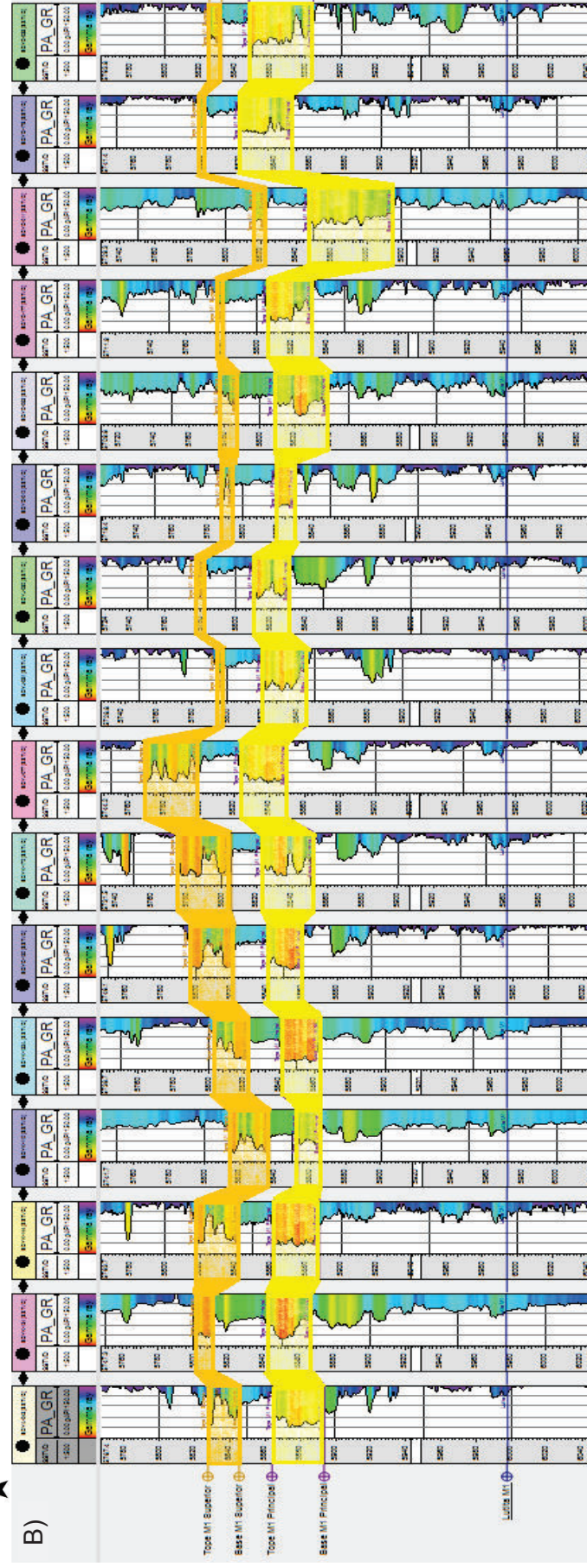
**Figura 5.18 Corte A-B: A) Mapa de amplitud de la Arenisca M-1 Principal donde se observa la dirección del corte N-S. B) Correlación estructural horizontalizado en la Lutita M-1 mostrando el espesor de la Arenisca M-1**

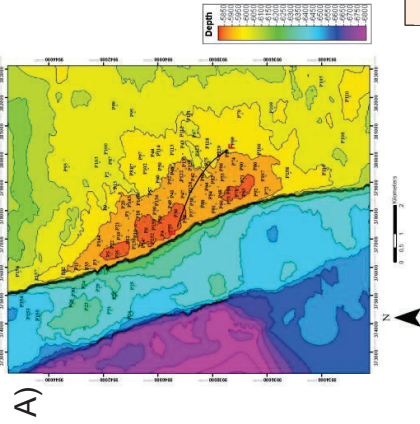




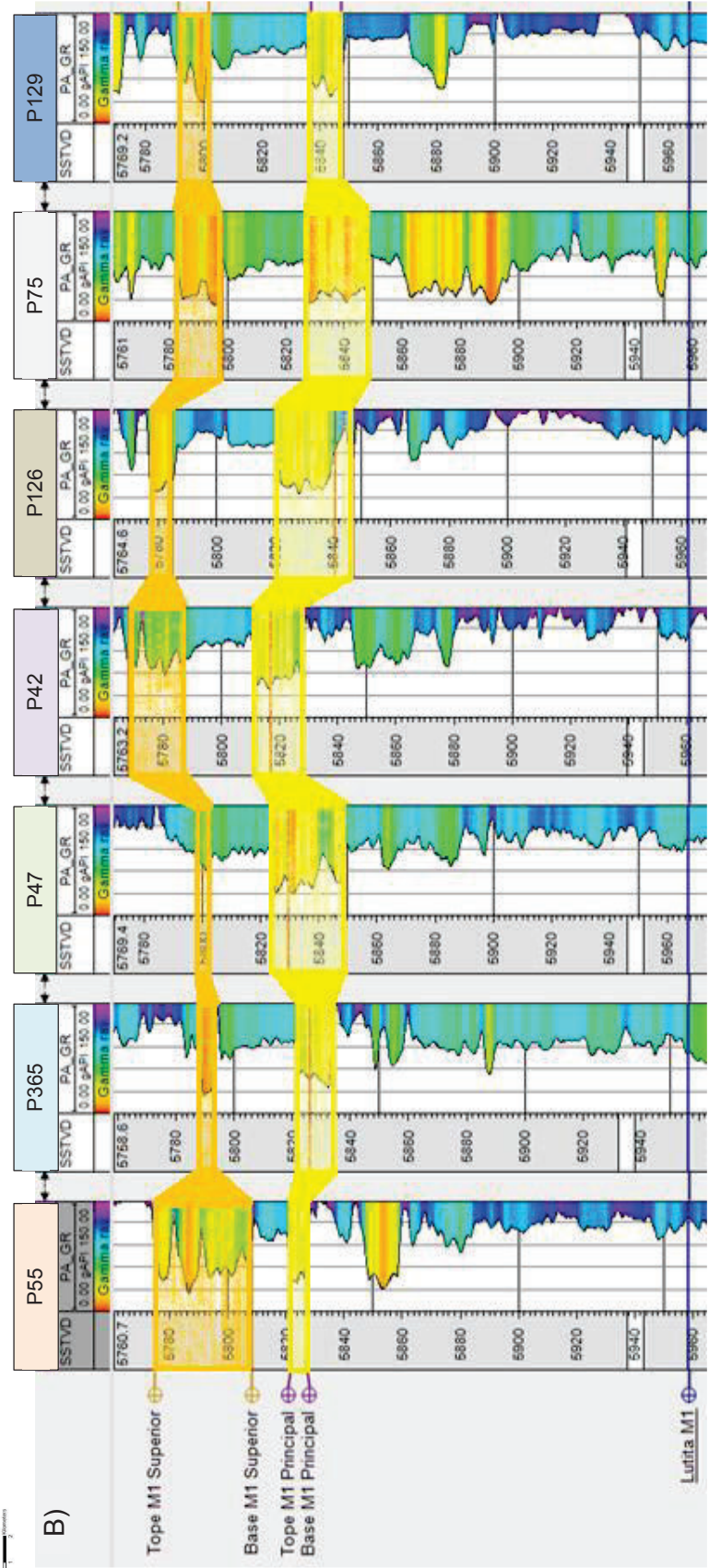


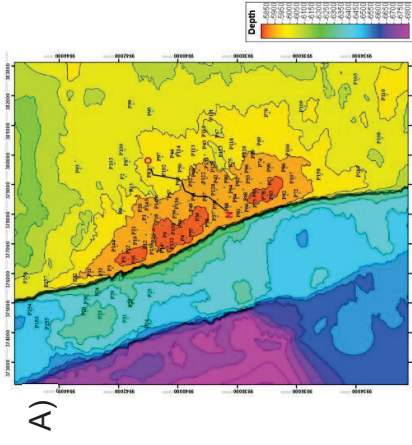
**Figura 5.19** Corte C-D: **A)** Mapa de amplitud de la Arenisca M-1 Principal donde se observa la dirección del corte N-S. **B)** Correlación estructural horizontalizado en la Lutita M-1 mostrando el espesor de la Arenisca M-1



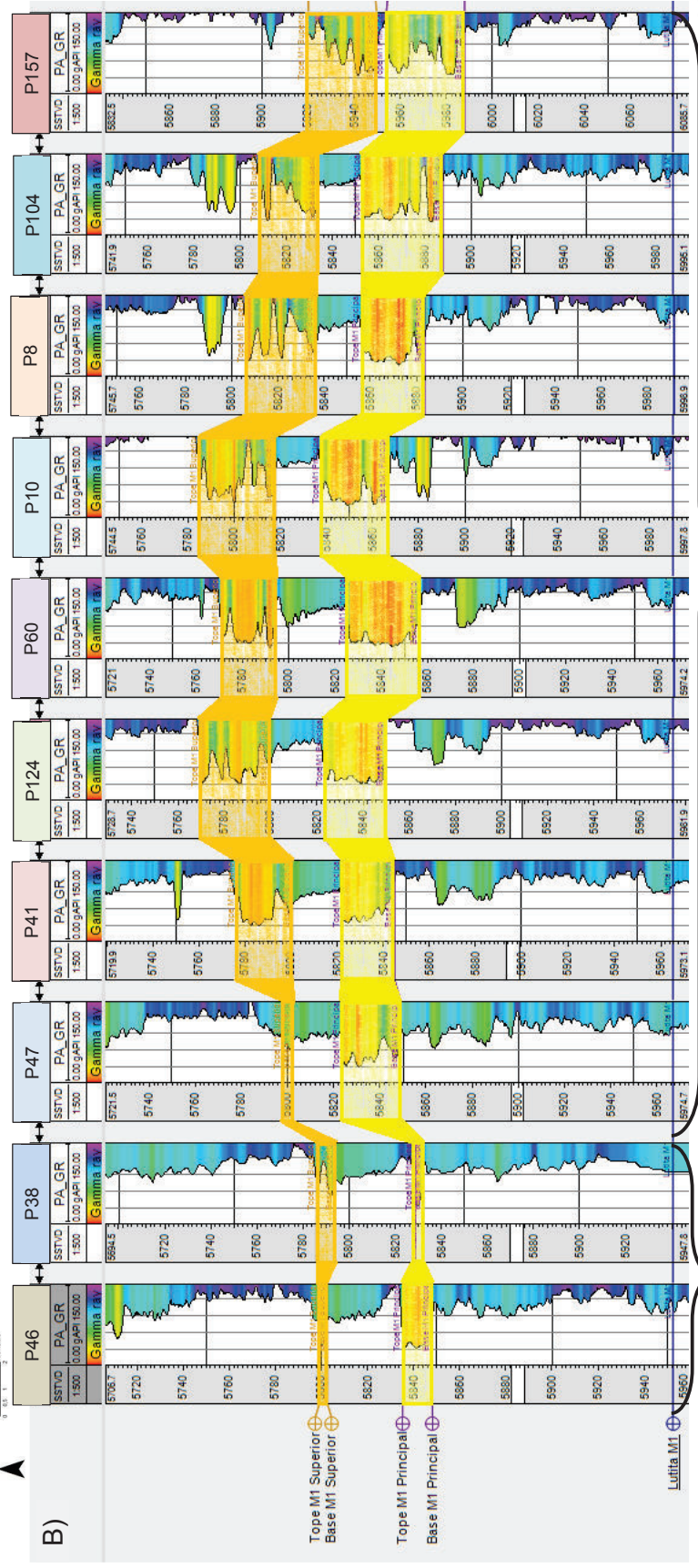


**Figura 5.20** Corte E-F: **A)** Mapa de amplitud de la Arenisca M-1 principal donde se observa la dirección del corte NO-SE. **B)** Correlación estructural horizontalizado en la Lutita M-1 mostrando el espesor de la Arenisca M-1 Principal



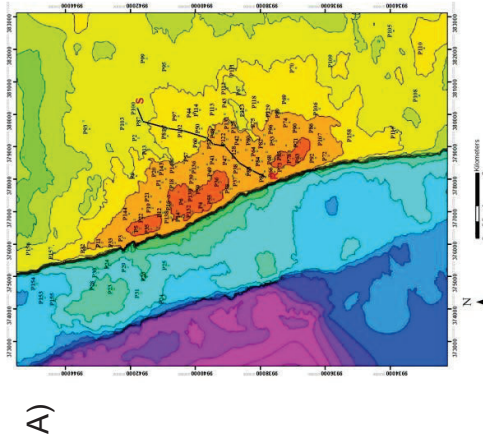


**Figura 5.21** Corte N-O: **A)** Mapa de amplitud de la Arenisca M-1 Principal donde se observa la dirección del corte NE-SO. **B)** Correlación estructural horizontalizado en la Lutita M-1 mostrando el espesor de la Arenisca M-1

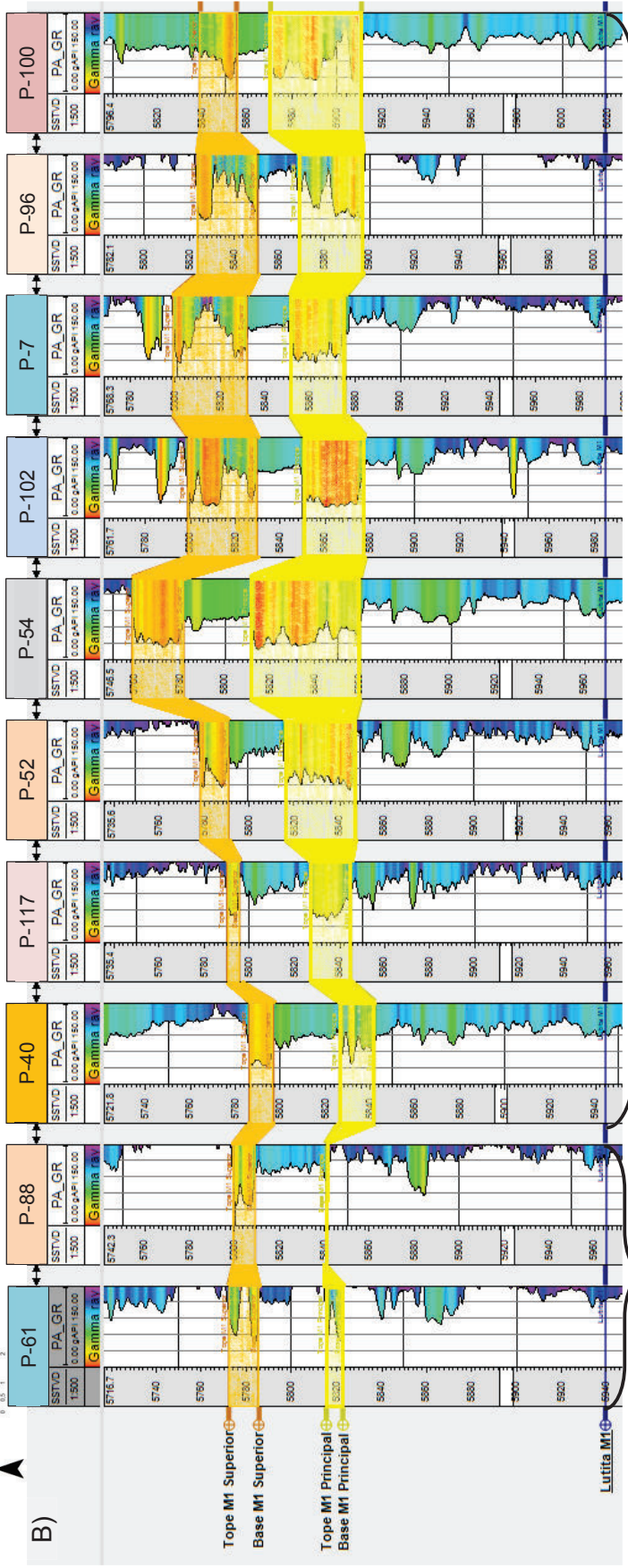


Frente deltaico medio a proximal

Frente deltaico distal a prodelta

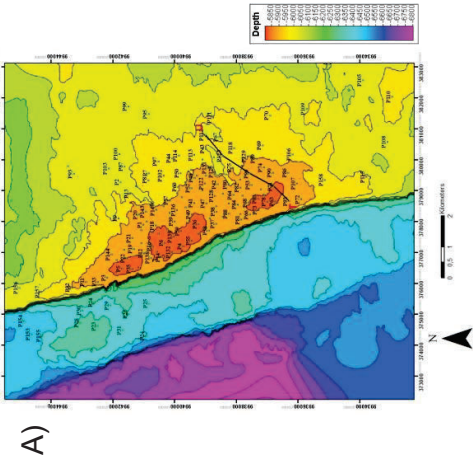


**Figura 5.22** Corte R-S: **A)** Mapa de amplitud de la Arenisca M-1 Principal donde se observa la dirección del corte NE-SO. **B)** Correlación estructural horizontalizado en la Lutita M-1 mostrando el espesor de la Arenisca M-1

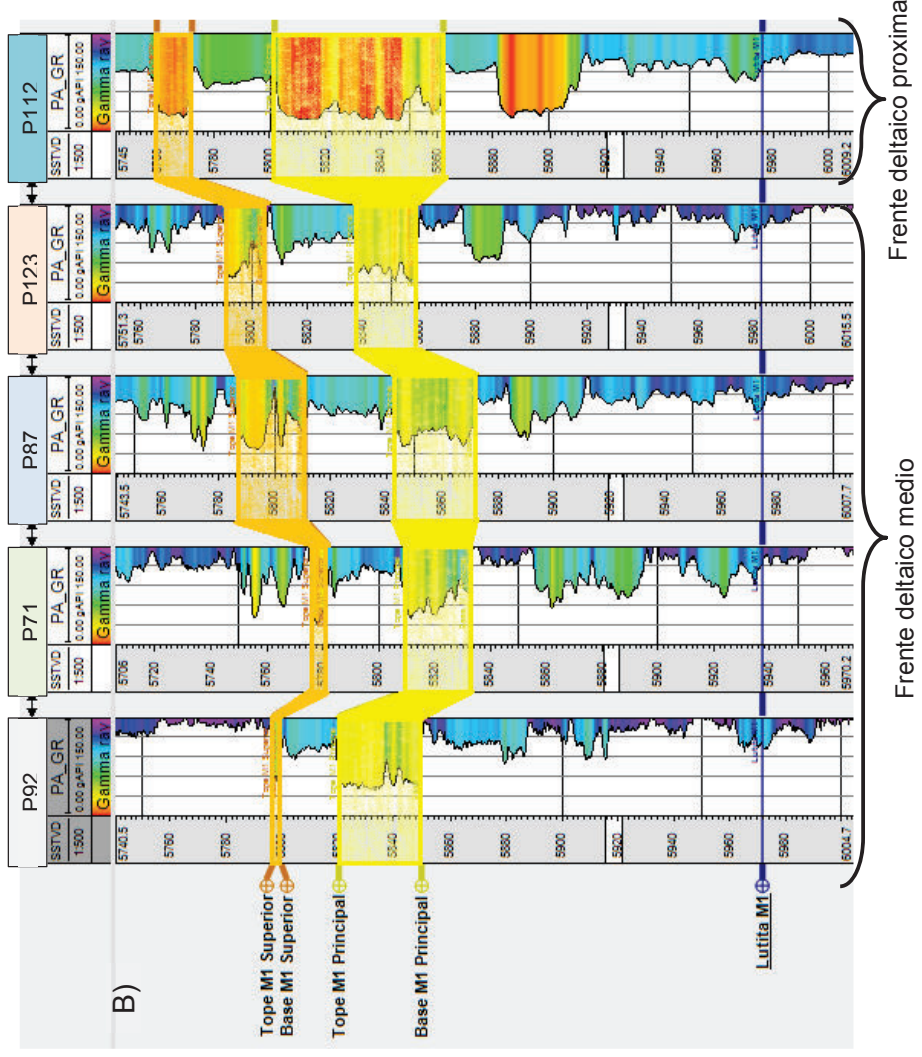


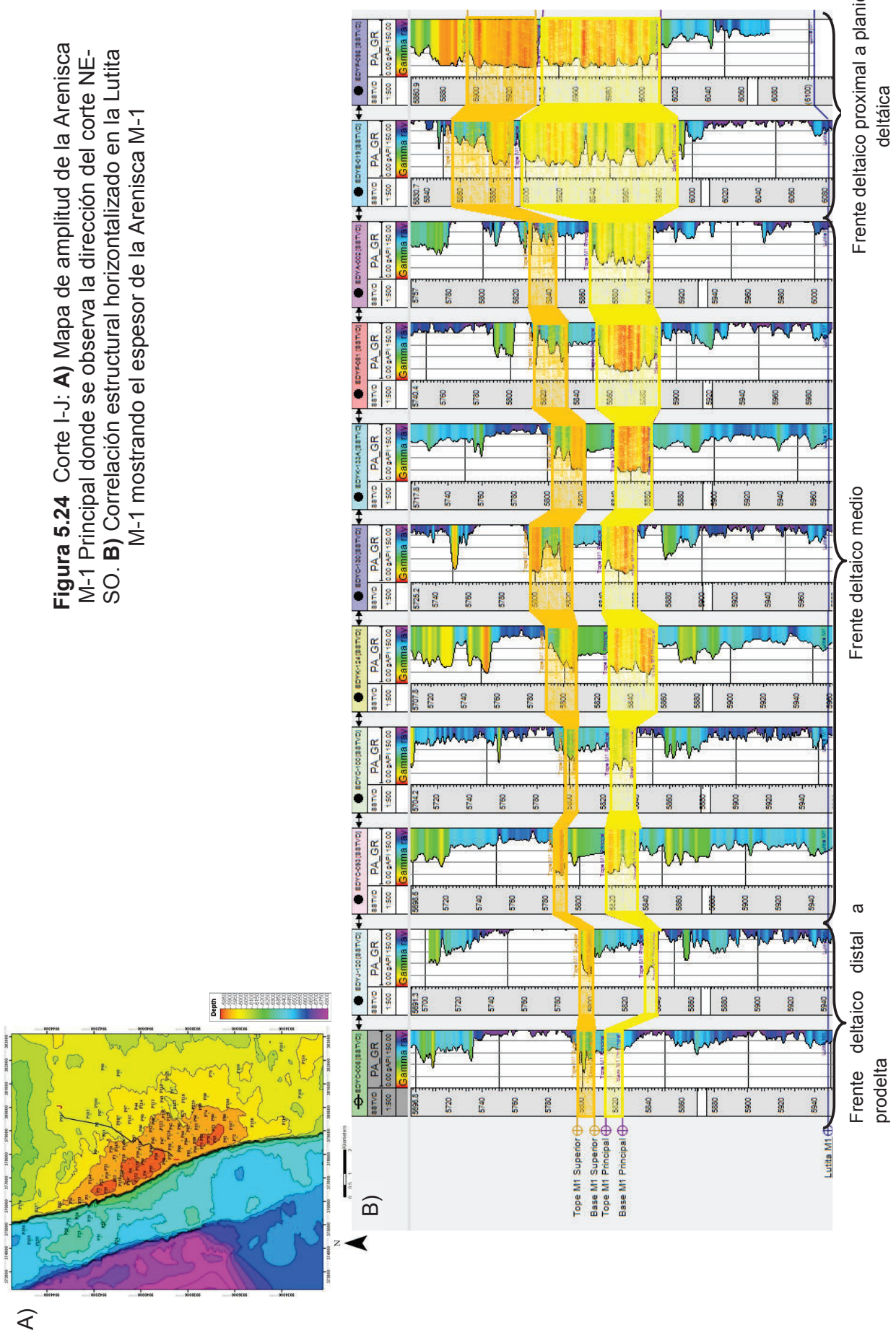
Frente deltaico distal a prodeita

Frente deltaico medio a proximal



**Figura 5.23** Corte T-U: **A)** Mapa de amplitud de la Arenisca M-1 Principal donde se observa la dirección del corte NE-SO. **B)** Correlación estructural horizontalizado en la Lutita M1 mostrando el espesor de la Arenisca M-1





**Figura 5.24** Corte I-J: **A)** Mapa de amplitud de la Arenisca M-1 Principal donde se observa la dirección del corte NE-SO. **B)** Correlación estructural horizontalizado en la Lutita M-1 mostrando el espesor de la Arenisca M-1

## **5.3 ANÁLISIS SÍSMICO**

Existe en el campo levantamiento sísmico 3D, con el cual se determinó un anticlinal alargado con dirección Noroeste-Sureste, limitado al Oeste por una zona de fallas (Figura 5.25), lo que divide al campo en dos segmentos estructurales, el bloque alto al Este de la Falla y el bloque hundido al Oeste de la misma, también al Sureste se puede observar un cierre estructural adicional.

### **5.3.1 MAPA ESTRUCTURAL EN PROFUNDIDAD DE LA BASE DE LA ARENA M1**

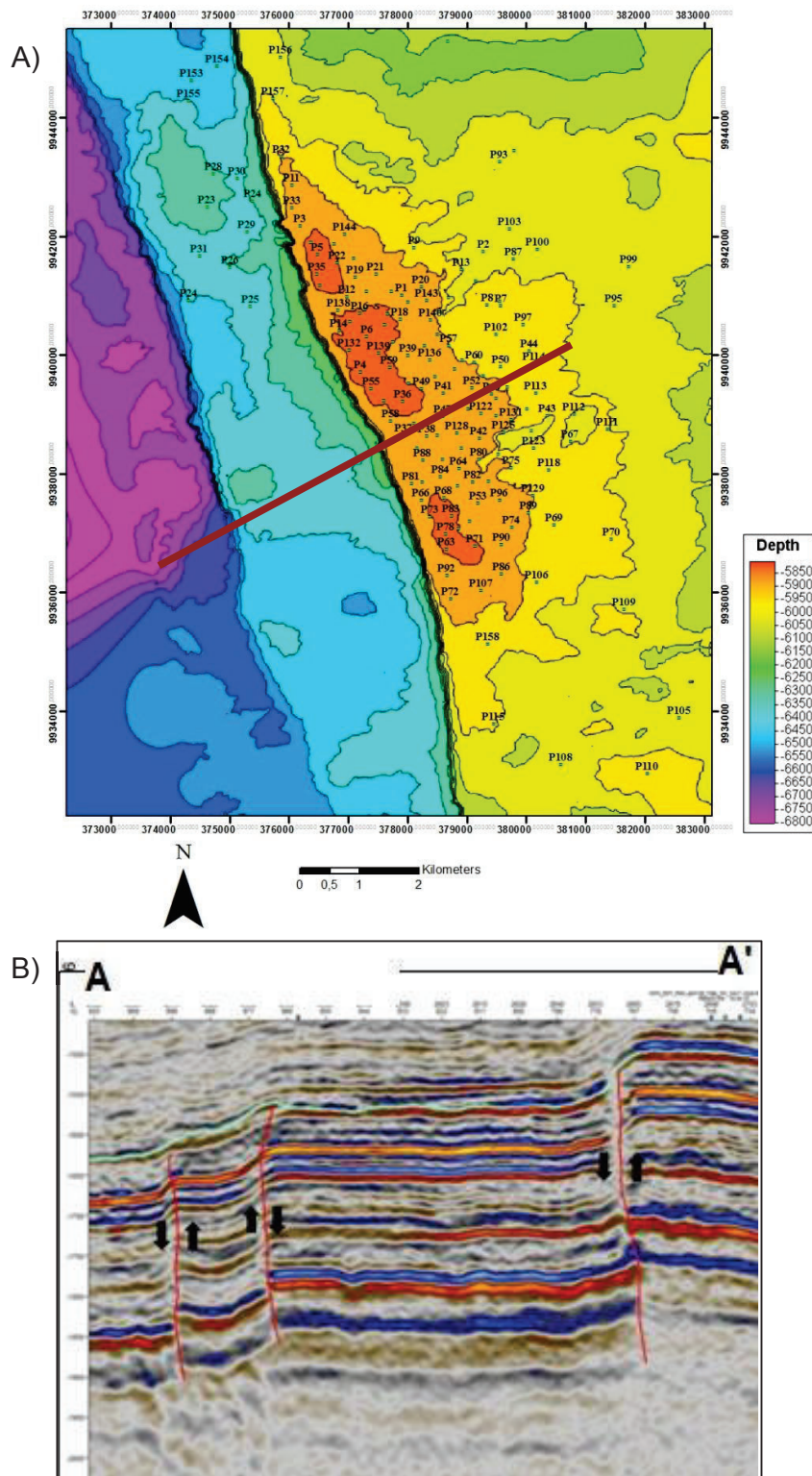
El ajuste del horizonte sísmico en la base de la Arena M1 permitió observar un relieve estructural, siendo este un anticlinal con dirección Noroeste-Sureste limitado al Oeste por una zona de fallas (Figura 5.26)

### **5.3.2 MAPA ESTRUCTURAL EN PROFUNDIDAD AL TOPE DE LA ARENA M1**

El mapa estructural del tope de la Arena M, permite observar el mismo relieve estructural, siendo un anticlinal con dirección Noreste-Suroeste, donde las curvas de nivel poseen un rango de 5800 a 6800 pies (TVDSS) (Figura 5.27)

### **5.3.3 MAPA ISÓPACO DE LA ARENA M1**

El mapa de amplitud instantánea del reflector sísmico permite observar cuerpos de arena alineados Noreste-Suroeste, con un espesor que varía de 10-50 pies, además se ve claramente que en la zona de falla el espesor disminuye (Figura 5.28)



**Figura 5.25 A)** Mapa estructural de la Arenisca M-1 Principal cortando por una línea sísmica NO-SE, donde se observa el anticlinal. **B)** Línea sísmica donde se observa las fallas del campo



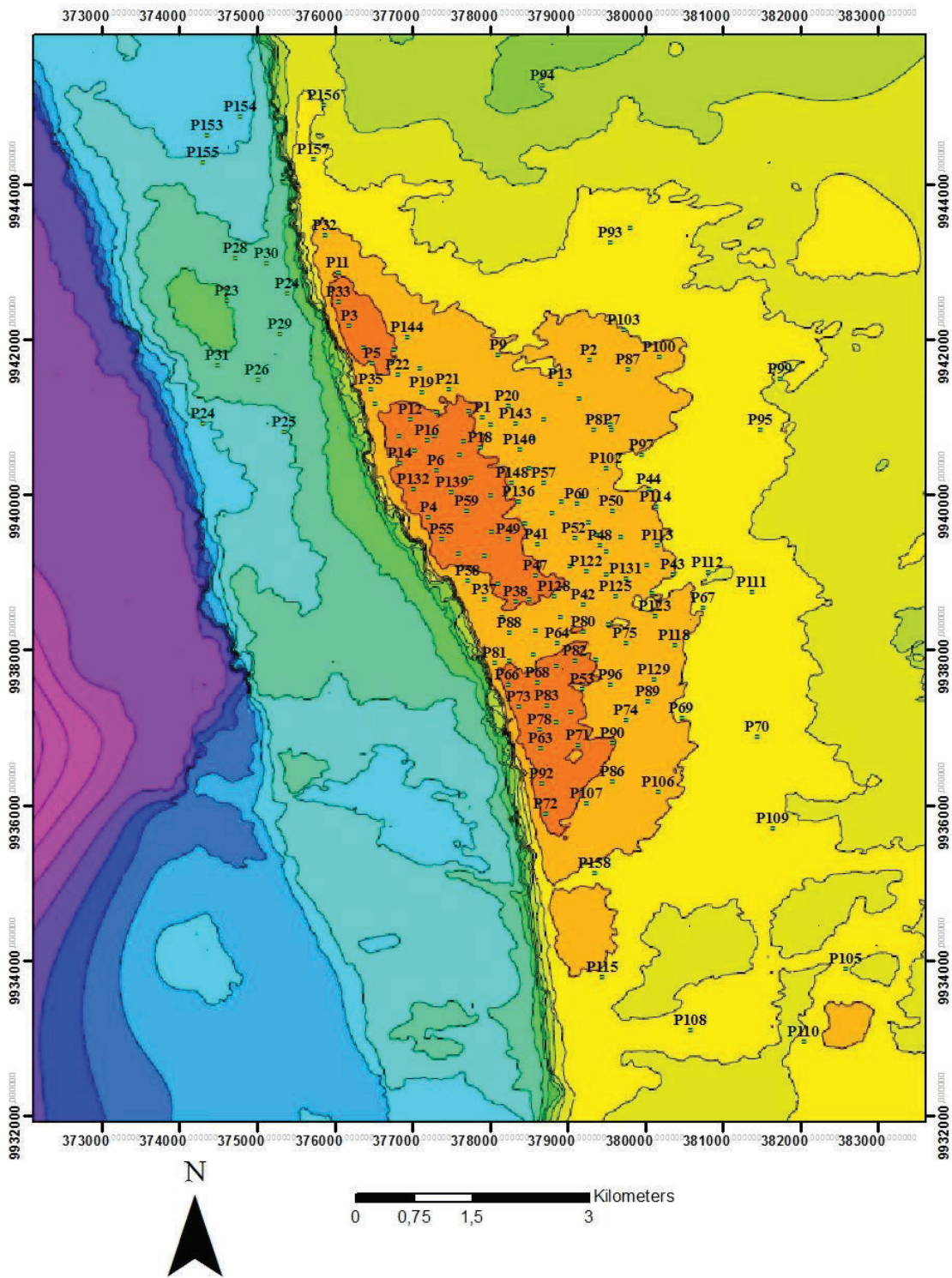


Figura 5.26 Mapa estructural en profundidad de la base de la Arenisca M-1

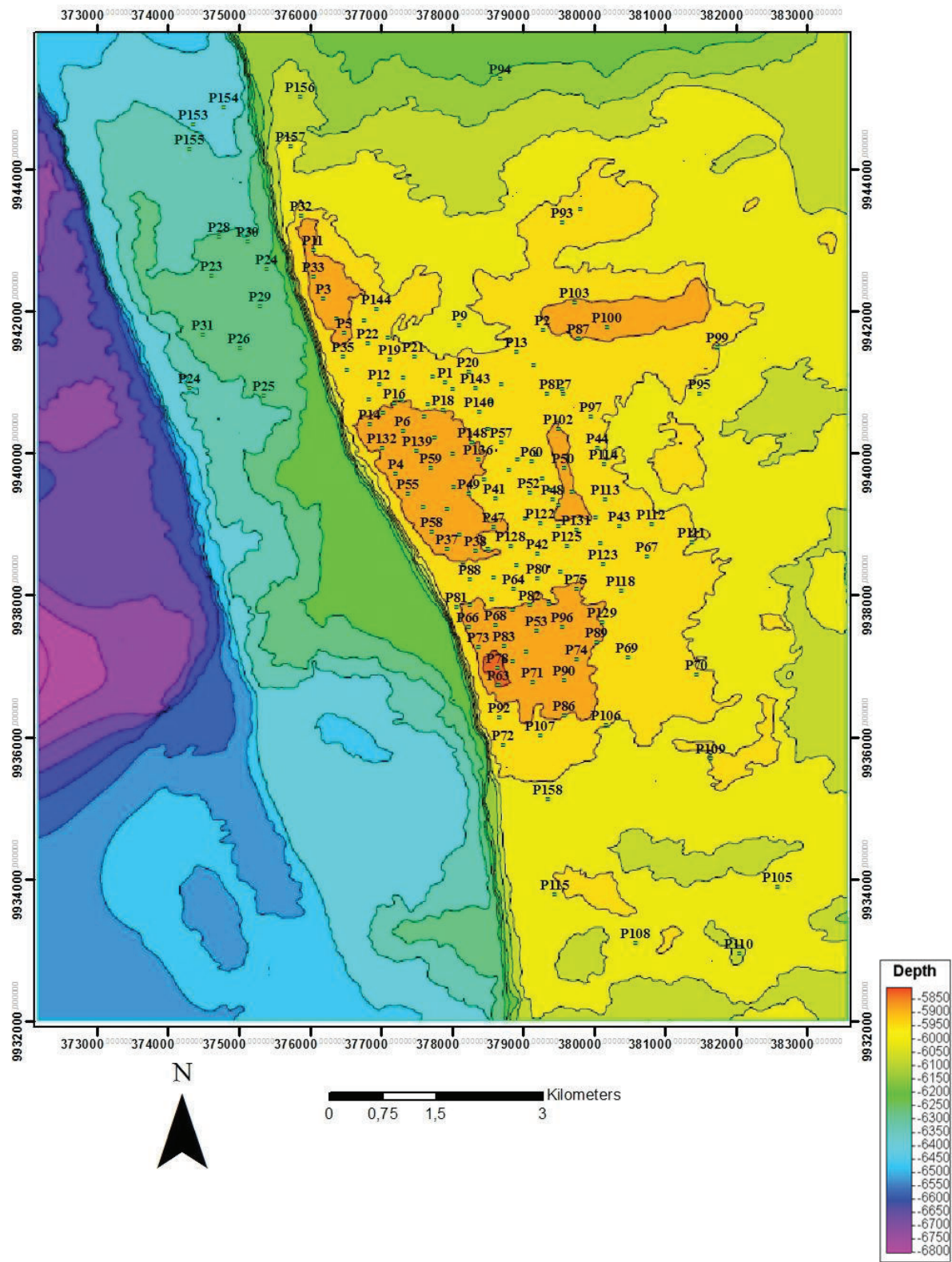


Figura 5.27 Mapa estructural en profundidad del tope de la Arenisca M-1

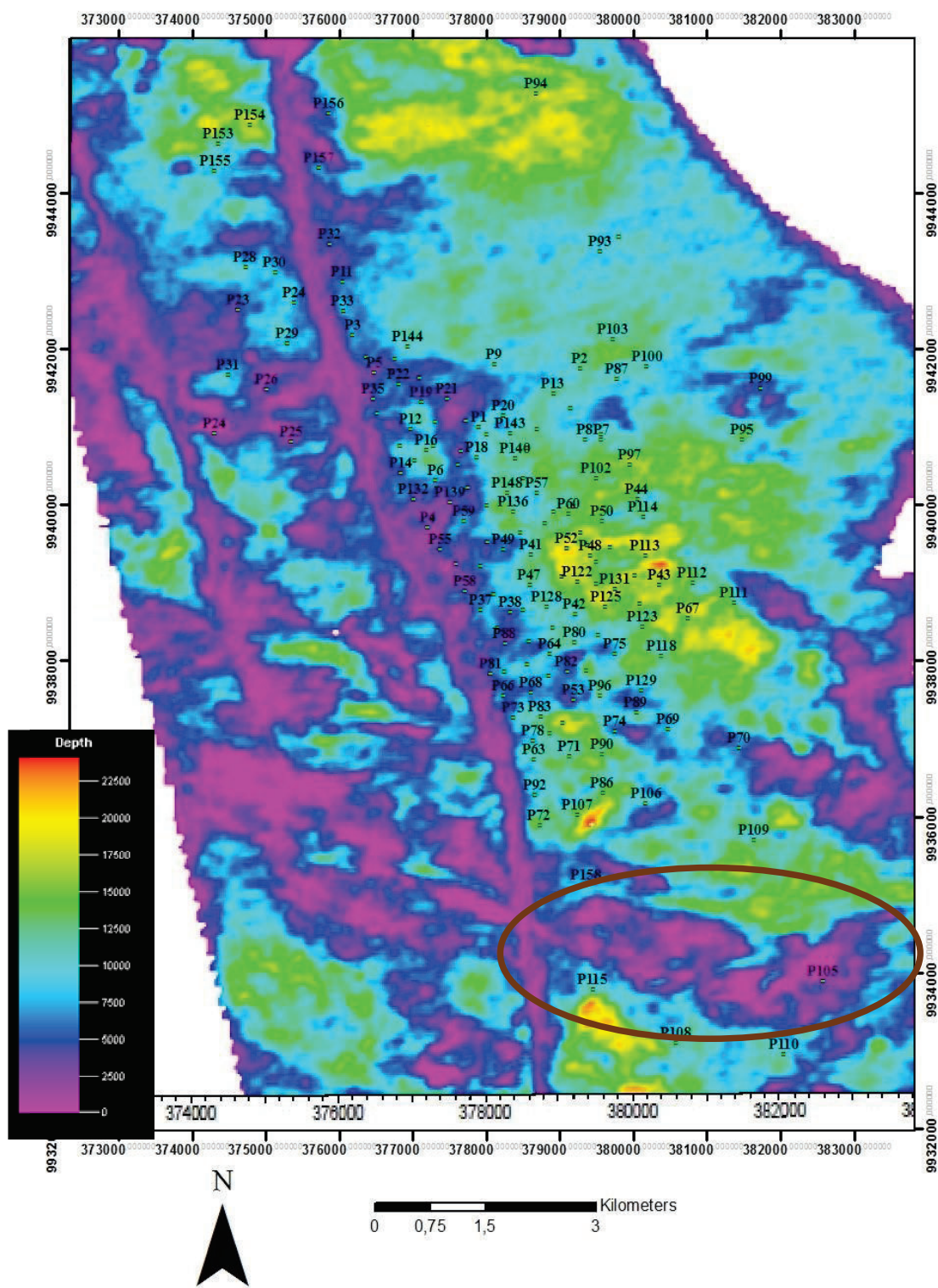
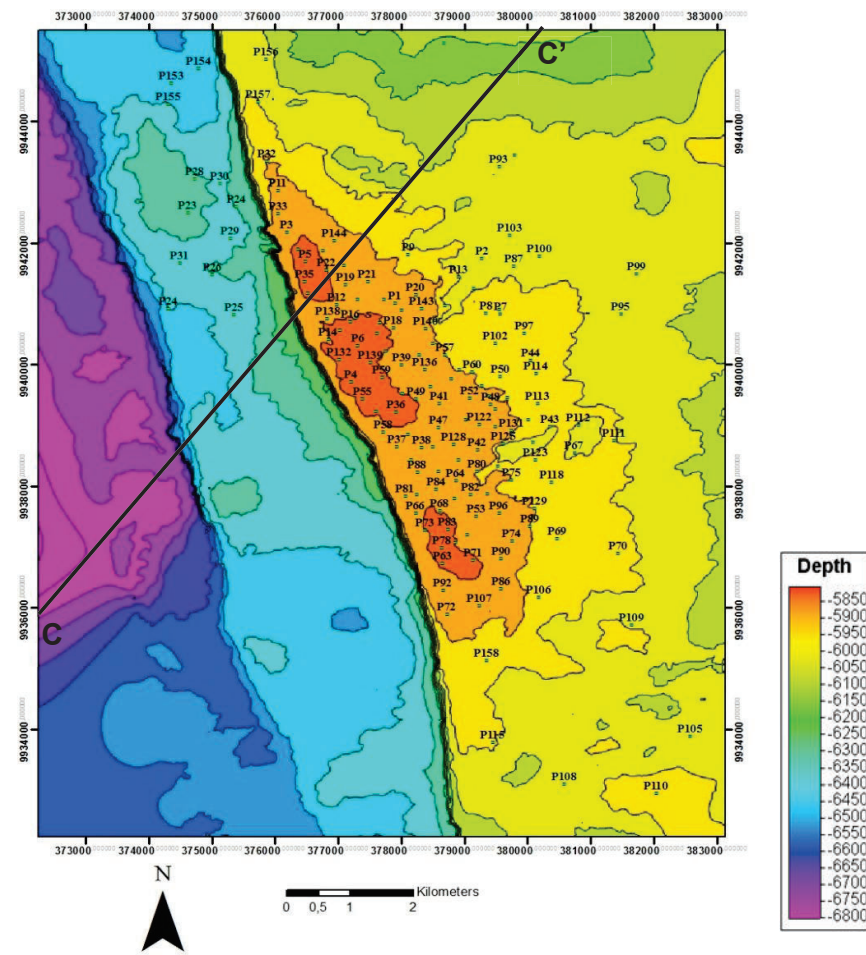


Figura 5.28 Mapa isópaco de la Arenisca M-1

El mapa de amplitudes además permite determinar altas amplitudes en los colores cálidos y bajas amplitudes en los colores fríos, valores que guardan relación con los mapas de espesores. El área marcada en la figura 5.28 representa una zona que separa dos lóbulos, anteriormente conocida como “canal de lodo”. Esta zona se forma cuando cesa la progradación del delta, seguida por la subida del nivel del mar, permitiendo que las zonas donde no hubo deposición de arenas sean rellenadas con lodos, formando así onlaps.

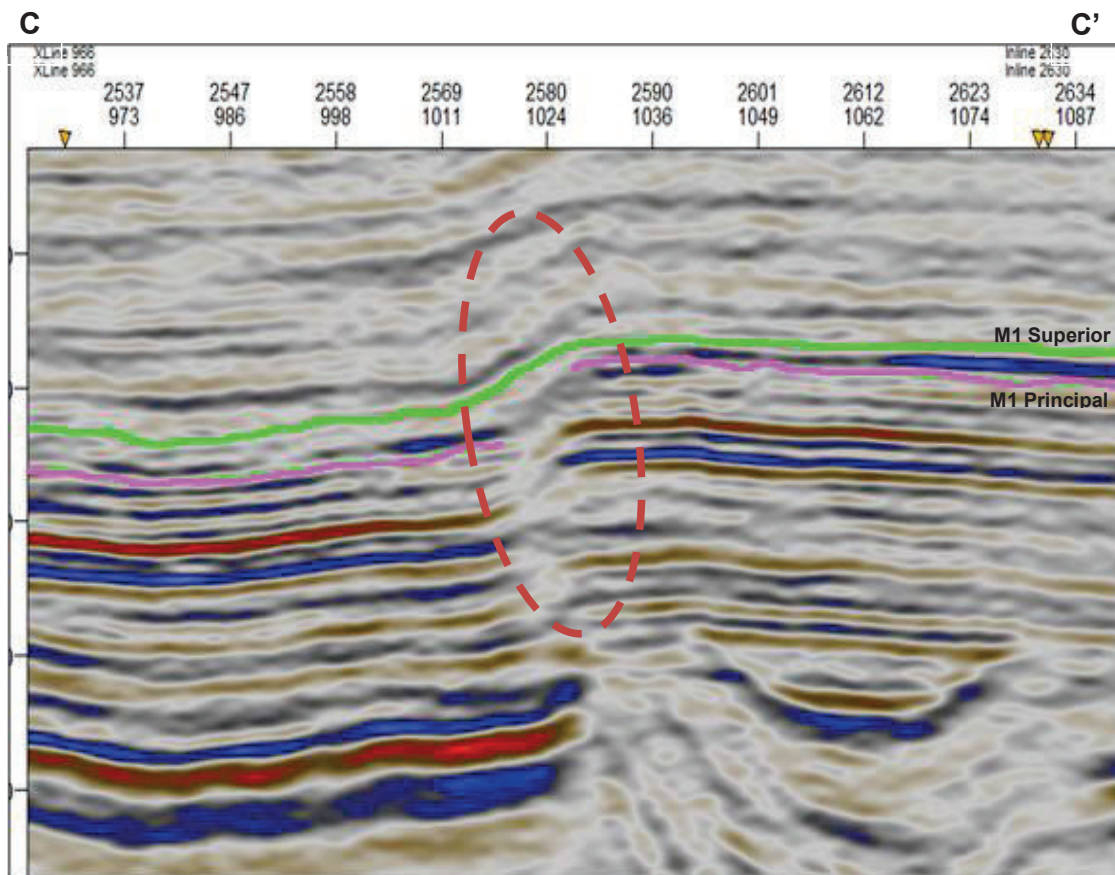
### 5.3.4 ANÁLISIS DE LA FALLA

Para el análisis de la falla se procedió a realizar varias líneas sísmicas (random line) con dirección NE-SO dentro de la Arena M1 (Figura 5.29, anexo 4 y 5).



**Figura 5.29** Mapa de la base de la Arenisca M-1 mostrando la ubicación del corte de la línea sísmica para el análisis de la falla

Con lo cual se constata que la falla ubicada al Oeste del anticlinal afecta a las capas de diferente manera en el campo (Figura 5.30), determinándose así que la falla causa ruptura en las capas que están bajo el tope de la Arena y flexura en el tope de la Arena afectando a toda la secuencia sedimentaria, la flexura se puede relacionar a un efecto de falla ciega.



**Figura 5.30** Análisis de la falla ubicada al oeste del campo

Con estas evidencias se determina a la falla como posterior a la sedimentación, y se descarta que la misma sea sinsedimentaria ya que todas las capas de arena están presentes y la falla se encuentra afectando a capas posteriores de M1 (Figura 5.31)

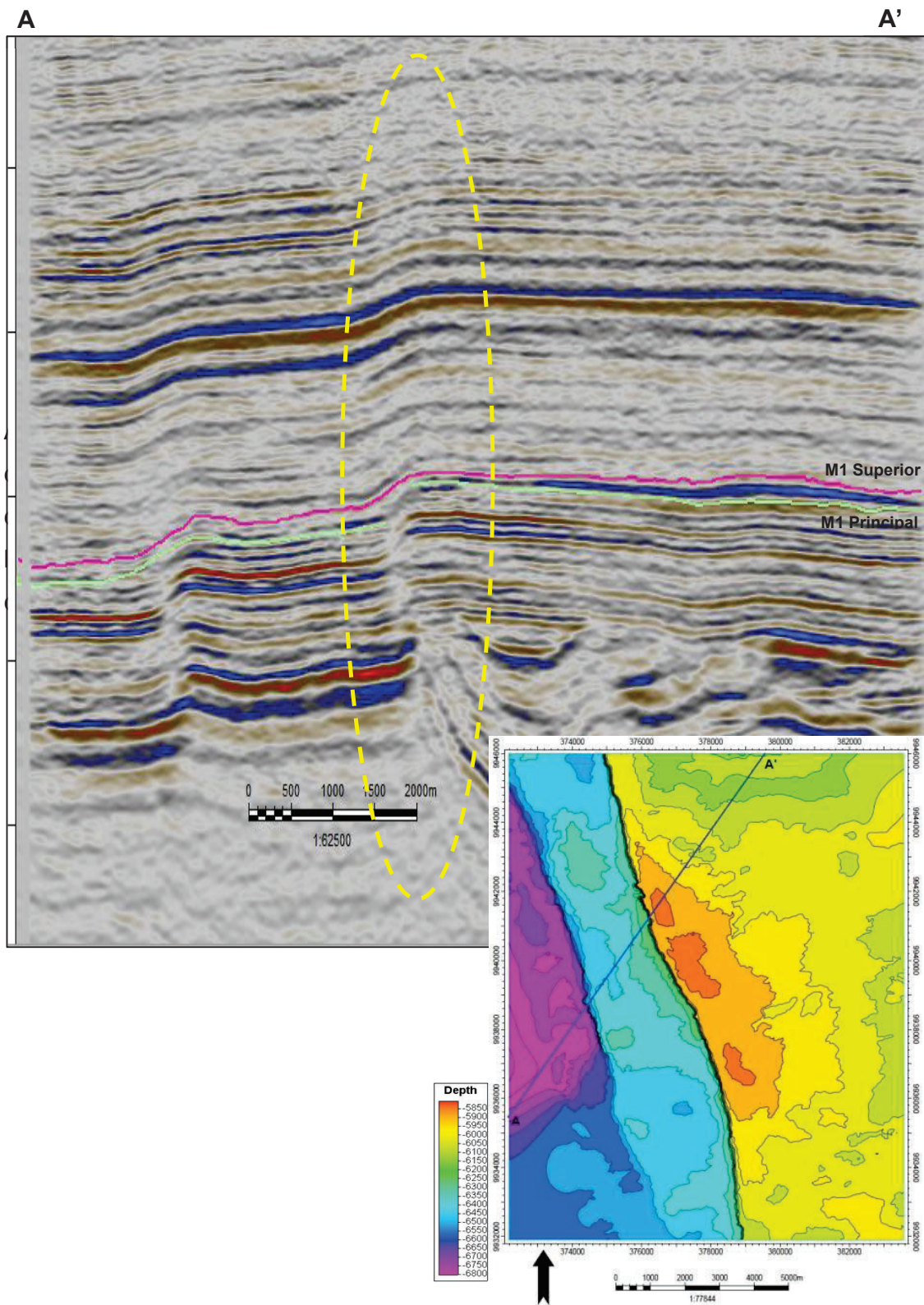
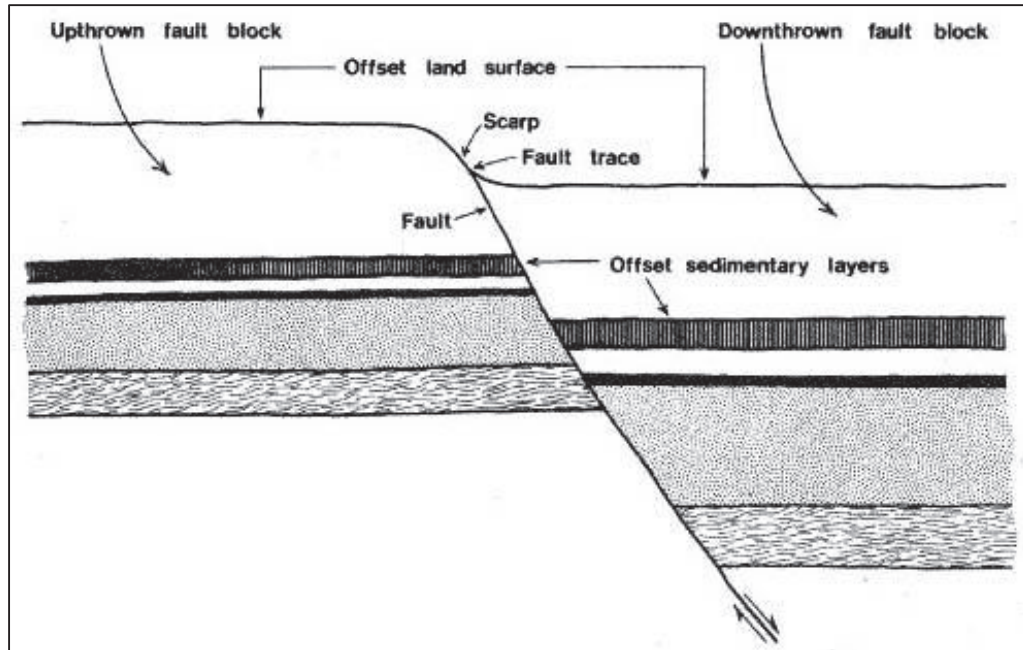


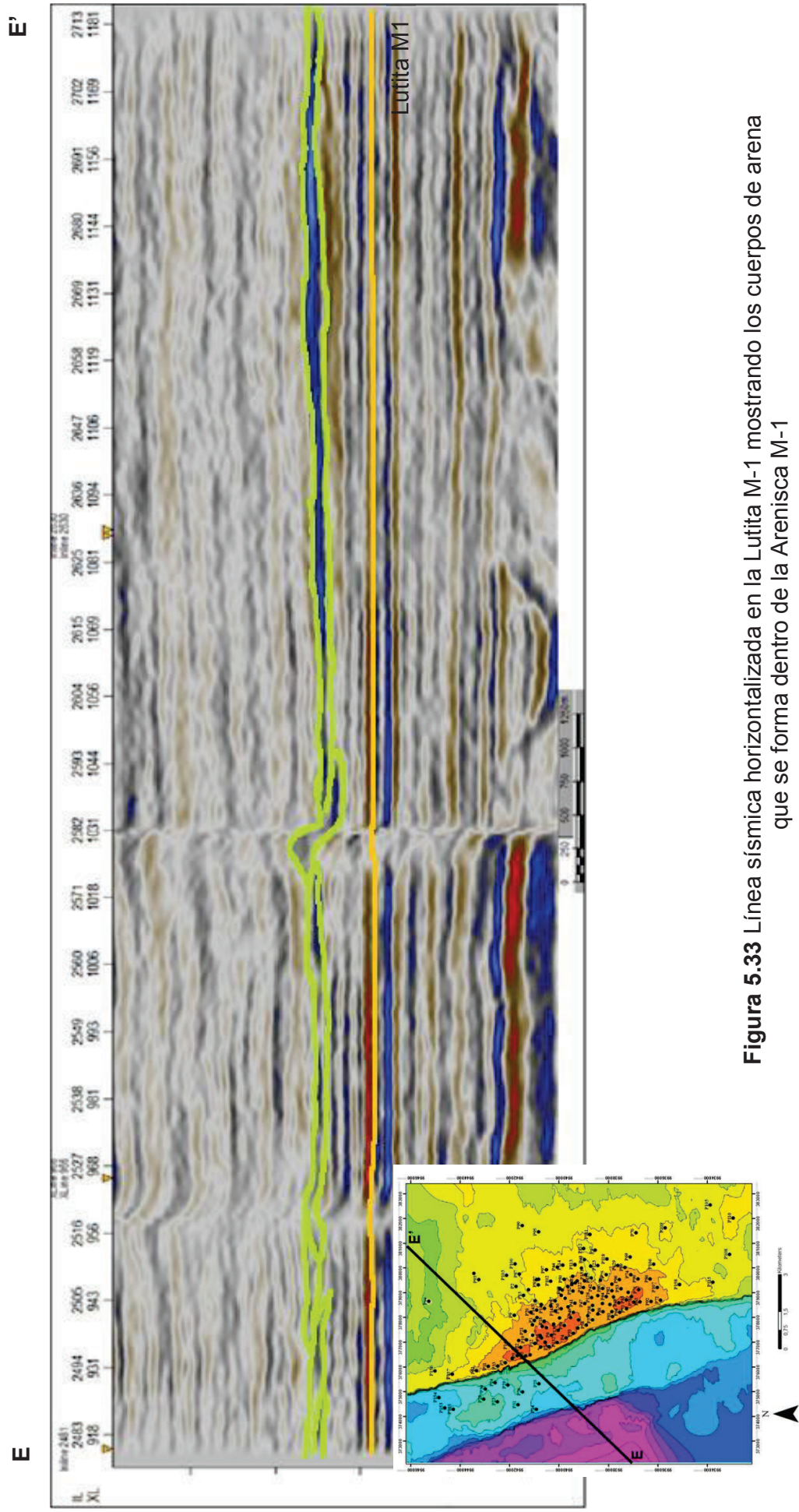
Figura 5.31 Análisis general de la falla



**Figura 5.32** Diagrama de la falla sin sedimentaria (Tomado de Verbeek Earl R, 2005)

### 5.3.5 ANÁLISIS DE LOS CUERPOS DENTRO DE LA ARENA M1

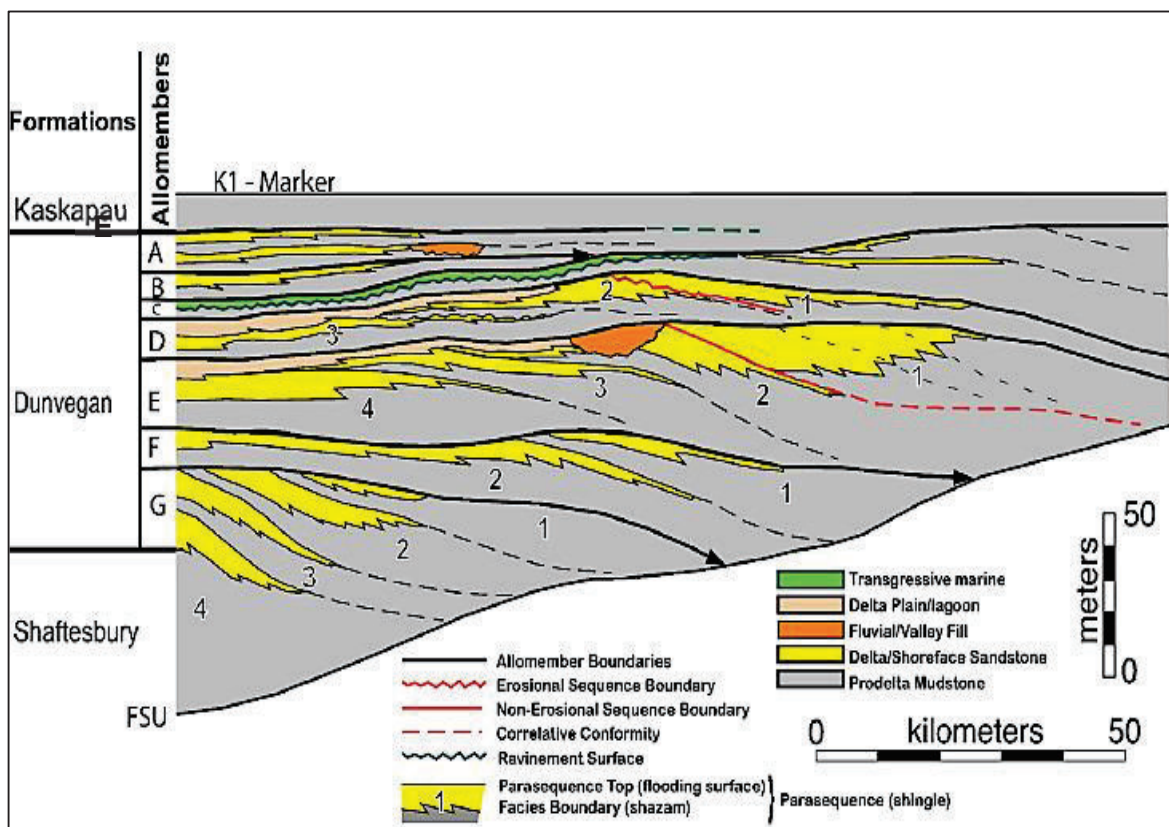
Para el análisis correspondiente de los cuerpos que se encuentran en la Arenisca M-1 se ha utilizado como superficie clave a la Lutita M-1, ya que representa una superficie de máxima inundación. Por lo que se procedió a horizontalizar la línea sísmica en esta superficie, obteniendo así a la Arenisca M1 antes del fallamiento, siendo la misma útil para observar los cuerpos (clinoformos) que lo conforman (Figura 5.33, anexo 6 y 7).



**Figura 5.33** Línea sísmica horizontalizada en la Lutita M-1 mostrando los cuerpos de arena que se forma dentro de la Arenisca M-1

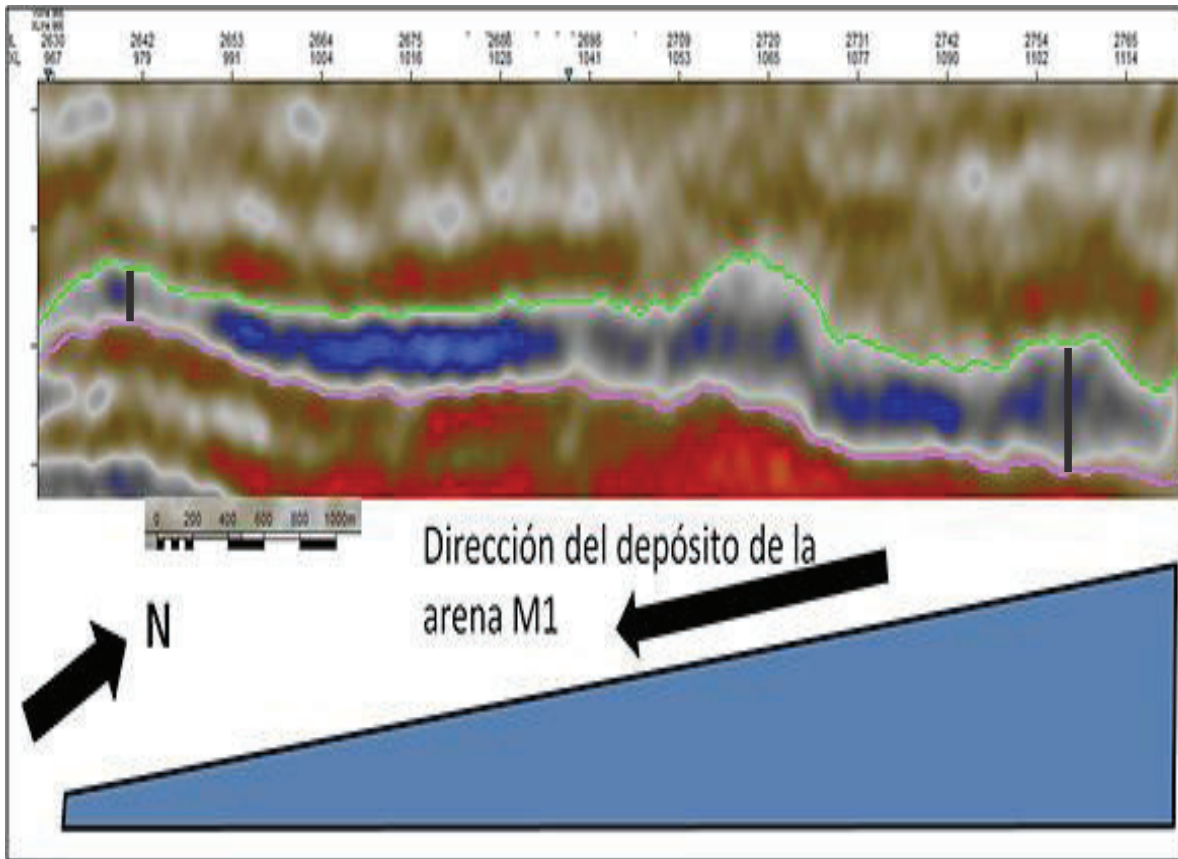


Donde se determina que la secuencia de la Arenisca M1 está compuesta de cuerpos de arenas no conectados entre sí y limitados a la base y tope por lutitas que se comportan como capas sello. Esta depositación sucede durante un estado de progradación de la línea de costa. Por esta razón se puede ver intercalaciones de areniscas del frente deltaico encerradas por lutitas del prodelta (figura 5.34)



**Figura 5.34** Modelo esquemático para la Arenisca M-1 Principal (Tomado de Bhattacharya, 2009)

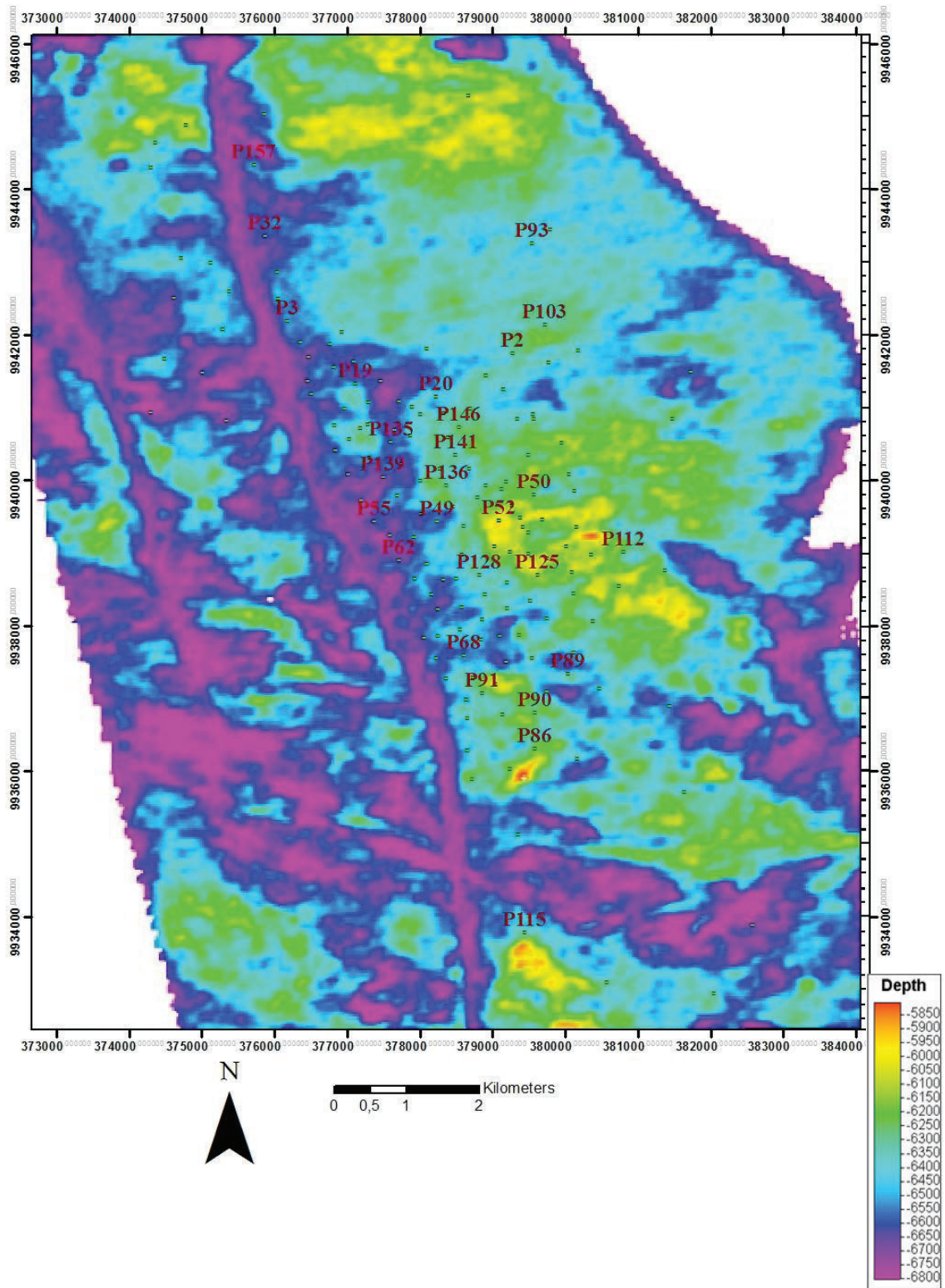
En la figura 5.35 extraída de la sísmica se puede ver claramente y verificar la dirección de la depositación NE-SO, donde se observa una disminución de la Arena.



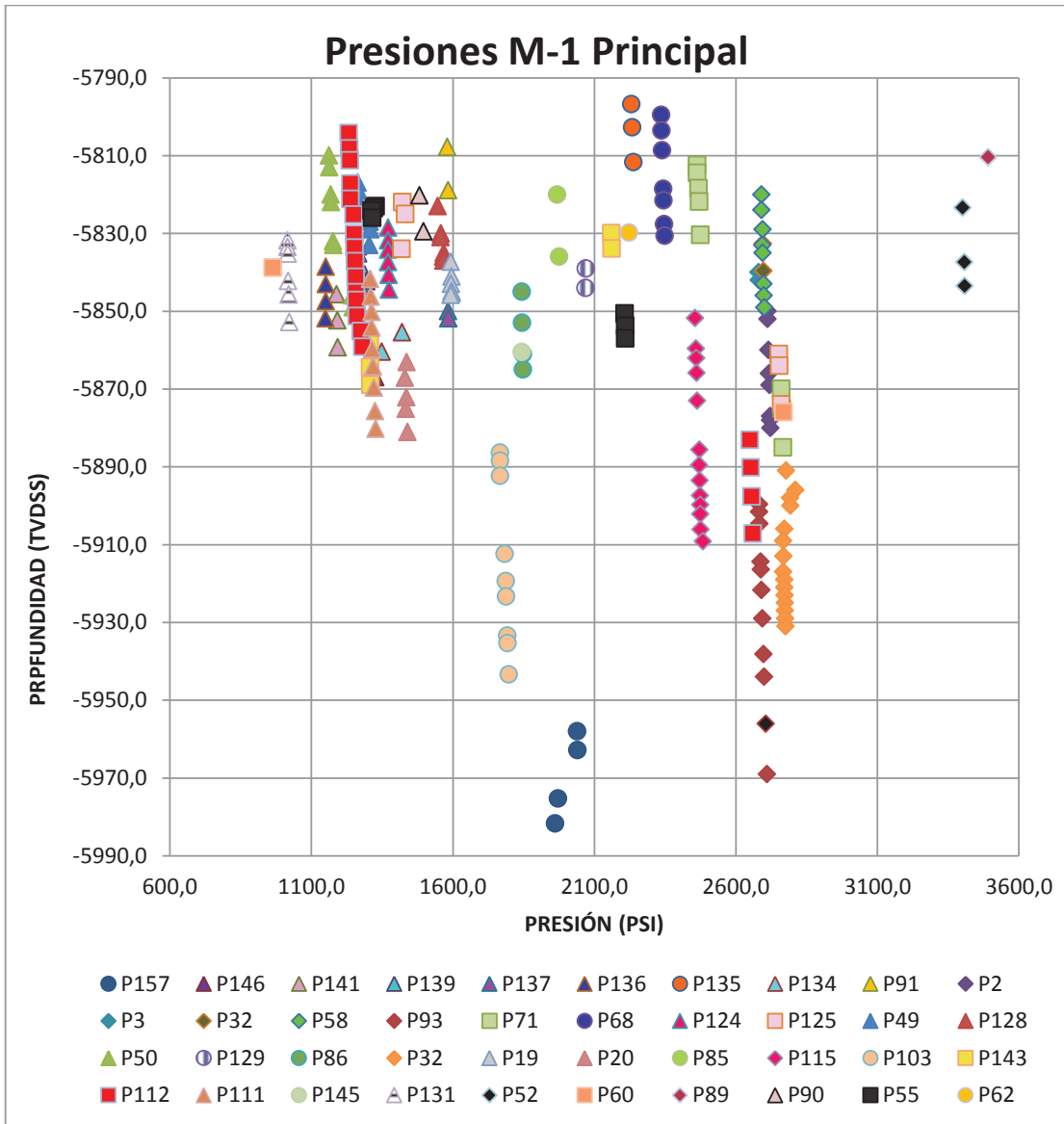
**Figura 5.35** Sísmica donde se observa la disminución de la arena en la dirección NE-SO

Dentro de la Arena M-1 se encuentran cuerpos alargados de arenas limitados por lutitas formando cliniformes. La geometría 3D de los cliniformes refleja la interacción entre el suministro de sedimentos y la acomodación.

Posterior a esto y para corroborar a la depositación de Arenas en cuerpos no conectados entre sí se realiza los gráficos de Presión vs Profundidad para la Arenisca M-1 Principal (Figura 5.36 Y 5.37) y para la Arenisca M-1 Superior (Figura 5.38 Y 5.39).

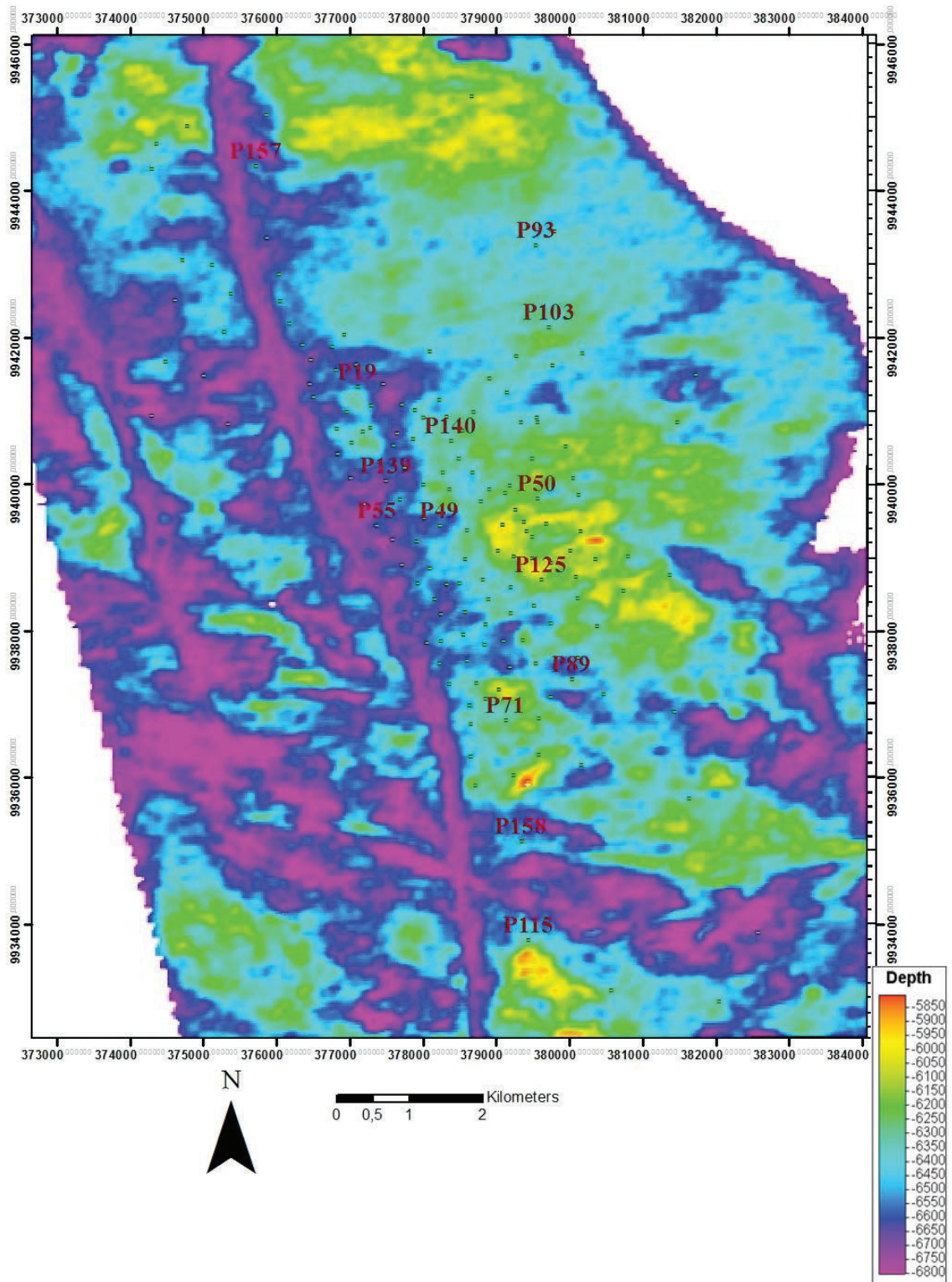


**Figura 5.36** Mapa de la base de la Arenisca M-1 mostrando la ubicación de los pozos que poseen datos de presión en la Arenisca M-1 Principal

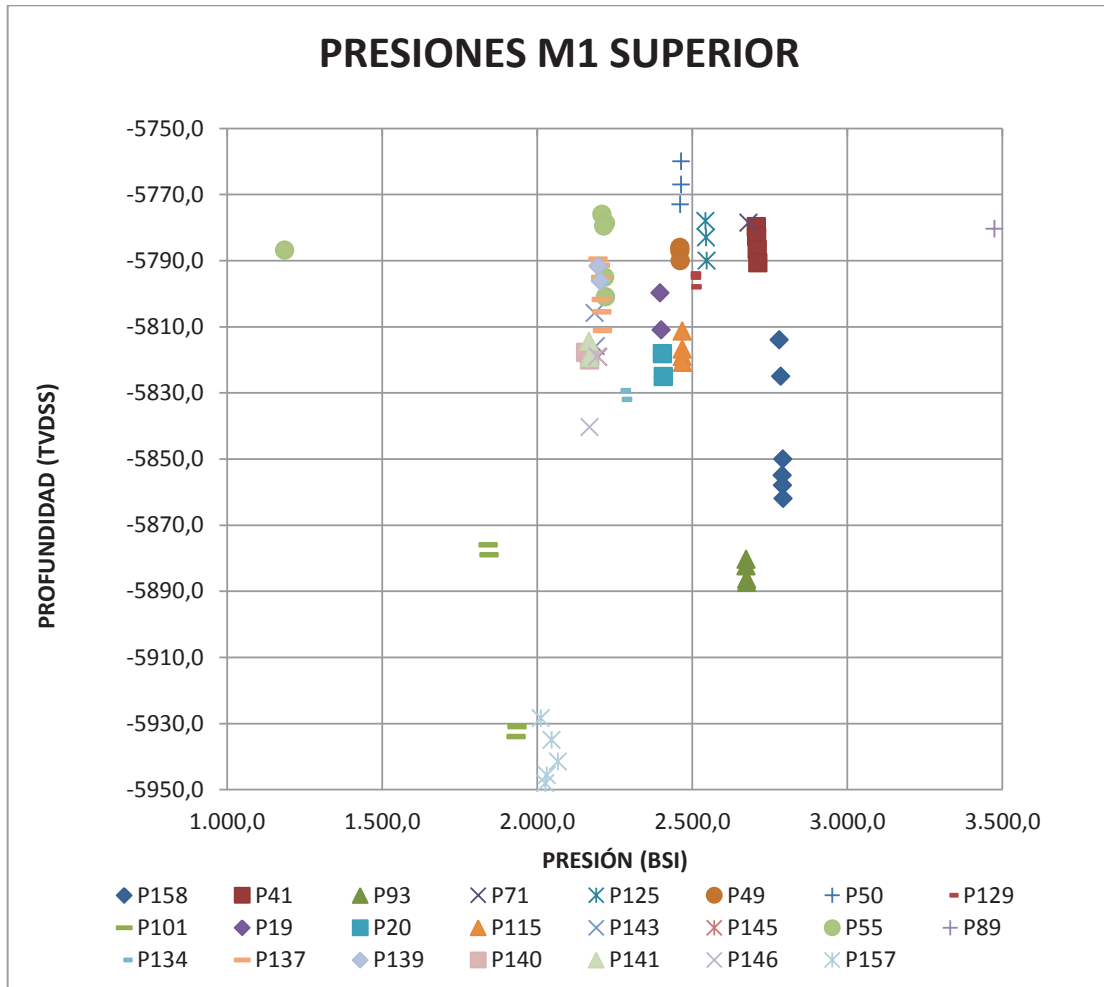


**Figura 5.37** Gráfico de presión vs profundidad de la Arenisca M-1 Principal mostrando la variabilidad en las presiones

En la figura 5.37 los pozos P157 y P32 que se encuentran cercanos poseen presiones diferentes, al igual que el pozo P52 cercano a los pozos P50, P125, P49 y P136, el pozo P89 cercano a los pozos P90 y P91, por lo que se concluye que la Arenisca M-1 Principal se observa que existe una diferencia significativa de las presiones en el campo de pozos que se encuentran cercanos, por lo que se presume que las arenas no se encuentran conectadas.



**Figura 5.38** Mapa de la base de la Arenisca M-1 mostrando la ubicación de los pozos que poseen datos de presión en la Arenisca M-1 Superior



**Figura 5.39** Gráfico de presión vs profundidad de la Arenisca M-1 Superior

Para la Arenisca M-1 Superior las presiones presentes son más constantes y esto se debe a que el ambiente de depositación es diferente a la Arenisca M-1 Principal.

Se debe considerar que el pozo P115 se excluye del estudio de las presiones ya que forma un cuerpo totalmente separado y esto se debe a la forma como se depositan los lóbulos de arena durante la progradación del delta.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- Los topes y bases de los reservorios de M1 fueron modificados en este trabajo tomando en cuenta las variaciones del nivel del mar (transgresiones y regresiones), es decir, un modelo estratigráfico-secuencial
- Se tomó a la Lutita M-1 como nivel de referencia para determinar la línea de tiempo ya que marca una superficie de máxima inundación (MFS), que son depositadas durante episodios de progradación de la línea de costa. Con este nivel de referencia se reconstruye la geología durante la sedimentación.
- En base al análisis petrográfico-sedimentológico se reconoce que la litología de la Arenisca M1 Principal y M1 Superior en el campo, está caracterizada por una arena limpia que en el tope posee arena con contenido variable de caolinita, lo que distorsiona la lectura de los registros de Gamma Ray, resistividad, densidad-neutrón.
- Los resultados obtenidos del análisis de los rayos Gamma Ray espectrales confirman la existencia de caolinita en el campo, además en el pozo P87 que se ubica al Noreste del campo existe caolinita y oscilaciones entre illita-esmectita que está vinculado con un ambiente de agua dulce deltaico y marino
- Se reconocen tres secuencias estratigráficas progradantes dentro de la Arenisca M-1.

- Los mayores espesores de arena se registran en la parte Noreste del Campo
- En el mapa de espesor para la Arenisca M1 Principal se observan cuerpos irregulares con una orientación NE-SO en forma de clinoforos que afectan la comunicación hidráulica en el campo y posiblemente modifica el entrapamiento de hidrocarburos.
- En el mapa de espesor para la Arenisca M1 Superior se observa disminución gradual de la arena hacia el SO
- La dirección de la depositación de las arenas estudiadas en el campo es NE-SO que se aprecia claramente en la sísmica.
- El estudio de las presiones de la Arena M1 Principal determina que los cuerpos que la conforman no están hidráulicamente comunicados entre sí, ya que las presiones varían significativamente de un pozo a otro.
- Las electrofacies encontradas dentro del Campo son: canales de delta, barras de desembocadura, bahías distributarios y sedimentos finos relacionados al prodelta.
- El modelo deposicional que mejor se ajusta a nuestro criterio a los ambientes descritos en núcleos, a la forma de las electrofacies, a la geometría definida en base a las correlaciones entre pozos para las areniscas M1 Principal es de delta tomando en cuenta que el ambiente de la Arena M1 Superior es diferente, resultado que fue convalidado y reforzado con datos obtenidos del Gamma Ray espectral y análisis de la caolinita presente en los pozos. Con los resultados obtenidos del Gamma Ray Espectral para la Arenisca M1 Superior se observa influencia marina, sin determinar claramente el ambiente
- El tipo deltaico al que se relaciona el estudio es aún difícil determinar ya que es necesario una mayor profundización para el mismo, aunque, datos



obtenidos de núcleos muestran que hay estructuras formadas por flujos hiperpícnicos que son típicos de deltas con influencia de ríos.

- La caolinita que se observa en las muestras del campo es relativamente de tamaño grueso; según Hurst y Irwin, 1982 la caolinita formada por precipitación de aguas meteóricas es de tamaño  $>20\mu\text{m}$  mientras que los cristales que fueron formados en aguas marinas son típicamente más pequeñas por lo que se concluye que los tamaños de los cristales pueden sugerir de mezclas de agua dulce y agua marina, consistente con un ambiente deposicional deltaico
- La caolinita es típica de ambientes proximales
- En el campo se encuentra un anticlinal alargado, limitado a Oeste por una zona de falla, que divide al mismo en dos segmentos estructurales, el bloque alto al Este de la Falla y el bloque hundido al Oeste de la misma
- La sísmica 3D muestra evidencia de actividad tectónica en la depositación de las Arenas M1 Principal y M1 Superior, determinando de esta manera a la falla como posterior a la depositación de la Arena de interés

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda tomar en consideración a las Arenas M1 dentro de un sistema progradante donde existe cuerpos (lóbulos) de arena limitados por lutitas que comportamentalizan al hidrocarburo junto con el contacto agua-petróleo.
- Se recomienda realizar un modelo dinámico de las arenas para su mejor entendimiento tomando en cuenta que las mismas son afectadas por la falla ubicada al Oeste.

- Se recomienda que para la recuperación secundaria se tome en cuenta el ambiente de depositación sugerido.
- Se recomienda hacer un estudio petrofísico con mayor profundidad con la finalidad de conocer el comportamiento de los parámetros petrofísicos y su correlación con las litofacies de los núcleos de la arenisca M1 Principal y M1 Superior, con el objeto de obtener mejores caracterizaciones de los yacimientos, que directamente influye en el cálculo del POES (petróleo original en sitio)

## BIBLIOGRAFÍA

- ARCHE, A. (1992). *"Sedimentología", Volumen 1*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- ARCHE, A. (2010). *"Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria"*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- BABY, P. (1997). *"Modelo Estructural de la Parte Norte de la Cuenca Oriente Ecuatoriana"*. Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCIÓN, Informe Interno PETROPRODUCCIÓN, 31 pp.
- BABY, P., BERNAL, C., CHRISTOPHOUL, F., & VALDEZ, A. (1998). *"Modelo Estructural y Ciclos Tectono-Sedimentarios de la Cuenca Oriente"*. Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCIÓN, Informe no publicado, 77 pp.
- BABY, P., RIVADENEIRA, M., & BARRAGÁN, R. (2004). *"La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo"*. Convenio IFEA-IRD-PETROPRODUCCIÓN, 295pp.
- BALDOCK, J. (1982). *"Geología del Ecuador: Boletín de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador, Esc 1:1000000"*. Quito: Min. Rec. Nat. Enero, 70 pp.
- BARRAGÁN, R., RAMÍREZ, F., & BABY, P. (1997). *"Evidence of an Intra-plate "Hot Spot" under the Ecuadoran Oriente basin during the Cretaceous Tectonic Evolution"*. VI Simposio Bolivariano, Cartagena de Indias, Colombia I.
- BARRAGÁN, R. (1999). *"Relations entre Volcanisme, Tectonique d'Inversion et Sedimentation dans le Bassin Cretace Equatorien Oriente"*. Ph.D Thesis.
- BARRAGÁN, R. e. (2005). *"Lower Maastrichtian syntectonic sedimentation along the Sub Andean Zone and its relationship with the oceanic terrane accretionary events registered in the Occidental Cordillera of Ecuador"*. ISAG2005, Barcelona-Spain, 4 pp.
- BARRAGÁN, R., CHRISTOPHOUL, F., WHITE, H., BABY, P., RIVADENEIRA, M., RAMÍREZ, F., y otros. (2014). *Estratigrafía secuencial del cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador*. La Cuenca Oriente del Ecuador.
- BHATTACHARYA, J. (2001). *Growth faults at the prodelta to delta-front transition, Cretaceous Ferron sandstone*. Utah: Marine and Petroleum Geology.
- BHATTACHARYA, J. (2006). Deltas. In Walker, R.G., and Posamentier, H., (eds.) *Facies models revisited: Society for Sedimentary Geology*, 237-292.

- BHATTACHARYA, J. (2010). *Deltas*. Houston: in: Facies Models 4. R.G. Dalrymple and N.P. James (eds). Geological Association of Canada. Geotext. v.6, p. 233-264.
- BHATTACHARYA, J., & MACEACHERN, J. (2009). Hyperpycnal rivers and prodeltaic shelves in the Cretaceous seaway of North America. *Journal of Sedimentology Research*, 184-209.
- BOLES, J. (2004). *Petrographic study of sandstones from well EY A-43*. Santa Barbara: Departamento de ciencias geológicas, Universidad de California.
- BRISTOW, C., & HOFFSTETTER, R. (1977). *Ecuador, "Lexique Stratigraphique International"*. V, 5A2, CNRS ed., PARIS., 410 pp.
- CANFIELD, R., BONILLA, G., & ROBBINS, R. (1982). "*Sacha Oil Field of Ecuadorian Oriente*". AAPG Bulletin., 61, 1076-1090 pp.
- CATUNEANU, O. (2002). *Sequence stratigraphy of clastic systes: concepts, merits, and pitfalls*. Journal of African Earth Science .
- CHRISTOPHOUL, F., BURGOS, J., BABY, P., SOULA, J., BES DE BERC, S., DAVILA, C., y otros. (2004). "*Dinámica de la cuenca de ante-país oriental desde el Paleógeno*", en P.Baby, M. Rivadenira y R. Barragán, (Eds.). *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo*. Travaux de l'Institute Francais d'Études Andines, tomo 144, 93-114 pp.
- CIED. (1998). *Interpretación de Periles de Pozos (Avanzado)*. Manual, 76 pp.
- CONSULTING, P. R. (2002). *Lithofacies analysis and paleo-environment interpretation of the Napo "T", Napo "U", Napo "-1" y Tena intervals in the well* .
- CORELAB. (2002). *Análisis petrográfico del pozo P53*. Informe confidencial .
- CORRALES, I., ROSELL, J., SÁNCHEZ de la TORRE, L., & VERA, J. (1977). *Estratigrafía*. Madrid: Ed. Rueda.
- DALRYMPLE, ZAITLIN, & BOYD. (1992). Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.62, 1130-1146.
- DASHWOOD, & ABBOTTS. (1990). "*Aspects of the Petroleum Geology of the Oriente Basin Ecuador*", *Classic Petroleum Provinces*. Geological Society of London, Special Publication N°. 50, 89-117 pp.
- DIAZ, M. (2005). "*El pre-Aptense en la Cuenca Oriente Ecuatoriana*". Revista la Cuenca Oriente Geología y Petróleo, 295 pp.

- ELSEIVER. (s.f.). Recuperado el 20 de Junio de 2015, de [http://booksite.elsevier.com/9780444528186/htm/reschar\\_chapter\\_02/figure\\_2\\_43.htm](http://booksite.elsevier.com/9780444528186/htm/reschar_chapter_02/figure_2_43.htm)
- EMERY, D., & MYERS, K. (1996). *Sequence Stratigraphy*. Blackwell Science.
- ESTRADA, D. E. (2007). *RADIOACTIVIDAD, Importancia de Th, U y K en las rocas sedimentarias*. Latin American Geological Coordinator, Baker Hughes.
- FAUCHER, B., & SAVOYAT, E. (1973). "Esquisse géologique des Andes de l'Equateur". *Rev. Géol. pis. géol. dyn.*, vol. XV, (2), 115-142.
- GAIBOR, J. (2001). *"Estudio Geológico de la Caliza A mediante registros de pozo, nororiente ecuatoriano"*. Tesis Ing. Geol. Escuela Politécnica Nacional.
- GANI, R., & BHATTACHARYA, J. (2005). *Lithostratigraphy versus chronostratigraphy in facies correlations of quaternary deltas: application of bedding correlation*. USA: Society for Sedimentary Geology .
- GINCOR E & P SOLUTIONS. (s.f.). Recuperado el 02 de Junio de 2015, de <http://gincor.co/en/routine-core-analysis-equipment/spectral-core-gamma.html>
- GLOVER, D. (2012). *Spectral Gamma Ray Log*. Petrographycs MSc Course Notes.
- GOMBOJAV, M., & WINKLER, W. (2008). *"Recycling of Proterozoic crust in the Andean Amazon foreland of Ecuador: implications for orogenic development of the Northern Andes"*. Suiza: Terra Nova.
- GUTIÉRREZ, E. (2011). *"Caracterización geológica de las formaciones de edad precretácica para el Bloque 15 en base a registros de pozos y sísmica 2D/3D"*. Tesis Ing. Geol. Escuela Politécnica Nacional .
- HALL, M., & CALLE, J. (1982). *"Geochronological Control for the Main Tectonic-Magmatic Events of Ecuador"*. *Earth Science Review*, V. 18, 215-239 pp.
- HART, B. (1995). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Elsevier Science B.V.
- HISCOTT, R. (2001). *Depositional sequence controlled by high rates of sediment supply, sea-level variations, and growth faulting: the Quaternary Baram Delta of north western Borneo*. *Marine Geology* .

- JAILLARD, E. (1993). "*L'Evolution Tecto-Sédimentaire de la Marge Péruviene au Sénonien et Paléocène et ses relations avec la Géodynamique*". Bull. Soc. Géol. Frances, 819-830 pp.
- JAILLARD, E. (1995). "*Síntesis Estratigráfica y Sedimentológica del Cretácico y Paleógeno de la Cuenca Oriental del Ecuador*". Informe preliminar del convenio ORSTOM-PETROPRODUCCIÓN, Quito, 163 pp.
- JAILLARD, E. (1997). "*Síntesis Estratigráfica y Sedimentológica del Cretácico y Paleógeno de la Cuenca Oriente del Ecuador*". Resumen del Informe final del Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCIÓN, 164 pp.
- MITCHUM JR, R., VAIL, P., & THOMPSON. (1977). *Seismic Stratigraphy and Global changes of sealevel. Part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: Payton, C.E. (Ed.), Seismic Stratigraphy\_Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir.*
- MOUSALLI, V. (Julio de 2010). *Interpretación de facies a través de perfiles.*
- MULHOLLAND, J. (1998). *The parasequence. Colorado : THE LEADING EDGE.*
- NICHOLS, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy, Second Edition.* United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- OLARIU, C., STEEL, R., & PETTER, A. (2008). *The Extent of Individual Hyperpycnal-Flow Beds in the Cretaceous Panther. AAPG.*
- OLARIU, C., STEEL, R., & PETTER, A. (2010). *Delta-front hyperpycnal bed geometry and implications for reservoir modeling: Cretaceous Panther Tongue delta, Book Cliffs, Utah. AAPG Bulletin.*
- OLARIU, M., CARAJAL, C., OLARIU, C., & STEEL, R. (Octubre de 2012). *Deltaic process and architectural evolution during cross-shelf transits, Maastrichtian Fox Hills Formation, Washakie Basin, Wyoming. XCVI(10), 1931-1956.*
- ORDÓÑEZ, M., JIMÉNEZ, N., & SUÁREZ, J. (2006). "*Micropaleontología Ecuatoriana*". PETROPRODUCCIÓN-Centro de Investigaciones Geológicas Guayaquil, 634 pp.
- PETREL ROBERTSON CONSULTING LTD. (2002). *Lithofacies analysis and paleo-environment interpretation of the Napo "T", Napo "U", Napo "M-1" and Tena intervals in the well Oxy EYD-10.* Informe confidencial .
- RAMÍREZ, D. (2007). "*Modelo deposicional de la arenisca U en el centro-noroccidente de la Cuenca Oriente*". Tesis Ing. Geol. Escuela politécnica Nacional .

- RAYNAUD, J., BOUROULLEC, J., HOMEWOOD, P., & VILLANOVA, M. (1993). *Equateur, Bassin de l'Oriente: Etude palynologique d' un intervalle Crétacé supérieur sur 20 puits. Etude sédimentologique des gres M-1. Informe inédito Elf-Aquitaine Production.*
- RAYNAUD, J., BOUROULLEC, J., HOMEWOOD, P., & VILLANOVA, M. (1993). *Equateur, Bassin de l'Oriente: Etude palynologique d' un intervalle Crétacé supérieur sur 20 puits. etude sédimentologique des gres M-1. Informe inédito Elf-Aquitaine Production, 19 lám,98pp.*
- READING, H. (2005). *"Sedimentary Enviroments: Processes, Facies and Stratigraphy"*. United Kingdom: blachwell Science, 688 pp.
- KANSAS GEOLOGICAL SURVEY. (Reporte Anual, 1989). Recuperado el 04 de Junio de 2015, de [http://www.kgs.ku.edu/Dakota/vol3/fy89/app\\_b.htm](http://www.kgs.ku.edu/Dakota/vol3/fy89/app_b.htm)
- RIDER, M. (2000). *"The Geological Interpretation of well logs", Segunda edición.* Scotland: Rider-French Consulting.
- RIVADENEIRA, M., & BABY, P. (1999). *"La Cuenca Oriente: Estilo Tectónico, Etapas de Deformación y Características Geológicas de los Principales Campos de Petroproducción"*. Resultado parcial en el marco del convenio Petroproducción-IRD (Ex - ORSTOM)., 88pp.
- ROBLES, J. (s.f.). *Academia*. Recuperado el 8 de Junio de 2015, de Universidad Nacional de córdoba, Petrología Sedimentaria/Sedimentología: [http://www.academia.edu/7939382/Trabajo\\_Pr\\_ctico\\_N\\_1\\_1\\_14](http://www.academia.edu/7939382/Trabajo_Pr_ctico_N_1_1_14)
- RODRÍGUEZ LÓPEZ, C. (10 de 11 de 2002). *Los Deltas y Estuarios*. Recuperado el 19 de 11 de 2015, de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/deltas/page6.html>
- ROGER, W. (1984). *Facies Models, Second Edition*. Cánada: Geoscience Cánada, Reprint Series 1.
- SANCHEZ DE LA TORRE, L., AGUEDA VILLAR, J., COLMENERO NAVARRO, J., GONZALEZ LASTRA, J., & MARTIN LLANEZA, J. (1981). Emplazamiento de deltas progradantes y facies asociadas en el Westfaliense del borde oriental de la Cuenca Carbonífera Central (Austrias). En F. d. Ciencias, *Trabajos de Geología N°11* (pág. 199). Oviedo: Univerdidad de Oviedo .
- SHANMUGAM, G., POFFENBERGER, M., & TORO, J. (2000). *"Tide-Dominated Estuarine Facies in the Hollin and Napo ("T" and "U") Formations (Cretaceous), Sacha Field Oriente Basin, Ecuador"*. AAPG, 652-682 pp.

- SHEPHERD, M. (2009). Less common reservoir types. *AAPG Memoir 91*, 311-312.
- SHERPHERD, M. (2009). Deltaic reservoirs, in M. Sherpherd. *Oil field production geology: AAPG Memoir 91*, 279-288.
- SLATT, R. (2006). *Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists, Geophysicists and Engineers* (Vol. VI). (J. Cubitt, Ed.) Oklahoma, USA: Elsevier.
- SPIKING, R., WINKLER, W., SEWARD, D., & HANDLER, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 57-73.
- TORO, J. (1997). "*Stratigraphie séquentelle de l'intervalle Albien supérieur-Turonien inférieur du Bassin Oriente d'Equater*". DEA Thesis Univ. Grenoble I, 41 pp (no publicado).
- TSCHOOP, H. (1953). "Oil Explorations in the Oriente of Ecuador". *AAPG Bulletin*, Vol 37, N°. 10, 2303-2407 pp.
- VACA, S. (2004). "*Estudio Estratigráfico Secuencial del Cretácico entre 0° y 1,5° Sur de la Cuenca Oriente Ecuatoriana*". Tesis Ing. Geol. Escuela Politécnica Nacional.
- VALLEJO, C., HOCHULI, A., WINKLER, W., & VON SALIS, K. (2002). "*Palinological and sequence stratigraphic analysis of the Napo Group in the Pungarayacu 30 well, Sub-Andean Zone, Ecuador*". Elsevier Science v.23, 845-859 pp.
- VAN WAGONER, J., MITCHUM, R., CAMPION, K., & RAHMANIAN, V. (1990). *Siliclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies*. AAPG Methods in Explorations Series N°7.
- VASSEL, A. (2007). *Reservoir modelling of Delta Front Clinoforms within the Cretaceous Ferron Sandstone, Utah, USA*. Department of Earth Science University of Bergen. Bergen: Department of Earth Science University of Bergen.
- VEEKEN, P. (2007). *Seismic Stratigraphy Basin Analysis and Reservoir Characterisation* (Vol. 37). (K. Helbig, & S. Treitel, Edits.) Netherlands: Elsevier.



- VERBEEK, E., RATZLAFF, K., & CLANTON, U. (16 de 09 de 2005). *Faults in Parts of North-Central and Western* . Recuperado el 11 de 06 de 2015, de USGS: <http://pubs.usgs.gov/mf-maps/mf1136/mf1136/fig8.htm>
- VILLAGÓMEZ, R. (1995). *"Estudio de la Formación Hollín y la Transgresión Albiana en la subcuenca Napo del Oriente Ecuatoriano"*. Tesis Ing. Geól., Escuela Politécnica Nacional.
- VILLALBA, R. (2006). *"Modelo depositacional regional de la Arenisca Tena Basal en la Cuenca Oriente Ecuatoriana"*. Tesis Ing. Geol., Escuela Politecnica Nacional.
- WHITE, H., & BARRAGÁN, R. (1997). *"Reservoir characterization of the Napo Formation Part II: Napo T Sanstone"*. 210 pp.
- WHITE, H., SKOPEC, R., RAMÍREZ, F., RODAS, J., & BONILLA, G. (1995). "Reservoir characterization of Hollín and Napo Formations, Western Oriente Basin, Ecuador". *AAPG Memoir* 62, 573-596pp.
- WRIGHT, L. (1977). Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis. *geological Society of America, Bulletin*, v. 88, 857-868.
- YUQUILEMA, J. (2010). *Modelo deposicional de la Arenisca T en la Cuenca Oriente*. Quito: Tesis de grado, EPN.
- ZAMBRANO, E. (2004). *"Caracterización Geológica del Nivel "M-1" al Noreste de la Cuenca Oriente"*. Tesis, Escuela Politécnica Nacional.
- ZAVALA, C., MARCANO, J., CARVAJAL, J., & DELGADO, M. (2011). *Genetic Indices in Hyperpycnal Systems: A Case Study in the Late Oligocene–Early Miocene Mercure Formation, Maturin Subbasin, Venezuela*. The American Association of Petroleum Geologists.

# ANEXOS

ANEXO 1

RESUMEN DE LOS REGISTROS PRESENTES EN LOS DIFERENTES POZOS DEL CAMPO EN ESTUDIO

POZO	RAYOS GAMMA	RESISTIVIDAD	DENSIDAD	NEUTRÓN	POROSIDAD	EFECTO FOTOELÉCTRICO	POTENCIAL ESPONTÁNEO
P1	X	X	X	X	X	X	X
P2	X	X	X	X	X	X	X
P3	X	X	X	X	X	X	X
P4	X	X	X	X	X		
P5	X	X	X	X	X	X	
P6	X	X	X	X	X	X	X
P7	X	X	X	X	X	X	
P8	X	X	X	X	X	X	
P9	X	X	X	X	X	X	X
P10	X	X	X	X	X	X	
P11	X	X	X	X	X		
P12	X	X	X	X	X	X	X
P13	X	X	X	X	X	X	X
P14	X	X	X	X	X		
P15	X	X	X	X	X	X	X
P20	X	X	X	X	X	X	
P21	X	X	X	X	X		
P23	X	X	X	X	X	X	X
P24	X	X	X	X	X	X	X
P25	X	X	X	X	X	X	X
P26	X	X	X	X	X	X	X
P27	X	X	X	X	X	X	X
P28	X	X	X	X	X	X	X
P29	X	X	X	X	X	X	
P30	X	X	X	X	X	X	
P32	X	X	X	X	X	X	X
P33	X	X	X	X	X	X	
P34	X	X	X	X	X		
P35	X	X	X	X	X		
P36	X	X	X	X	X	X	
P37	X	X	X	X	X	X	
P38	X	X	X	X	X	X	
P39	X	X	X	X	X	X	
P42	X	X	X	X	X	X	
P43	X	X	X	X	X	X	
P44	X	X	X	X	X	X	
P45	X	X	X	X	X	X	X

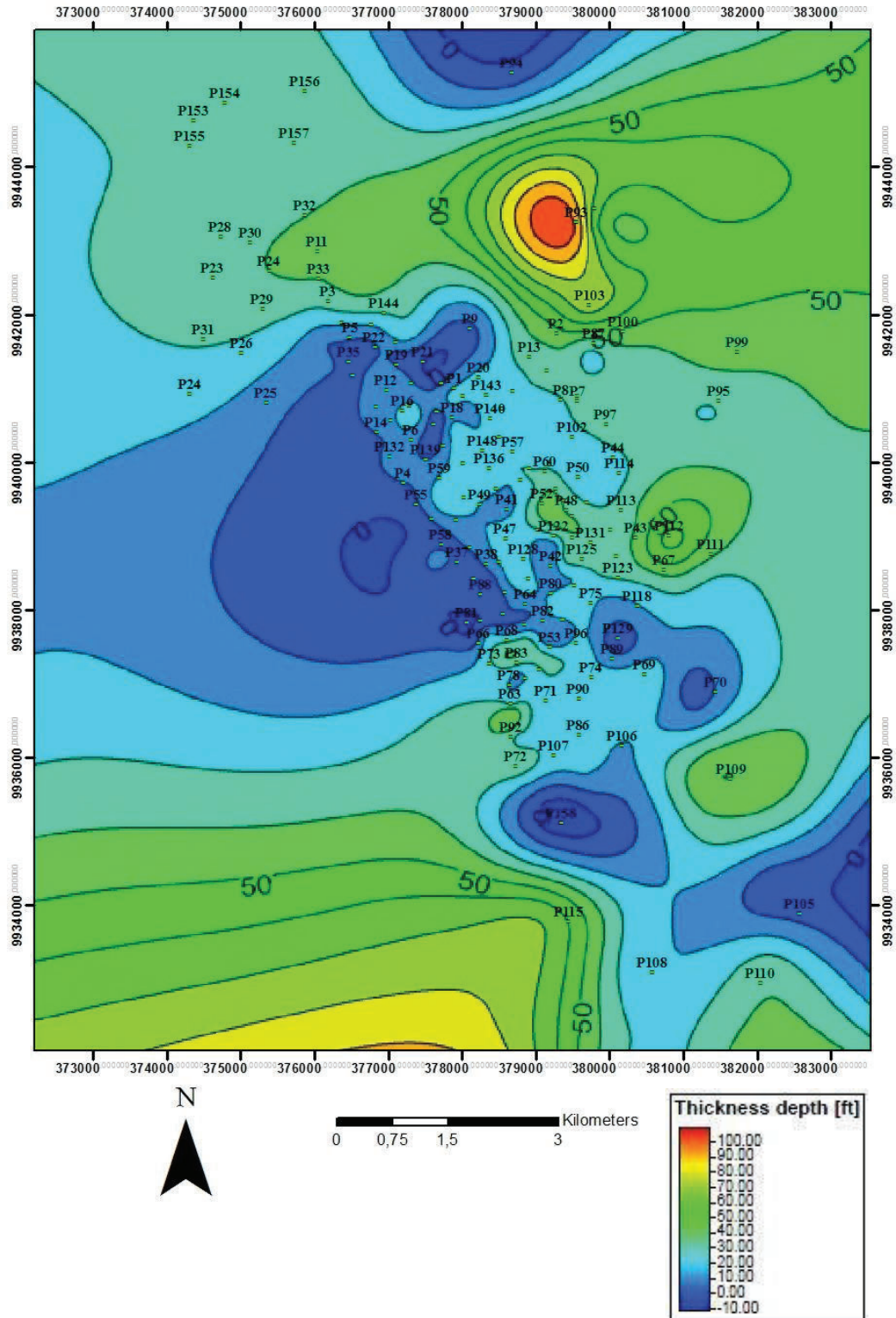
POZO	RAYOS GAMMA	RESISTIVIDAD	DENSIDAD	NEUTRÓN	POROSIDAD	EFFECTO FOTOELÉCTRICO	POTENCIAL ESPONTÁNEO
P46	X	X	X	X	X		
P47	X	X	X	X	X	X	
P48	X	X	X	X	X	X	X
P49	X	X	X	X	X	X	X
P50	X	X	X	X	X	X	X
P51	X	X	X	X	X	X	
P53	X	X	X	X	X	X	
P55	X	X	X	X	X	X	X
P56	X	X	X	X	X	X	X
P57	X	X	X	X	X	X	X
P58	X	X	X	X	X	X	X
P61	X	X	X	X	X	X	X
P62	X	X	X	X	X	X	X
P63	X	X	X	X	X	X	
P65	X	X	X	X	X	X	X
P66	X	X	X	X	X	X	X
P67	X	X	X	X	X	X	X
P69	X	X	X	X	X	X	X
P70	X	X	X	X	X	X	X
P71	X	X	X	X	X	X	X
P72	X	X	X	X	X	X	X
P73	X	X	X	X	X	X	
P74	X	X	X	X	X	X	X
P75	X	X	X	X	X	X	X
P78	X	X	X	X	X	X	X
P79	X	X	X	X	X	X	
P80	X	X	X	X	X	X	
P81	X	X	X	X	X	X	
P82	X	X	X	X	X	X	
P83	X	X	X	X	X	X	
P84	X	X	X	X	X	X	X
P86	X	X	X	X	X	X	
P87	X	X	X	X	X	X	
P88	X	X	X	X	X		X
P89	X	X	X	X	X	X	
P90	X	X	X	X	X	X	X
P91	X	X	X	X	X	X	X
P93	X	X	X	X	X		
P94	X	X	X	X	X		
P95	X	X	X	X	X	X	X
P96	X	X	X	X	X	X	

POZO	RAYOS GAMMA	RESISTIVIDAD	DENSIDAD	NEUTRÓN	POROSIDAD	EFFECTO FOTOELÉCTRICO	POTENCIAL ESPONTÁNEO
P97	X	X	X	X	X	X	X
P98	X	X	X	X	X	X	X
P99	X	X	X	X	X	X	
P100	X	X	X	X	X	X	
P101	X	X	X	X	X	X	X
P102	X	X	X	X	X	X	X
P103	X	X	X	X	X	X	X
P105	X	X	X	X	X	X	X
P106	X	X	X	X	X	X	X
P107	X	X	X	X	X	X	
P109	X	X	X	X	X	X	X
P111	X	X	X	X	X	X	X
P112	X	X	X	X	X	X	X
P113	X	X	X	X	X		
P116	X	X	X	X	X	X	X
P117	X	X	X	X	X	X	X
P118	X	X	X	X	X	X	
P119	X	X	X	X	X	X	X
P120	X	X	X	X	X	X	
P121	X	X	X	X	X	X	
P123	X	X	X	X	X	X	X
P124	X	X	X	X	X	X	X
P125	X	X	X	X	X	X	X
P127	X	X	X	X	X	X	
P128	X	X	X	X	X	X	X
P130	X	X	X	X	X	X	X
P132	X	X	X	X	X	X	
P133	X	X	X	X	X	X	X
P134	X	X	X	X	X		
P135	X	X	X	X	X		
P137	X	X	X	X	X	X	
P138	X	X	X	X	X		
P143	X	X	X	X	X	X	X
P144	X	X	X	X	X	X	X
P145	X	X	X	X	X	X	X
P152	X	X	X	X	X	X	X
P153	X	X	X	X	X	X	X
P154	X	X	X	X	X	X	X
P155	X	X	X	X	X	X	X
P156	X	X	X	X	X	X	
P157	X	X	X	X	X	X	X

POZO	RAYOS GAMMA	RESISTIVIDAD	DENSIDAD	NEUTRÓN	POROSIDAD	EFFECTO FOTOELÉCTRICO	POTENCIAL ESPONTÁNEO
P158	X	X	X	X	X	X	
P159	X	X	X	X	X	X	X
P161	X	X	X	X	X	X	X
P162	X	X	X	X	X	X	X
P163	X	X	X	X	X	X	X
P164	X	X	X	X	X	X	
P165	X	X	X	X	X	X	
P166	X	X	X	X	X	X	
P167	X	X	X	X	X	X	X
P173	X	X	X	X	X	X	X
P176	X	X	X	X	X	X	X
P177	X	X	X	X	X	X	X
P178	X	X	X	X	X	X	X
P180	X	X	X	X	X	X	X
P181	X	X	X	X	X	X	X
P182	X	X	X	X	X	X	X
P184	X	X	X	X	X	X	
P185	X	X	X	X	X	X	X
P186	X	X	X	X	X	X	X
P187	X	X	X	X	X	X	X
P188	X	X	X	X	X	X	X
P191	X	X	X	X	X	X	X
P192	X	X	X	X	X	X	X
P195	X	X	X	X	X	X	X
P196	X	X	X	X	X	X	
P197	X	X	X	X	X	X	
P198	X	X	X	X	X	X	X
P199	X	X	X	X	X	X	
P200	X	X	X	X	X	X	
P201	X	X	X	X	X		
P203	X	X	X	X	X	X	X
P204	X	X	X	X	X	X	
P205	X	X	X	X	X	X	
P207	X	X	X	X	X	X	
P208	X	X	X	X	X	X	X
P209	X	X	X	X	X	X	
P210	X	X	X	X	X	X	X
P211	X	X	X	X	X	X	X
P220	X	X	X	X	X		X

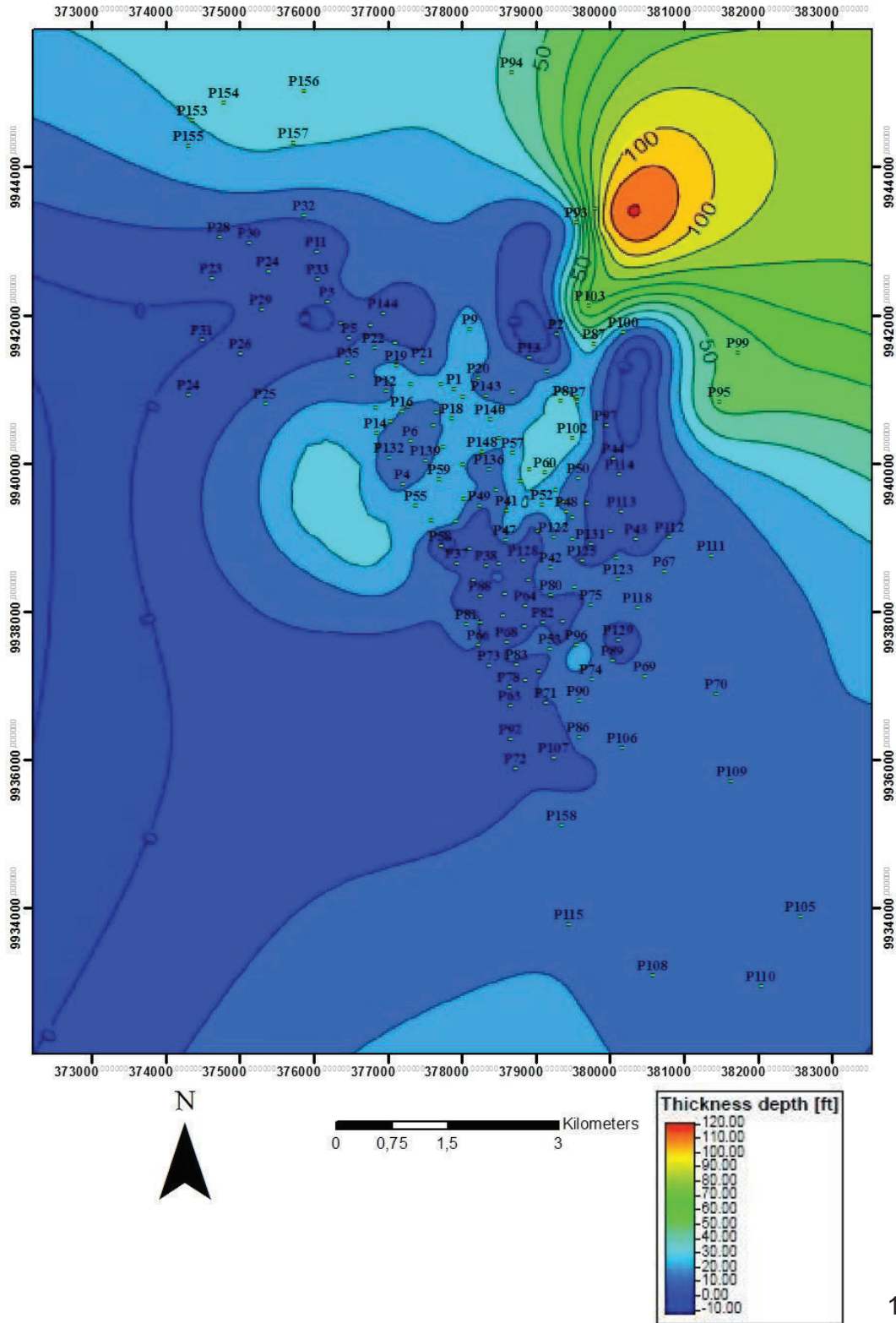
## ANEXO 2

### MAPA DE ESPESORES (ISÓPACO) DE LA ARENISCA M1 PRINCIPAL DEL CAMPO EN ESTUDIO



ANEXO 3

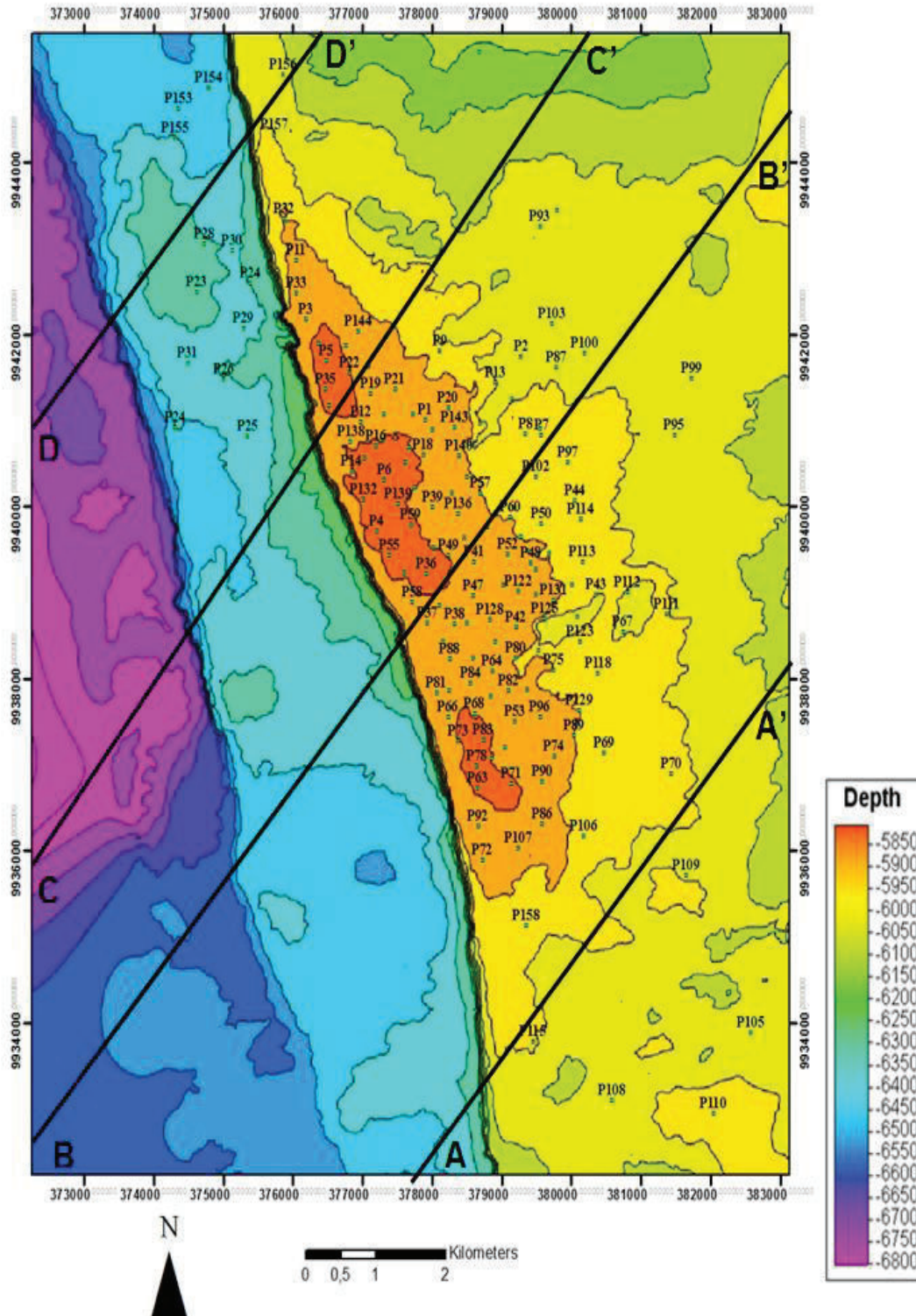
MAPA DE ESPESORES (ISÓPACO) DE LA ARENISCA M1 SUPERIOR DEL CAMPO EN ESTUDIO





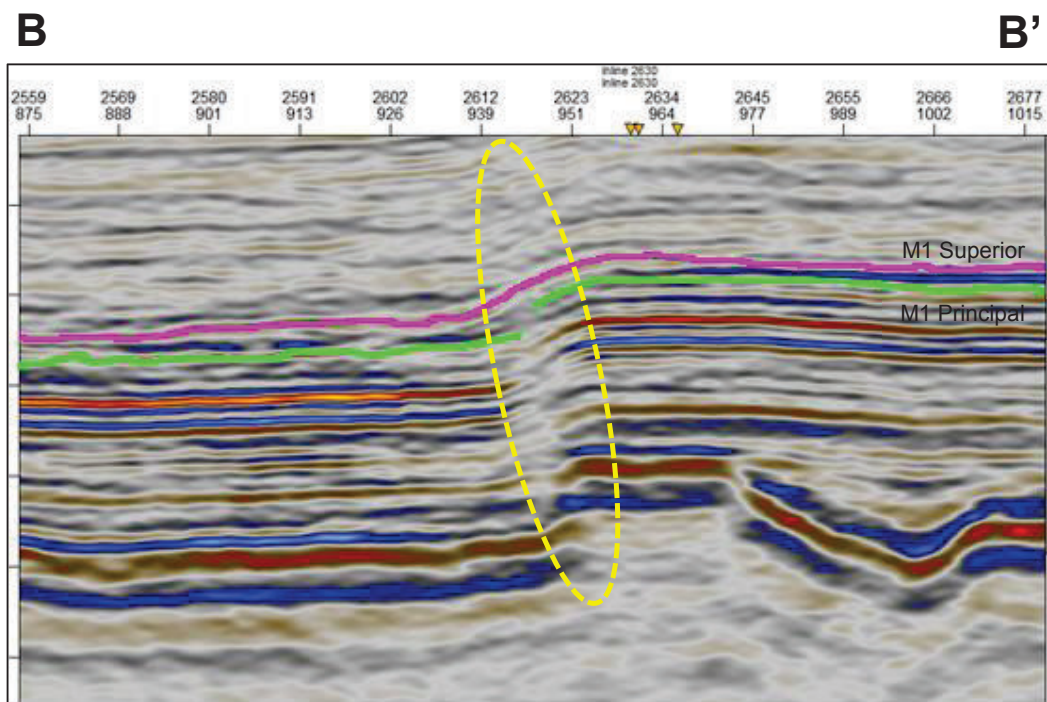
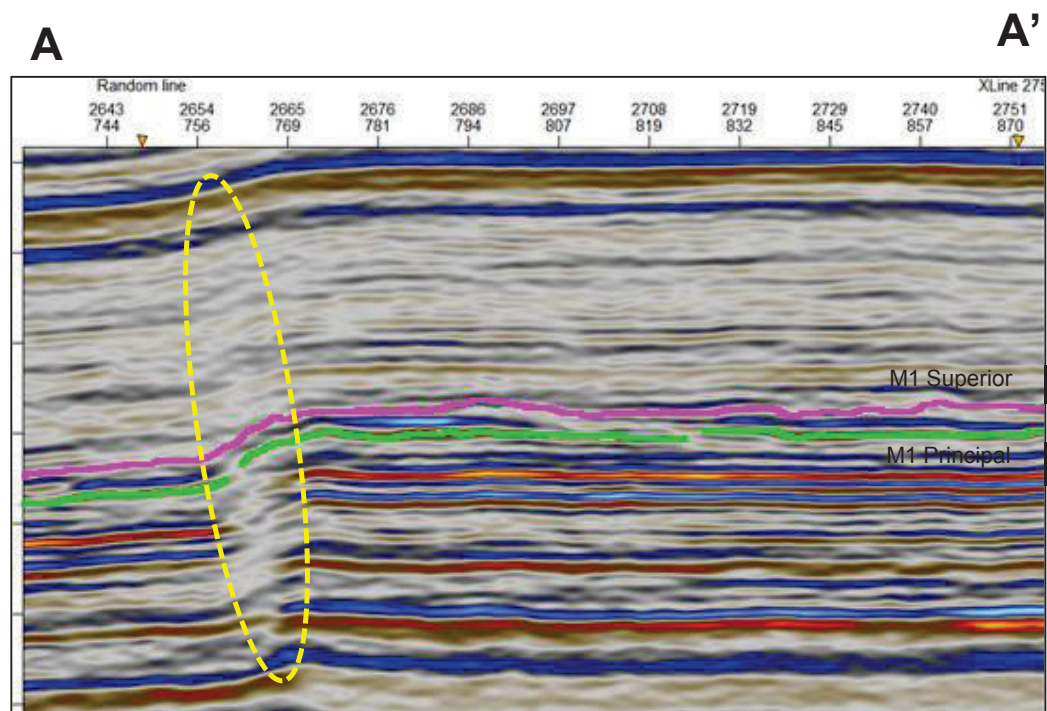
ANEXO 4

MAPA DE LA BASE DE LA ARENA M1 MOSTRANDO LA UBICACIÓN LOS CORTES DE LAS LÍNEAS SÍSMICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA FALLA



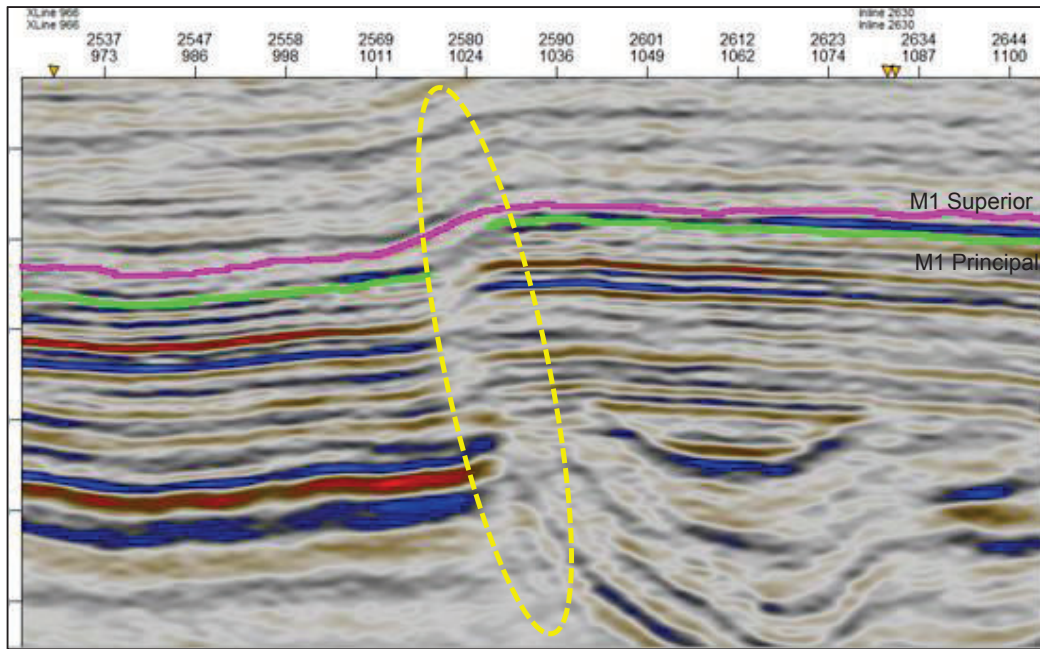
ANEXO 5

CORTES DE LAS LÍNEAS SÍSMICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA FALLA



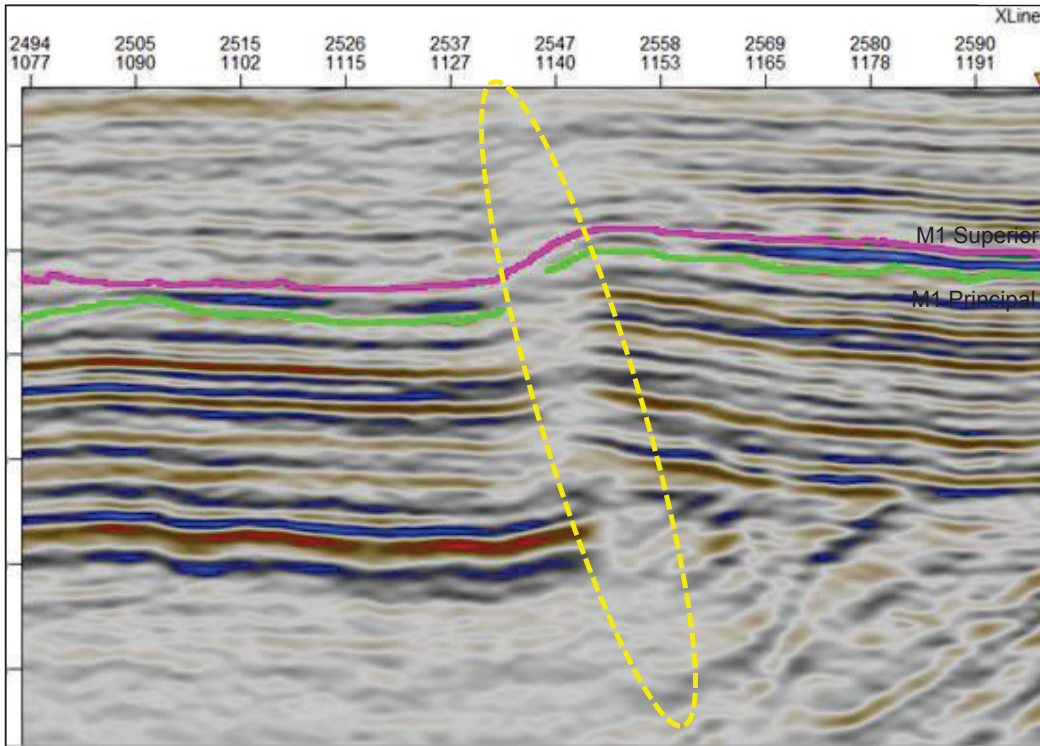
C

C'



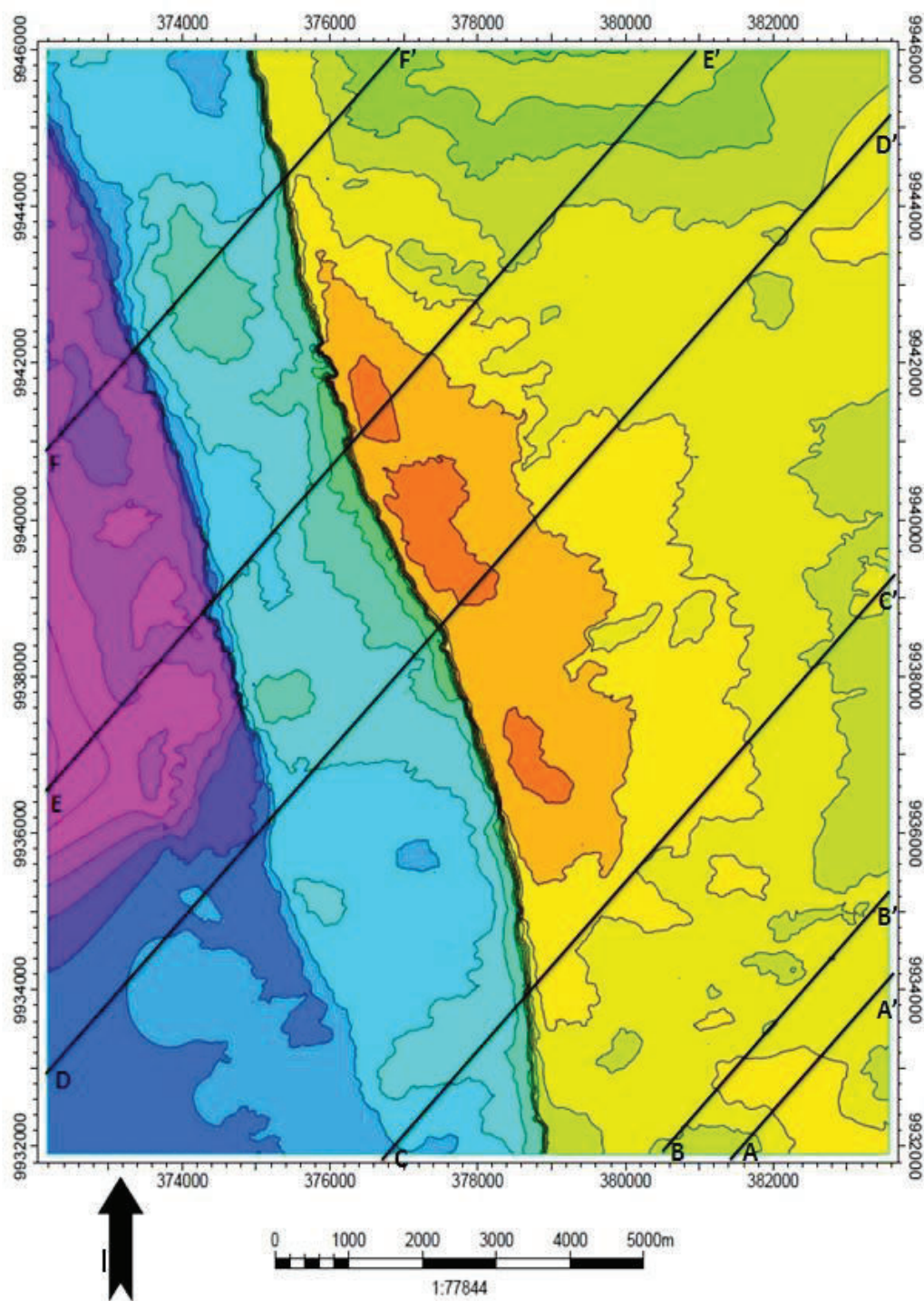
D

D'



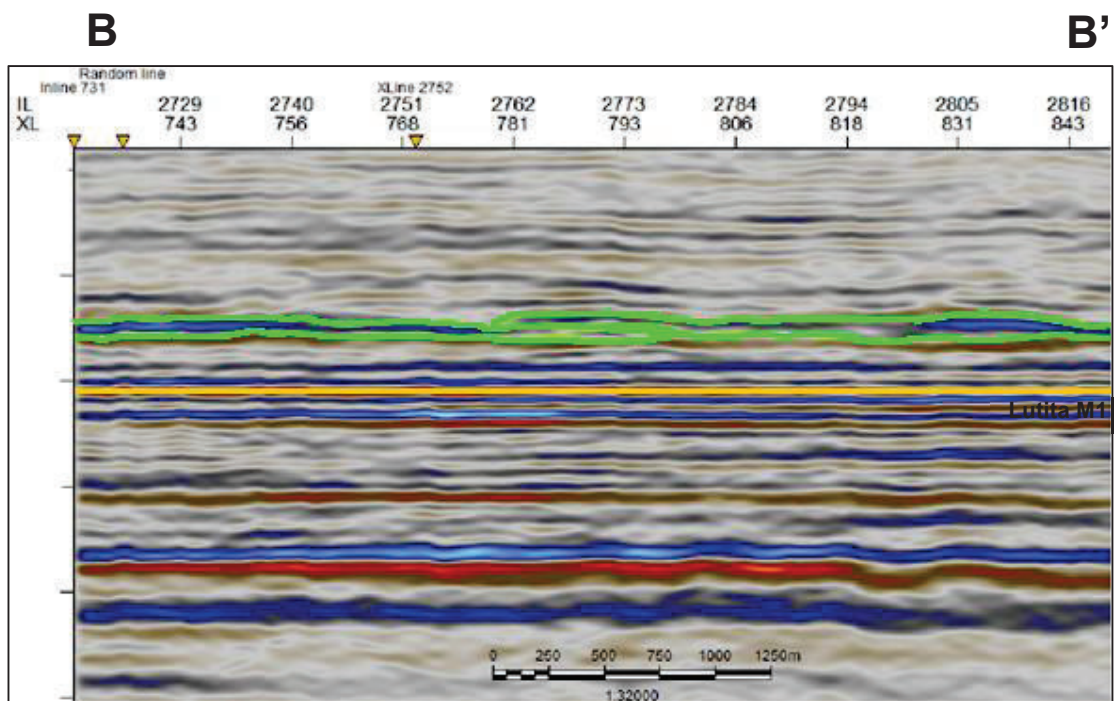
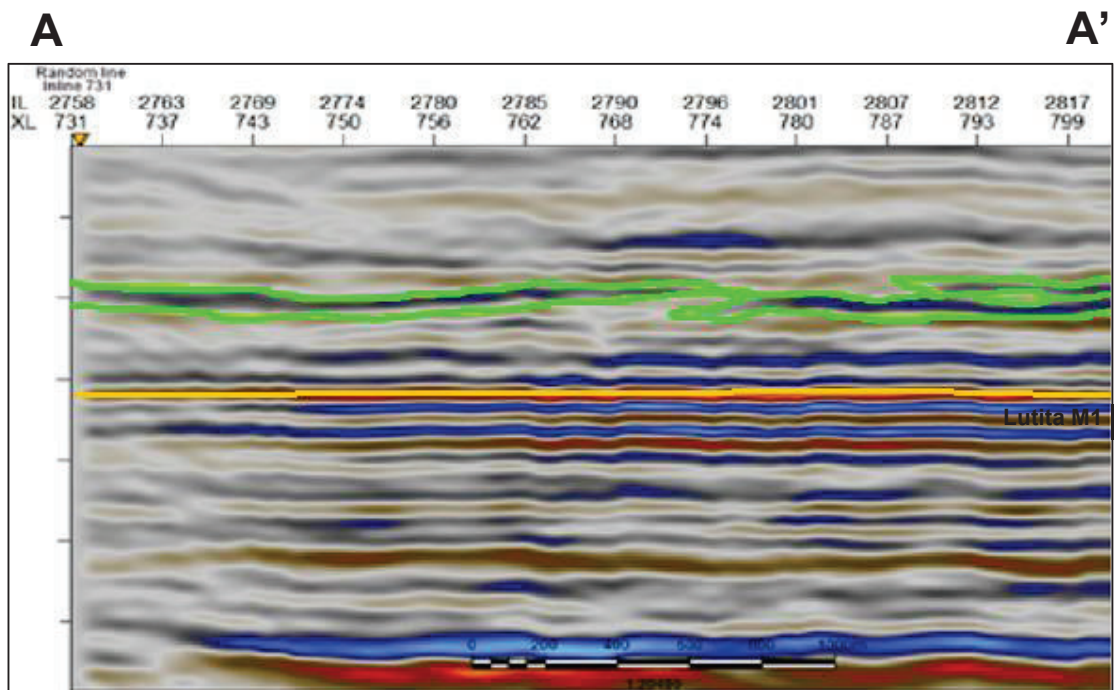
## ANEXO 6

MAPA DE LA BASE DE LA ARENA M1 MOSTRANDO LA UBICACIÓN LOS CORTES DE LAS LÍNEAS SÍSMICAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS CUERPOS QUE CONFORMAN LA ARENA M1

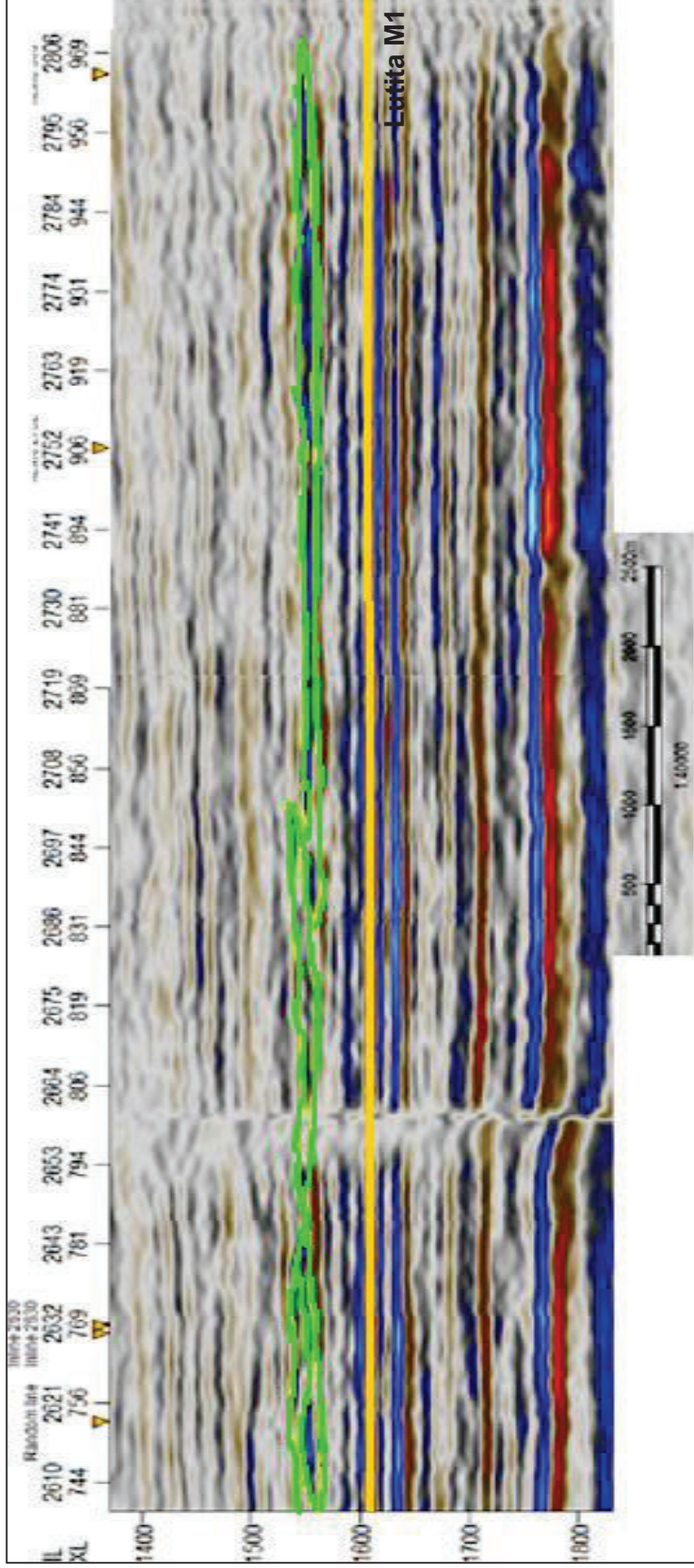


ANEXO 7

CORTES DE LAS LÍNEAS SÍSMICAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS CUERPOS



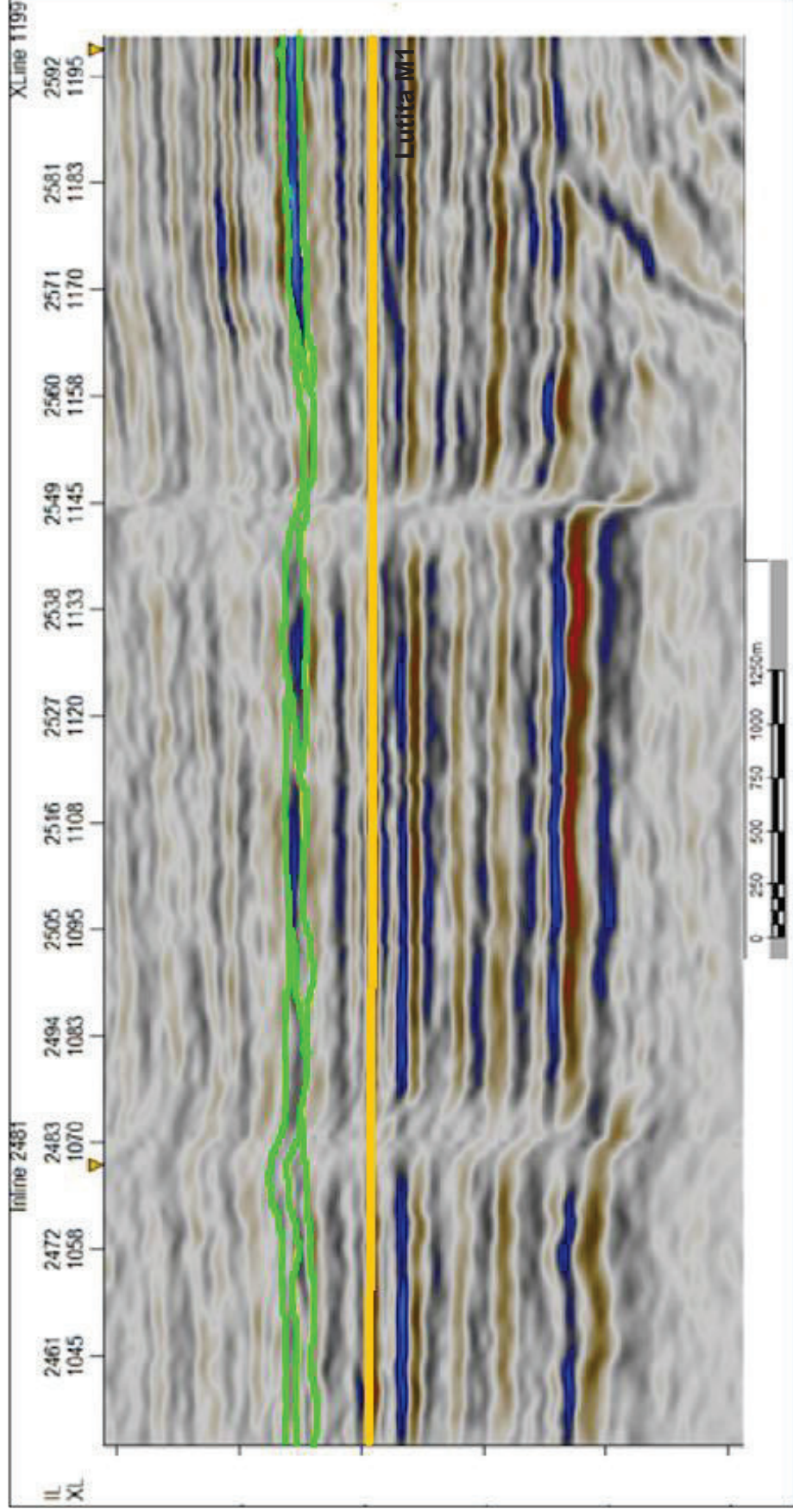
C



C'

D

D'



E'

E

